

Česká zemědělská univerzita

Technická fakulta

Katedra materiálů a strojírenské technologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jiří Wolf

Přídavné materiály pro pájení

Vedoucí bakalářské práce: **Prof. Ing. Milan Brožek, CSc.**

Studijní obor: **Silniční a městská automobilová doprava**

Praha 2010

Vysoká škola: Česká zemědělská univerzita

Fakulta: technická

Katedra: materiálu a strojírenské technologie

Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Jiří WOLF**

Studijní obor: Silniční a městská automobilová doprava

Studijní zaměření:

Název práce: Přídavné materiály pro pájení.

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

- shromáždit literární poznatky o pájkách používaných při měkkém a tvrdém pájení.

Osnova práce:

1. Úvod.
2. Pájení – podstata, výhody, nevýhody, použití v praxi.
3. Měkké pájky – chemické složení, vlastnosti, použití.
4. Tvrdé pájky – chemické složení, vlastnosti, použití.
5. Závěr.

Metodika práce:

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- závěry a přínos práce.

Rozsah práce: 30 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Seznam doporučené odborné literatury:

BLAŠČÍK, F. aj.: Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvárania. Bratislava, ALFA
1987. 832 s.

BÖHLER UDDEHOLM CZ spol. s r.o.: Pájení. Praha, Böhler Uddeholm CZ spol. s r.o.
2003. 12 s.

LANCASTER, J. F.: The metallurgy of welding, brazing and soldering. New York,
Elsevier, 1965. 291 p.

MANKO, H. H.: Solders and Soldering. New York, MacGraw-Hill, 1964. XV, 323 p.

ROBERTS, P.: Industrial brazing practice. Boca Raton, CRC Press 2004. 383 p.

RUŽA, V.: Pájení. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha, NTL 1988. 452 s.

STEDFELD, R. L.: Metals Handbook. Vol. 6., Welding, brazing, and soldering. 9. ed.
Metals Park, Oh., American Society for Metals, 1983. XVII, 1152 p.

WEMAN, K.: Welding Processes Handbook. Cambridge, Woodhead 2003. 193 p.

časopisy: MM Průmyslové spektrum, SDSM (Svařování, dělení, spojování materiálů),
Strojárstvo / Strojírenství, Svět svaru, Technický týdeník, Technik, Zváranie /
Svařování.

firční literatura: katalogy, prospekty

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 7. 12. 2007

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. 4. 2009

Termín odevzdání prodloužen: 30. 4. 2010



prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

vedoucí katedry



prof. Ing. Jiří Klíma, CSc.

děkan

V Praze dne 7. 12. 2007



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci na téma “Přídavné materiály pro pájení“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne: 23.4.2010

Podpis:

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat Prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc. za vedení při zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji všem ostatním, kteří mi byli při mé práci nápomocni.

Abstrakt

V rámci vypracování bakalářské práce na téma „Přídavné materiály pro pájení“ jsem si stanovil za úkol popsat přídavné materiály pro měkké a tvrdé pájení. Dále mým úkolem bylo popsat podstatu pájení, základní pojmy pájení, metody pájení používané v praxi.

V úvodní části práce se zabývám historickým vývojem pájení. Dále popisuji fyzikální podstatu pájení, doprovodné procesy při pájení a přehled nejpoužívanějších metod. Ve třetí a ve čtvrté kapitole podrobně popisuji samotné pájky pro měkké a tvrdé pájení a jejich hlavní použití. V závěru je přiblížen celkový pohled na pájky a jejich vývoj do budoucna.

Klíčová slova: podstata pájení, metody pájení používané v praxi, měkké pájky, tvrdé pájky

Abstract

My Bachelor's work with subject of „Additional materials for soldering process“ describes additional materials for soft and hard soldering. Secondly is explained substance of the soldering process, basic ideas of the soldering process, used soldering process methods.

The introductory of my work is describing historical development of soldering and also the physical essence of soldering, soldering processes and most widely used methods, in the third and fourth chapter I've explained each detail of soft solders and brazing, their use. The conclusion is to get closer to the general view solders and their development in the future

Key words: substance of the soldering process, used soldering process methods, soft solders, hard solders

Obsah:

1 Úvod.....	1
1.1 Historie pájení.....	1
2 Pájení – podstata, výhody, nevýhody, použití v praxi	3
2.1 Fyzikální podstata pájení	3
2.1.1 Povrchové napětí.....	3
2.1.2 Vzlínavost	3
2.1.3 Smáčivost a roztékavost.....	4
2.1.4 Metalurgické reakce při pájení	4
2.1.4.1. Difúze.....	4
2.1.4.2. Rozpustnost základního materiálu v tekuté pájce.....	5
2.2 Struktura pájeného spoje.....	5
2.3 Pájitelnost materiálů	5
2.4 Výhody a nevýhody pájení	7
2.4.1 Výhody pájení.....	7
2.4.2 Nevýhody pájení	8
2.5 Porovnání pájení a svařování.....	8
2.6 Použití pájení v praxi	10
2.6.1 Používané technologie pájení	10
2.7 Tavidlo	12
3 Měkké pájky – chemické složení, vlastnosti, použití	13
3.1 Měkké pájky pro těžké neželezné kovy	13
3.1.1 Měkké pájky cínové.....	14
3.1.2 Měkké pájky bezolovnaté	16
3.2 Měkké pájky pro lehké kovy	17
3.2.1 Měkké nízkoteplotní pájky	18
3.2.2 Měkké středně teplotní pájky.....	18
3.2.3 Měkké vysokoteplotní pájky.....	18
4 Tvrdé pájky – chemické složení, vlastnosti, použití.....	18
4.1 Tvrdé pájky z těžkých kovů.....	18
4.1.1 Tvrdé pájky na bázi Cu.....	19
4.1.2 Pájky na bázi Ag	22
4.1.3 Pájky na bázi Ni.....	24
4.1.4 Pájky na bázi Fe	26
4.2 Tvrdé pájky pro lehké neželezné kovy	27
4.2.1 Pájky na bázi Al.....	27
4.2.2 Pájky na bázi Mg	28
4.2.3 Pájky Ti.....	28
4.3 Pájky z drahých kovů.....	29
4.3.1 Pájky na bázi Au	29
4.3.2 Pájky na bázi Pd.....	30
5 Závěr	31

1 Úvod

Pájení je nedílnou součástí průmyslu a zřejmě není odvětví, kde by nebylo používáno. Vývoj přídavných materiálů pro pájení jde neustále kupředu, zejména v oblasti vývoje bezolovnatých pájek. Některé pájky byly kvůli směrnicím EU omezeny, aby neznečišťovaly životní prostředí a neohrožovaly zdraví člověka. Pájky jsou v současné době na vysoké úrovni, aby odpovídaly speciálním požadavkům praxe.

V této práci jsou shromážděny základní informace o přídavných materiálech pro pájení, základních metodikách pájení a zároveň jejich užití v praxi.

1.1 Historie pájení

Historie pájení je tak stará, jako je zpracování železných a neželezných kovů. Používání pájení je datováno nejméně 5000 let př. n. l.. Hluboko ve starověku v dobách kdy docházelo k využívání zlata, mědi a jejich prvních slitin, našli lidé způsob spojování kovových součástí [26].

Prvním člověkem opracovaný kov bylo s největší pravděpodobností zlato. V jeskyních, jež se dnes nacházejí na území dnešního Španělska, byla nalezena malá množství metalurgicky zpracovaného zlata ze starší doby kamenné. Používání metalurgických postupů při zpracovávání kovů je doloženo u mnoha kultur a civilizací [26].

Během vykopávek staré královské hrobky na území starověkého Babylonu byly nalezeny výrobky ze zlata nosící na sobě stopy pájení. V hrobce královny Shubad, která žila 3200 let př. n. l. byly nalezeny zlaté pájené ozdoby a dobře dochované zlaté nádoby, které měli madla připájená rovněž zlatem nebo slitinou zlata a stříbra [26].

Ve vykopávkách egyptských pyramid byly nalezeny mnohočetné zlaté ozdoby, které dokazují, že umění pájení bylo dobře známo ve starém Egyptě ve druhém tisíciletí př. n. l. Zajímavé je, že již tenkrát Egypťané našli způsob ke snížení teploty tání zlaté pájky. Pro tento účel si připravovali zlatý prášek, načež ho žíhali v prachu z dřevěných uhlíků. V důsledku toho se povrch zlatých zrněk nasýtil uhlíkem a tím utvořil nižší teplotu tání zlato – uhlíkové slitiny, kterou používali jako pájku [26].

Do této doby se pájení ušlechtilých kovů uskutečňovalo pouze tvrdými pájkami zlata. To však, ale nemůžeme definitivně potvrdit, protože je velmi pravděpodobné, že

pájené výrobky z neušlechtilých materiálů jako je např. bronz mohly být rozrušeny korozí a tím pádem nedochovány až do naší doby [26].

První zmínky o měkkém pájení olověno - cínovou pájkou se datují k počátku našeho letopočtu. Zmínku o uplatnění pájení je možno nalézt v práci římského učence a spisovatele Plinia – staršího (1. století n. l.). Zajímavé zpozorování je, že v jeho přírodovědné encyklopedii starého Říma “*Historia naturalis*“, Plinius poukazuje na použití dvojí olovnato – cínové pájky. Pájky se skládaly ze dvou třetin olova a jedné třetiny cínu, anebo obsahovaly rovnocenný podíl olova a cínu, pájky tohoto typu se používaly do současné doby [26].

Jak je zřejmé z vykopávek starověkého města Pompeje zničené při erupci sopky Vesuv, již tenkrát se široce uplatňovaly vodovodní trubky pájené olovnato – cínovou pájkou, které byly zhotoveny ze stočených olověných desek. Podobné pájené potrubí bylo rovněž nalezeno při vykopávkách v Núbii a rovněž v Libyi [26].

Vykopávky starých ruských osad ukazují, že již v 4 - 5.století n.l. kováři na horní Volze při výrobě ocelových nožů používali k pájení kovů měď. V Kyjevské Rusi bylo pájení mědí a měděnými slitinami především užíváno k tvorbě hradních klíčů, nožů a jiných výrobků. Široké uplatnění kovářského pájení je důkazem vysoké technické úrovně řemeslníků té doby [26].

Na našem území používali pájení slavní šperkaři Velkomoravské říše v druhé polovině 9. století. Rozsáhlé použití této metody zejména v průmyslové výrobě až od roku 1930, protože převládal názor, že pájení vyžaduje jen manuální zručnost pracovníka. Avšak neúspěchy, které se vyskytly při zavádění pájení do výroby v důsledku nedodržení optimálních technologických a konstrukčních podmínek způsobily jeho pomalé průmyslové uplatnění [9].

V současné době je pájení zastoupeno ve spoustě průmyslových odvětví. Široce je pájení rozšířené zejména v opravárenství, v továrnách, v automobilovém, leteckém, lodním průmyslu, elektrotechnickém průmyslu a spoustě dalších odvětvích průmyslu [9].

2 Pájení – podstata, výhody, nevýhody, použití v praxi

Pájení je ve své podstatě jednoduchý proces, avšak pro vytvoření kvalitního spoje je třeba dodržet určité podmínky.

2.1 Fyzikální podstata pájení

Pájení je možno definovat jako fyzikálně chemický děj, při kterém při určité pracovní teplotě se difúzně spájí roztavená pájka se základním materiálem, přičemž pájené plochy nejsou nataveny, pouze jsou smáčeny danou pájkou. Při pájení je velmi důležitá velikost pracovní teploty, roztékavost, smáčivost základního materiálu [9].

2.1.1 Povrchové napětí

Vznik povrchového napětí v kapce tekuté pájky můžeme vysvětlit vzájemnou přitažlivostí, která existuje mezi různými částicemi tekutiny. Přitažlivé síly částic uvnitř tekutiny se navzájem kompenzují. Na jejich přemístění uvnitř tekutiny se nespotřebuje žádná práce, neboť síly, které na ně působí ze všech stran jsou stejné a jejich výslednice se rovná nule. Jinak je tomu u částic, které jsou na povrchu tekutiny. Na jejich spodní část působí přitažlivé síly molekul tekutiny, které se jich dotýkají, kdežto na jejich vrchní část tyto síly nepůsobí [9].

2.1.2 Vztlínavost

Vztlínavost pájky je definována jako schopnost tekuté pájky vyplnit při pracovní teplotě úzkou mezeru spoje působením kapilárních sil. Velikost kapilárních sil se určí dle zákonů hydromechaniky pro laminární proděnění [9].

2.1.3 Smáčivost a roztékavost

Je schopnost tekuté pájky nebo tavidla přilnout k čistému povrchu základního materiálu při dané pracovní teplotě. Při smáčení zaujme kapka roztavené pájky takový tvar povrchu, při kterém je energie systému základní materiál - roztavená pájka - tavidlo minimální a mohou se uplatnit mezi atomové vazby. Příznivý vliv na smáčivost má snížení povrchového a mezipovrchového napětí. Velikost povrchového napětí lze ovlivnit velikostí pracovní teploty, druhem tavidla, malým množstvím legujících přísad v pájce, kterými mohou být např. Pd, Li, Ni, Si, Mn, Be, V, B, P [9].

Roztékavost pájky

Je definována jako schopnost pájky (tavidla) se roztéci po vodorovném povrchu základního materiálu. Její velikost se udává v mm^2 plochy, kterou zaujme přesně definovaný vzorek pájky. Roztékavost pájky lze ovlivnit též malým množstvím legujících prvků v pájce, kterými mohou být opět např. Pd, Li, Ni, Si, Mn, Be, V, B, P [9].

2.1.4 Metalurgické reakce při pájení

Při pájení je tekutá pájka a tuhý základní materiál po určitou dobu ve vzájemném styku. To je hlavním předpokladem metalurgických reakcí pro vytvoření kvalitního spoje. Mezi pájkou a základním materiálem v místě jejich styku nastávají reakce, které jsou dané kombinací pájky a základního materiálu [9]:

- Adhezní spojení kovů
- Reakce složek pájky s povrchovým oxidem základního materiálu
- Vzájemná difuze pájky a základního materiálu
- Rozpuštění základního materiálu v tekuté pájce

2.1.4.1. Difúze

Difúze při pájení je jev, při kterém se přemísťují atomy z pájky do základního materiálu a naopak. Tímto se vytváří přechodové oblasti, ve kterých se mění chemické

složení pájky. Směr pohybu atomů je dán gradientem koncentrace. Na difúzi mají vliv porucha struktury a gradient teploty, aktivity a pod [9].

2.1.4.2. Rozpustnost základního materiálu v tekuté pájce

Rozpustnost základního materiálu v pájce ovlivňuje základní materiál, použitá pájka, ale i podmínky pájení. Zvyšováním teploty pájení je rozpouštění základního materiálu v tekuté pájce intenzivnější. Rozpouštění základního materiálu v tekuté pájce je nežádoucí, zejména při pájení tenkostěnných součástí, kde zmenšuje účinnou tloušťku materiálu nebo u povlakových materiálů kde narušuje funkční povlak. Rozpustnost základního materiálu v tekuté pájce je nežádoucí a snížení rozpustnosti se dá provést několika způsoby [9]:

- Zkrácením doby pájení
- Použitím co nejnižší teploty pájení
- Použitím co nejmenšího množství pájky

2.2 Struktura pájeného spoje

Při pájení se většinou vytvoří přechodové oblasti, ve kterých je jiné chemické složení a mechanické vlastnosti než je u spojovaných materiálů. Přechodová oblast má výrazný vliv na kvalitu a vlastnosti pájeného spoje. Vlastnosti pájeného spoje jsou výrazně ovlivňovány přítomností intermediálních fází reakcí tekuté pájky a základního materiálu, částečné rozpouštění základního materiálu v pájce, ochlazováním pájeného spoje a jeho tepelnou úpravou [9].

2.3 Pájitelnost materiálů

Pájitelnost je definována jako způsobilost základního materiálu vytvořit spoj požadovaných vlastností při definovaném způsobu pájení, technologických a konstrukčních řešení [4].

Pájitelnost ocelí

Pájet lze všechny druhy ocelí, záleží pouze na správně zvolené technologii pájení a návrhu spoje [4].

Pájitelnost nelegovaných konstrukčních ocelí

Pájitelnost nelegovaných konstrukčních ocelí je především závislá na obsahu uhlíku oceli. Při nevhodných podmínkách pájení může způsobit vyšší obsah uhlíku pórovitost pájeného spoje. Pro pájení těchto ocelí se používají hlavně pájky na bázi Cu a Ag [4].

Pájitelnost legovaných konstrukčních ocelí

Pájitelnost legovaných konstrukčních ocelí je závislá především na množství legovaných přísad. Při vyšším obsahu prvků, kterými jsou např. Al, Cr, Ti, Si atd., se vytvářejí na povrchu stabilní povrchové oxidy, kvůli kterým je nutno použít speciální technologické podmínky jako rychlost ohřevu, chladnutí, redukční atmosféry nebo tavidla. Pro pájení těchto ocelí se používají hlavně pájky na bázi Ni [4].

Pájitelnost litin

Pro pájení litin se užívá především pájení na tvrdo. Litiny kvůli obsahu grafitu mají menší smáčivost, proto před pájením se musí odstranit z povrchu. Pájení se užívá hlavně pro opravy za užití speciálních postupů [4].

Pájitelnost olova a cínu

Pájitelnost olova je dobrá a pájíme ho pájkami se středním obsahem olova. Při pájení olova je třeba velmi pečlivě očistit pájené plochy, protože jinak vzniknou ve spojích pórovitá místa a spoje se v krátké době poruší. Pájení cínu a jeho slitin je jednoduché. Pracuje se vždy s málo ohřátou pájkou. []

Pájitelnost drahých kovů a jejich slitin

Mezi drahé kovy lze zařadit Ag, Au, Pt, Pd, a jejich slitiny. Pt se nejčastěji pájí slitinou Pt – Ir , Pt – Rh nebo čistým zlatem, bez nutnosti použití tavidla, takto vzniklý spoj má dobrou korozivzdornost. V případě, kdy není spoj vystaven korozivnímu

prostředí nebo nejsou takové požadavky na korozivzdornost, tak se pájí pájkami na bázi Ag s použitím tavidla. Pro Pd se nejčastěji používají měkké pájky se základem z Sn. Pájka je většinou legována malým množstvím Ag což je výhodné pro pájení postříbřených vrstev [9].

Slitiny mědi

Slitiny mědi se pájí většinou na tvrdo, ale hlavní podmínkou je, že obsah kyslíku se pohybuje od 0,08 % do 0,1 %. Slitiny mědi při vyšším obsahu kyslíku se nemohou pájet v redukční atmosféře, protože ve vodíkové atmosféře vzniká tzv. vodíková nemoc, proto je nutné použít neutrální plamen [4].

Pájitelnost ostatních kovů

Pájitelnost ostatních kovů je možné za dodržení určitých specifických podmínek. Pájitelné jsou kovy a slitiny Ti, Al, Be, Ni, Mo, Zr, W [4].

2.4 Výhody a nevýhody pájení

Jako každá technologie má i pájení své výhody a nevýhody, které často limitují použití této technologie.

2.4.1 Výhody pájení

- Vysoká produktivita práce
- Nižší tepelné ovlivnění pájených materiálů
- Nízké pořizovací a provozní náklady
- Pájením lze spojovat různé kovové materiály a libovolně silné
- Spojované materiály se netaví, jsou méně tepelně ovlivněné, zachovávají si své mechanické vlastnosti
- Menší hmotnost pájených konstrukcí proti nýtovaným
- Vysoká rozměrová přesnost
- V porovnání s nýtováním je pájení bezhlučné
- Pěkný vzhled spoje bez potřeby dalších úprav

2.4.2 Nevýhody pájení

- Příprava pájených ploch
- Deformace dlouhých pájených spojů
- Menší pevnost pájeného spoje při porovnání se svařeným spojem
- Menší tepelná odolnost
- Nesprávně navržené spoje mohou být méně odolné vůči korozi

2.5 Porovnání pájení a svařování

Z hlediska vlastností

Svařované spoje můžeme z hlediska materiálu považovat za homogenní. Materiál sváru má obvykle větší pevnost a lepší mechanické vlastnosti než základní materiál. Problémem u svařovaných spojů bývá často vnitřní pnutí, smrštění nebo případná deformace svaru nebo svařence. Naproti svařování jsou pájené spoje z hlediska materiálu heterogenní. Vlastnosti pájky se zpravidla neshodují s vlastnostmi pájených materiálů [9].

Z hlediska zručnosti pracovníka

Při tavném svařování je nutno pro vytvoření kvalitního spoje svařovací proces řídit určitými pravidly. Při ručním vedení elektrody je tedy vysoký požadavek na manuální zručnost pracovníka. Požadavky na manuální zručnost pro pájení, zejména při kapilárním pájení nejsou takové. Proto pájení mohou vykonávat i pracovníci méně zruční a kvalifikovaní a tím pádem jsou i nižší mzdové náklady na pracovníka. Kontrola jakosti spoje bývá také mnohem snadnější [9].

Z hlediska pracovní teploty

Při tavném svařování je svářecí teplota nad teplotou tání základního a přídavného materiálu. Naproti tomu u pájení se netaví základní materiál, ale pouze přídavný materiál, kterým je vlastně pájka. Základní materiál je ohřátý na podstatně

nižší teplotu, než je jeho teplota tání. Tato teplota bývá u měkkého pájení v rozmezí 50 – 450 °C a u tvrdého pájení 600 – 1200 °C [9].

Z hlediska kombinace základního a přídavného materiálu

Při svařování mají základní i přídavný materiál přibližně stejné chemické složení. U pájení je zpravidla chemické složení základního materiálu odlišné od přídavného. Pro jeden základní materiál máme vždy na výběr z několika druhů pájek, které volíme zpravidla podle požadovaných vlastností spoje [9].

Z hlediska tepelného zdroje

Pro sváření se užívá různých tepelných zdrojů. Pro pájení je potřeba podstatně nižší teploty než u svařování, přičemž oblast spoje musí být rovnoměrně ohřátá na pracovní teplotu. Pro ohřev se užívá různých tepelných zdrojů, které jsou zpravidla odvozeny od použité technologie pájení. Technologické podmínky jsou zpravidla univerzálnější oproti svařování [9].

Z hlediska mechanizace

Ruční svařování vyžaduje určitou zručnost pracovníka optimálně nastavit svářečku. U strojního svařování jsou parametry nastavovány automaticky pomocí elektronických zařízení. U ručního pájení musí pracovník hlavní pochody regulovat sám, ale nároky na zručnost nejsou takové jako u sváření [9].

Časový průběh svařovacího a pájecího pochodu

Při sváření je potřeba vyšší koncentrace energie do svářeného místa, kde dochází k tavení základního materiálu. Z tohoto vyplývá, že je potřeba delší čas pro dodání energie do svářeného místa. Čas lze zkrátit vyšším odtavovacím výkonem. Při pájení je potřeba vytvořit optimální podmínky pro tečení pájky. Při kapilárním pájení je úzká mezera spoje vyplněna všemi směry vyplněna pájkou, tím je pájení velice produktivní a za krátký čas se zhotoví velké množství spojů [9].

2.6 Použití pájení v praxi

Pro vytvoření kvalitního spoje je třeba zvolit správný způsob pájení, který odpovídá chemickému složení pájenému materiálu, požadovaných vlastností spoje, velikosti a tvaru pájených ploch, počtu kusů atd.

Požadavky na pájky [9]:

- Musí mít nižší teplotu tání než spojovaný materiál a co nejmenší interval tavení
- Dobré požadované pájecí vlastnosti což je roztékavost, smáčivost a kapilarita
- Dobré mechanické vlastnosti jako je např. pevnost ve smyku, v tahu, tažnost, vrubová houževnatost případně tvrdost
- Pájky v místě styku se spájeným materiálem musí mít co nejmenší rozdíl elektrochemického potenciálu kvůli předcházení korozi

2.6.1 Používané technologie pájení

Kovy se mohou pájet různými technologiemi pájení. Volba použité technologie vždy závisí na požadovaných vlastnostech spoje, chemického složení pájených materiálů, délky a tvaru pájených dílů, počtu kusů a pod [2].

Pájení pistolovou pájkou

Používá se na měkké pájení. Měkké pájky jsou lehce tavitelné, proto se dá využít teplo akumulované v kovu. Většinou pájecího hrotu z mědi zahřátým na teplotu 400 – 500 °C. Ohřev je možné provést v peci, plamenem, elektricky apod. [2].

Pájení plamenem

Toto pájení se podobá sváření plamenem, ale rozdíl je v tom že pájené plochy se netaví, ale jen ohřívají na pájecí teplotu. Tento druh pájení je vhodný pro pájení ocelí, litin, mědi a jejích slitin, hliníku a jeho slitin. Na ohřev se používá neutrální kyslíko – acetylenový plamen, v případě mosazi je vhodnější ohřev [2].

Pájení v peci s ochranou atmosférou

Tento druh pájení je vhodný pro sériovou a hromadnou výrobu. Pájka se vloží mezi řádně připravené pájené plochy a pájené díly se upnou do přípravku a umístí se na transportní pás, který dopraví pájené plochy do pece vyhřáté na pracovní teplotu použité pájky [2].

Indukční vysokofrekvenční pájení

Indukční vysokofrekvenční pájení je možné zařadit k nejprogresivnějším technologiím pájení. Při tomto pájení jsou pájené díly součástí uzavřeného proudového okruhu induktoru, který je třeba přizpůsobit tvaru součásti [2].

Ponorné pájení

Ponorné pájení je kapilární pájení, při kterém je tepelným zdrojem solná, tavná nebo kovová lázeň. Solná lázeň se používá převážně nejvíc na tvrdé pájení dílů z uhlíkových a slitinových ocelí a na pájení dílů z mědi a jejích slitin. Tavná lázeň se používá na pájení těžkých kovů mosaznými pájkami a na tvrdé pájení hliníku a jeho slitin. Kovovou lázeň je možno používat na měkké a tvrdé pájení. Lázně se ohřívají buď plamenem nebo elektricky [2].

Pájení elektrickým odporem

Pájení elektrickým odporem je druh kapilárního pájení, při kterém je zdrojem elektrického tepla elektrický odpor. Podobně jako při odporovém sváření, ohřev je velmi rychlý a jen v místě spoje. Tím se rychle ohřejí pájené plochy a roztaví se pájka. Oxidace při této metodě je minimální. Pájí se uhlíkovými nebo kovovými elektrodami [2].

Pájení ve vakuu

Je to druh kapilárního pájení bez přítomnosti vzduchu. Používá se především pro pájení kovů (titanu, tantalu, wolframu atd.), které se špatně pájí běžnými metodami a kde je potřeba vyšší kvality spoje [2].

Reakční pájení

Při reakčním pájení je pájka ve formě chemické sloučeniny, která se při pájení rozkládá na pájecí kov a na látky, které působí jako tavidlo [2].

Vtírací pájení

Vtírací pájení je speciální druh nánosného pájení, kdy při pájení je nahřejí pájené plochy na teplotu 250° a povrchové oxidy jsou mechanicky odstraňovány z povrchu. Po odstranění oxidů se difúzně spojí pájky se základním materiálem [2].

Pájení ultrazvukem

Pájení ultrazvukem se používá zejména pro pájení hliníku a jeho slitin pomocí pájek Sn a Sn – Zn [2].

Progresivní metody pájení

Mezi progresivní metody pájení lze zařadit např. MIG pájení, které je využíváno zejména pro pájení velmi tenkých pozinkovaných plechů. Pro tento druh pájení se používá klasická MIG / MAG svařečka, ale s bronzovým drátem, který slouží jako pájka.

2.7 Tavidlo

Jako tavidlo se v metalurgii označuje chemická látka, jejímž úkolem je působit jako čisticí prostředek při tvrdém či měkkém pájení nebo při svařování, s cílem odstranit zoxidované kovy z míst, která se spojují. Mezi běžně používaná tavidla patří chlorid amonný nebo kalafuna pro pájení cínovou pájkou, kyselina chlorovodíková nebo chlorid zinečnatý pro pájení pozinkované oceli (nebo jiných zinkových povrchů), a borax pro tvrdé pájení či svařování železných kovů. Různá tavidla, většinou založená na chloridu sodném, chloridu draselném a na fluoridech, např. fluoridu sodném, se

používají ve slévárnách k odstraňování nečistot z roztavených neželezných kovů, například z hliníku, a pro přidávání požadovaných stopových prvků, např. titanu [19].

Při procesu vysokoteplotního spojování kovů (pájení a svařování) je primárním účelem tavidla zabránit oxidaci základního a výplňového materiálu. Pájka (např. cín-olovo) velmi dobře přilne k mědi, ale velmi špatně k jejím oxidům, které se při teplotách používaných při pájení rychle tvoří. Tavidlo je látka, které je při pokojové teplotě téměř netečná, ale při zvýšených teplotách se stává silně redukční a brání tak tvorbě oxidů kovů. Navíc tavidlo umožňuje, aby pájka snadno tekla po pájených površích, místo aby tvořila kuličky, jak by se jinak dělo [19].

Funkce a požadavky tavidla [9]:

- Tavidlo musí dobře smáčet základní materiál i pájku
- Reakční teplota tavidla, tj. teplota tání musí být o 50 až 150 °C nižší než je teplota tání pájky
- Tavidlo musí mít konstantní povrchové napětí po celou dobu pájení
- Množství tavidla je závislé na velikosti zoxidované plochy
- Hustota tavidla musí být vždy menší než hustota pájky
- Tavidlo musí být po celou dobu chemicky stálé
- Hustota tavidla musí být menší než hustota pájky
- Zbytky tavidla se musí snadno odstranit
- Tavidlo by mělo být zdravotně nezávadné

3 Měkké pájky – chemické složení, vlastnosti, použití

Měkké pájky jsou pájky s pracovní teplotou do 450 °C. Měkké pájky se nehodí pro tepelně namáhané a pevnostně namáhané spoje, jejich využití je především pro nenáročné spoje namáhané na tah. Jsou založeny na těžkých neželezných kovech, které mají nízkou teplotu tání. Těmito kovy jsou např. Sn, Pb, Cd, Sb a Bi [9].

3.1 Měkké pájky pro těžké neželezné kovy

Skupina pájek určená pro kovy s hustotou vyšší než 4500kg/m³.

3.1.1 Měkké pájky cínové

Cínové pájky jsou založeny na bázi Pb – Sn o pracovní teplotě 183 – 350 °C. Obsah cínu v pájce se pohybuje v rozmezí 4 – 90 %. Cín je aktivní složkou a vytváří dobrou smáčivost pájky. Už 3 % cínu v pájce významně ovlivňují kvalitu pájení. Samotné olovo není schopné metalurgické reakce se základním materiálem a má špatnou smáčivost [9].

K posouzení základních vlastností jaké bude mít pájka se užívá nejčastěji rovnovážného diagramu Pb – Sn. Eutektikum vzniká při obsahu cínu 61,9 % a teplotě 183 °C. Olovo při eutektické teplotě rozpouští až 19,5 % Sn a tvoří s ním tuhý roztok. Pájky do obsahu 5 % Sn se používají pro vyšší teploty. Jakost cínových pájek je v praxi vyhodnocována na základě zvukového efektu, který vzniká při ohýbání tyčky pájky [9].

Téměř všechny slitiny Pb – Sn lze použít jako pájky. V závislosti na poměru Pb – Sn se vlastnosti pájky velmi liší, takže výběr pájky by měl být určen podle použití. Pb – Sn pájky s vysokým obsahem cínu (90 až 98 %) pájí dobře většinu ocelí, měď a její slitiny a mnoho dalších. Charakteristickým rysem těchto pájek je poměrně vysoká odolnost proti korozi, nízký bod tání (220 – 230 °C) a nízký obsah olova společně s čistým cínem z nich dělají zdraví neškodné slitiny. Jejich využití je zejména v potravinářském průmyslu a konzervování. V jiných odvětvích jsou tyto pájky z důvodů vyšších nákladů zřídka kdy používány [30].

Slitiny obsahující 65 až 90 % cínu mají ještě nižší bod tání (185 – 220 °C), dobrou tekutost, ale vysokou křehkost a vyšší cenu. Slitiny tohoto obsahu nejsou jako pájky používány [30].

Zvláštní skupinou Pb – Sn pájek jsou slitiny s obsahem 50 – 65 %. Jedná se o slitiny s nejnižším bodem tání (183 – 209 °C) co se týče Pb – Sn systému. Tyto slitiny krystalizují ve velmi malém rozsahu teplot, různě v závislosti na složení v rozsahu od 0 – 25 °C, proto mají velmi vysokou tekutost. Vlastnosti této skupiny pájek určují velký rozsah jejich použití. Jejich využití je zejména na místech, kde nejsou spoje vystavovány vyšším teplotám a kde je požadavek na vyplnění úzké mezery pájkou. Zvláště vysokou tekutost má eutektická pájka obsahující asi 62 % Sn, která krystalizuje při teplotě 183 °C [30].

Nejběžněji používané v různých průmyslových odvětvích jsou slitiny o obsahu 30 – 50 % Sn. Pájky této skladby jsou nejvíce používány, průměrný interval krystalizace (26 – 73 °C) jim poskytuje dostatečnou pružnost a zároveň zamezuje nadměrnému odtoku pájky ze spoje. Kvalitní a relativně nízké náklady umožňují široké využití v mnoha oblastech strojírenství [30].

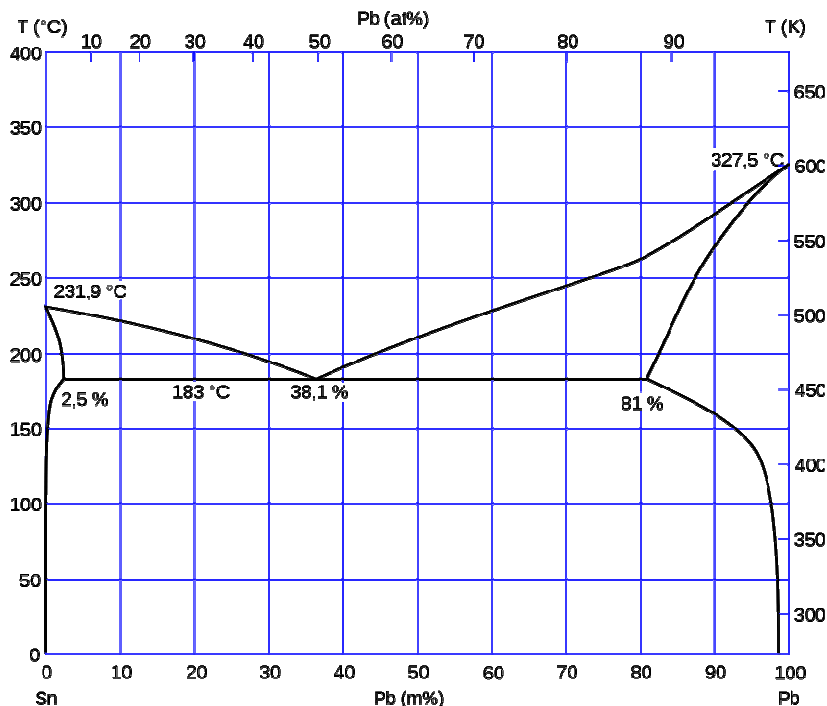
Slitiny obsahující 15 až 30 % Sn se liší od všech ostatních skupin tím, že krystalizují v širokém rozmezí teplot (až 95 °C) pro slitiny s 19,5 % Sn. Proto jsou tyto pájky vhodné zejména tam, kde je potřeba udržet pájku v kašovitém stavu. Například tyto slitiny jsou dobré pro pájení automobilových karosérií [30].

Pájky s obsahem cínu nižší než 15% se používají velmi málo a jsou používány tam, kde nejsou vysoké nároky na pevnost spoje.

Pro zvýšení pevnosti pájky Pb – Sn se často přidává 1 – 6 % Sb. V pájkách s malým obsahem Sn také snižuje teplotu tání pájky, ale při této příležitosti je třeba mít na paměti, že vysoké množství Sb dramaticky zvyšuje křehkost pájky a v některých případech snižuje i celkovou pevnost spoje [30].

Volba pájky by měla být pro každý případ na základě výše uvedených vlastností jednotlivých skupin pájek.

Obr. 1 Binární diagram Pb – Sn



3.1.2 Měkké pájky bezolovnaté

Olovo je dobře známý toxický kov. Olovo obsažené v pájecích materiálech elektronických součástek v odpadu by bylo rozpuštěno kyselým deštěm a znečišťovalo by podzemní vody. Od té doby následovaly studie bezolovnatých pájek. Kolem roku 1980 se bezolovnaté pájky začaly zavádět do praktického využití. Používání bezolovnatých pájek se stalo hlavním proudem díky stoupajícímu globálnímu trendu otázek životního prostředí, jako je směrnice RoHS (omezování používání nebezpečných látek, která vstoupila v platnost v Evropské unii od 1.července 2006) [31].

Většina bezolovnatých slitin je dražší než klasická Pb – Sn pájka. Pro bezolovnaté pájky je ve většině slitin nutná přítomnost minimálně 60 % Sn a zbytek je většinou doplňován ostatními kovy [32]. Legováním pájky dalšími prvky jako např. Ag, Sb, Cu, Bi, In atd., vznikají pájky, které vyhovují speciálním požadavkům praxe [9].

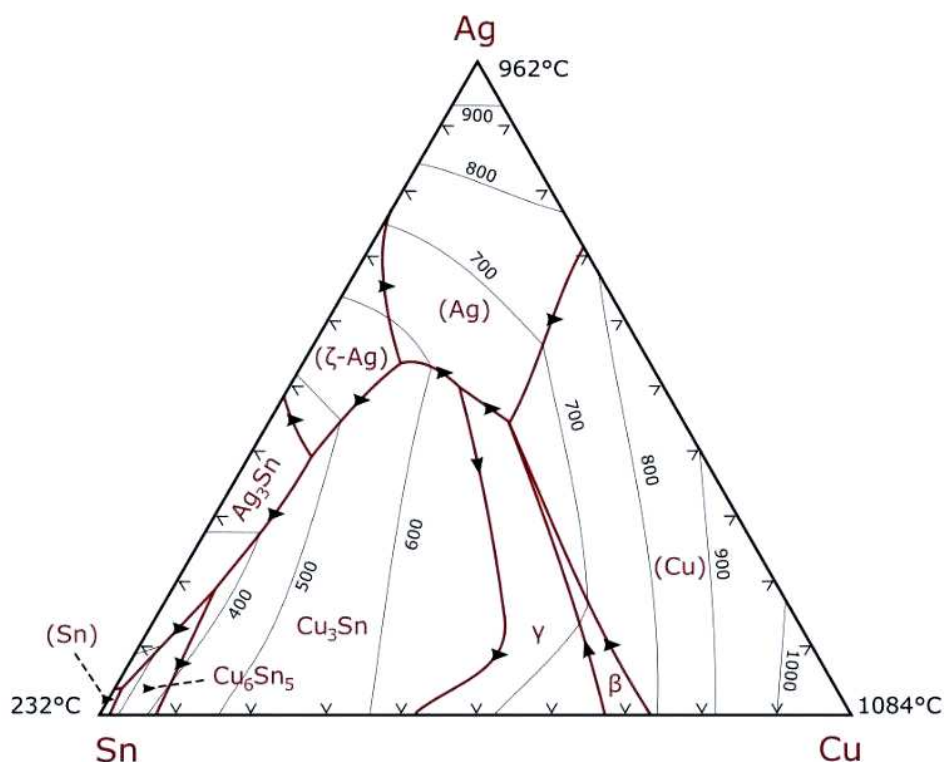
Cena slitiny je závislá na ceně jednotlivých složek a odvíjí se od dostupnosti obsažených prvků. Dostupnost a cena každého prvku je závislá na velikosti jeho celosvětových zásob, nákladů na těžbu, zpracování atd. [32].

Na trhu se již dnes vyskytuje celá řada bezolovnatých pájek, avšak jejich způsob použití není zcela shodný s Pb – Sn pájkami. Zásadní, i když ne zdaleka jediný rozdíl je bod tání pájkové slitiny, která je obvykle vyšší. Zatímco Pb – Sn eutektické pájky dosahují tekutého stavu při teplotě 183 °C, u převážné většiny bezolovnatých pájek je tento stav dosažitelný v rozmezí teplot 195 – 227 °C, v závislosti na jejich složení. Vyšší teploty tání pájek zároveň způsobují větší spotřebu energie a tím pádem vyšší energetické náklady [32].

Jelikož všechny bezolovnaté pájky vykazují horší smáčivost v porovnání s Pb – Sn pájkami, může se zvýšit pravděpodobnost vzniku povrchových vad pájených spojů, proto spoje vyžadují v některých případech další úpravu [32].

Spektrum využití bezolovnatých pájek díky jejich nezávadným vlivům na lidské zdraví je široké. Jejich využití je zejména v elektrotechnickém průmyslu při pájení spojů u spotřební elektroniky, potravinářském průmyslu, při pájení měděné instalace, při klempířských pracích apod. [32].

Obr. 2 Fázový diagram Sn – Ag – Cu



Pájky na bázi Bi – Cd

Nízký bod tání bizmutu a jeho slitin umožnil vznik velkého množství nízko tavitelných slitin, které se někdy používají jako pájky. Pájky na bázi bizmutu mají významnou nevýhodu, jsou velmi křehké. Z tohoto důvodu mají pájky na bázi Bi – Cd jen omezené využití. Používají se hlavně pro pájení pojistek v elektronice a pro automaticky provozní prostředky požární ochrany. Pájky s vysokým obsahem Cd mají vynikající vlastnosti, ale vzhledem k jejich vysoké ceně nejsou moc používány [29].

3.2 Měkké pájky pro lehké neželezné kovy

Tyto pájky můžeme dělit na nízko, středně a vysokoteplotní pájky. Všeobecně lze říci, že jsou to pájky především na hliník a jeho slitiny.

3.2.1 Měkké nízkoteplotní pájky

Jsou to pájky s pracovní teplotou do 280 °C a jejich základ tvoří nízko tavitelné prvky Sn, Pb, Cd. Pájka může obsahovat prvky s vyšší teplotou tání jako jsou Zn, Cu, Al, ale jen minimální množství. V závislosti na legovaných prvcích se teploty tání těchto pájek pohybují v rozmezí 170 až 266 °C [9].

3.2.2 Měkké středně teplotní pájky

Tyto pájky jsou v zásadě podobné pájkám nízkoteplotním, ale pracovní teplota je vyšší. Pracovní teplota se pohybuje od 280 až do 400 °C. Hlavní rozdíl ve složení je, že obsah Zn se pohybuje od 30 až do 65 %. S rostoucím obsahem Zn se teplota tání pájky zvyšuje [9].

3.2.3 Měkké vysokoteplotní pájky

Tyto pájky jsou založeny na bázi Zn, přičemž jsou malým množstvím legovány prvky s vyšší teplotou tání, kterými jsou např. Al, Cu, Ag, Mn. Pracovní teplota těchto pájek je 400 až 450 °C. O těchto pájkách lze říci, že jsou nejodolnější proti korozi [9].

4 Tvrdé pájky – chemické složení, vlastnosti, použití

Pájky s teplotou pájení nad 450 °C. Používají se pro spoje, po kterých je požadována vyšší pevnost spojů nebo pro spoje, které jsou namáhány zvýšenými nebo kryogenickými teplotami.

4.1 Tvrdé pájky z těžkých kovů

Tyto pájky jsou založeny na prvcích, jejichž hustota je větší než 4500 kg/m³. Některé druhy jsou založeny pouze na neželezných kovech, jiné na železných v kombinaci s neželeznými kovy.

4.1.1 Tvrdé pájky na bázi Cu

Pájky patřící do této skupiny jsou určeny pro pájení železných i neželezných kovů, které mají teplotu tání vyšší než 1000 °C.

Pájky z čisté mědi

Nejjednodušší pájka je čistá měď. Měď má poměrně vysokou pevnost a vysokou tažnost. Při zatížení v tahu 170 – 180 MPa dosahuje měď prodloužení 30 – 35 %. V závislosti na čistotě mědi a stupni vytvrzení se pohybuje mez pevnosti v tahu 240 – 250 MPa při prodloužení až 50 %. Díky tomu mají spoje pájené mědí vysokou pevnost a houževnatost [28].

Používá se pro pájení ocelí (žáruvzdorné i nerezové), niklu a jeho slitin, slinitých karbidů kovů atd. Tato vlastnost přímo předurčuje měď používat jako vysokotavitelnou pájku. Při pájení se používá čistá měď pouze pro pájení v peci s ochrannou atmosférou.

Pájky Cu – P

Pájky Cu – P se používají zejména pro pájení mědi a jejích slitin. Pro pájení ocelí a slitin, které obsahují více než 10 % Ni je nevhodná, protože tvoří křehké přechodové fáze neželezných kovů a jejich slitin. Tyto pájky byly donedávna zřídka kdy používány. Hlavním důvodem bylo, že nemají smáčivost povrchu železných kovů a jednak při pájení tvoří křehké fosfidy železa, což má za následek špatné spoje. Nedávno bylo zjištěno, že vznik křehkého fosfidu železa, může být snížen pokovením oceli mědí. Eutektické složení vzniká při obsahu 8,6 % P a teplotě tání 710 °C. V některých případech jsou tyto prvky legovány ještě Ag [9].

Pevnost v tahu pájky Cu – P je poměrně vysoká, ale spoj je křehký, není odolný proti nárazu, vibracím a ohybovému zatížení. Elektrická vodivost pájky je vysoká, tak jí lze s úspěchem použít v elektrotechnickém průmyslu. Jedním z rozlišovacích znaků proti běžným Cu pájkám je, že použití tavidla není nutné [27].

Využití této skupiny pájek je především v elektrotechnickém průmyslu při výrobě elektromotorů a elektrických zařízení, v potravinářském průmyslu a instalatérských pracích.

Pájky Cu – Zn

Mosaz je slitina mědi a zinku a podíly obou materiálů se liší podle různého použití pájky. Takže tato řada pájek může být vytvořena různými poměry materiálů, z nichž každý má své jedinečné vlastnosti. Je to všestranný materiál a může být využit pro různě teplé namáhané spoje [28].

Mosazné pájecí slitiny se používají při pájení ocelí, karbidu wolframu, mědi a dalších kovů a slitin. Jedná se o cenově výhodnou alternativu k pájení slitiny stříbra, která poskytuje vysokou pevnost spoje. Tyto pájky nabízí dobrou odolnost proti korozi s vysokou tepelnou a elektrickou vodivostí.

Pájky Cu – Zn obsahující více než 40 % Zn jsou levnější, mají nižší teplotu tání, ale zvýšený obsah Zn vytváří křehké spoje, protože struktura pájky se skládá z křehké fáze β . Jakost pájek zcela závisí na obsahu Zn v pájce. Obsah Zn v pájce by měl být maximálně 40 %. Zn má nepříznivý vliv na zdraví pracovníka, protože Zn vře při teplotě 913 °C, přičemž už při nízkých teplotách dosahuje tlak nasycených par vysokých hodnot a už při teplotě 650 °C dochází k jeho odpařování. Další nepříjemnou vlastností je, že společně s vodíkem způsobuje pórovitost pájeného spoje [28].

Pájky Cu – Zn jsou legovány dalšími prvky pro zlepšení vlastností pájek. Cín v pájce snižuje teplotu tání pájky, zlepšuje tekutost, a může působit i jako dezoxidační činitel v pájce.

Křemík v malém množství snižuje pórovitost tím, že minimalizuje rozpustnost vodíku. Společně s vodíkem tvoří hydridy a tak zabraňuje přepalu zinku. U pájek bez křemíku nebo s velmi malým obsahem se odpaření Zn zabrání tavidlem o vysoké viskozitě. Při nízké viskozitě tavidla nastává velké odpařování Zn. Při obsahu nad 0,25 % Si způsobuje při pájení ocelí křehké intermediární fáze [9].

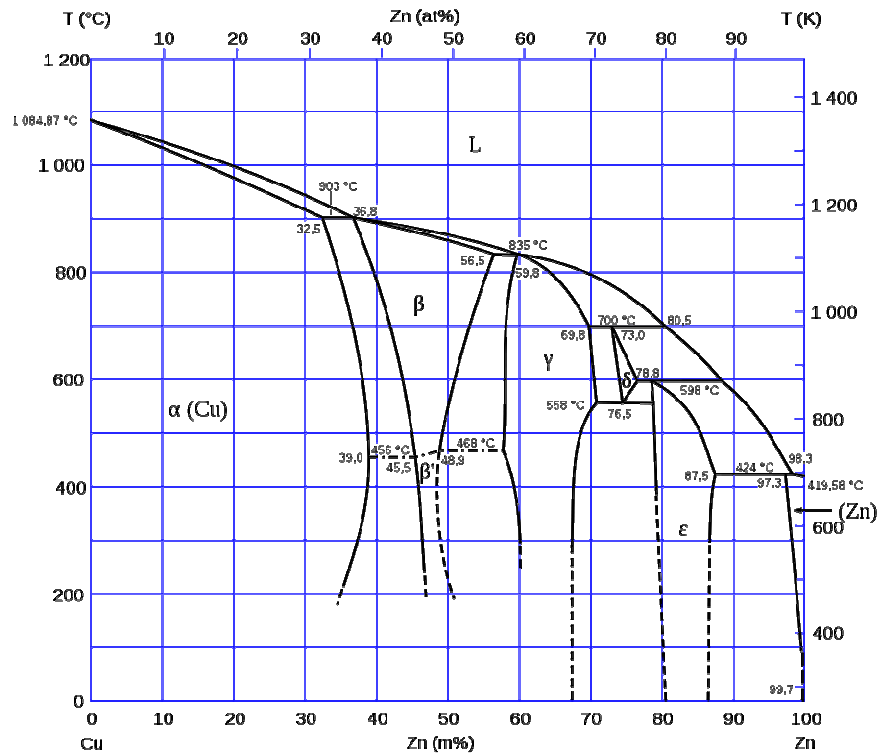
Stříbro v pájce snižuje teplotu tání a zlepšuje tekutost, ale i přes snížení pracovní teploty přitom nedochází ke zkřehnutí pájky. Už 10 % stříbra v pájce snižuje teplotu tání pájky až o 200 °C, přičemž selepší i elektrická vodivost [9].

Přítomnost niklu zvyšuje pracovní teplotu pájky a cenu. Nikl však zlepšuje pevnost a houževnatost pájky.

Malé množství přísad, kterými jsou P, Al, Mg, Cd mají nepříznivý vliv při pájení ocelí, protože způsobují křehkost pájených spojů. Aby nedocházelo ke zkřehnutí pájky, musí být obsah Cd maximálně 2 %. Prvky Pb, Sb, Bi způsobují praskliny [28].

Využití Cu – Zn pájky je v různých průmyslových odvětvích pro různé aplikace. Jejich využití je zejména v leteckém, vesmírném, lodním, elektronickém, telekomunikačním průmyslu atd.

Obr. 3 Binární diagram Cu-Zn



Pájky Cu – Zn – P

Tato skupina pájek založená na bázi Cu – Zn – P obsahuje kromě těchto prvků i malé množství Ni, Si. Obsah Cu v pájce je 62 až 66 % a P 5 až 6 %.

Pájky o tomto složení mají poměrně nízkou teplotu tání, která se pohybuje v rozmezí 700 – 750 °C. Pro svou nízkou pracovní teplotu se hodí zejména pro nánosové pájení plamenem. Jejich hlavní výhodou je dobrá zatékavost a nižší cena v porovnání s ostatními pájkami. Nevýhodou těchto pájek je křehkost [9].

Využití těchto pájek je především v automobilovém průmyslu, při klempířských pracích, v opravárenství, instalačních pracích, v chladírenském průmyslu.

4.1.2 Pájky na bázi Ag

Tyto pájky v porovnání s mosaznými pájkami jsou podstatně dražší, a proto nejsou tolik v průmyslové výrobě využívány, i když mají nízkou teplotu tání. Nízké teploty tání stříbrných pájek nejen zkracují dobu pájení, ale zaručují, že u materiálů, které nesmějí být zahřáty na vyšší teplotu, nedojde k přehřátí spojovaných kovů. S rostoucím obsahem Ag klesá teplota tání pájky, nad 45 % Ag opět stoupá v rozsahu asi 2 °C na každé 1 % Ag. V závislosti na obsahu Cd a Zn bývá teplota tání 630 – 800 °C [9].

Stříbrné pájky mají dobrou pevnost, tažnost a odolnost proti korozi, vysokou elektrickou, tepelnou vodivost. Stříbrné pájky jsou vhodné pro všechny železné i neželezné kovy a slitiny, pokud je jejich teplota mírně nad bodem tání pájky. Pájky této skupiny dobře smáčí povrch základního materiálu, skvěle vyplňují mezery, poskytují trvanlivé a korozivzdorné pájené spoje. Stříbrné pájky na rozdíl od ostatních pájek vydrží značné ohybové deformace, dobře odolávají nárazům a střídavým zatížením.

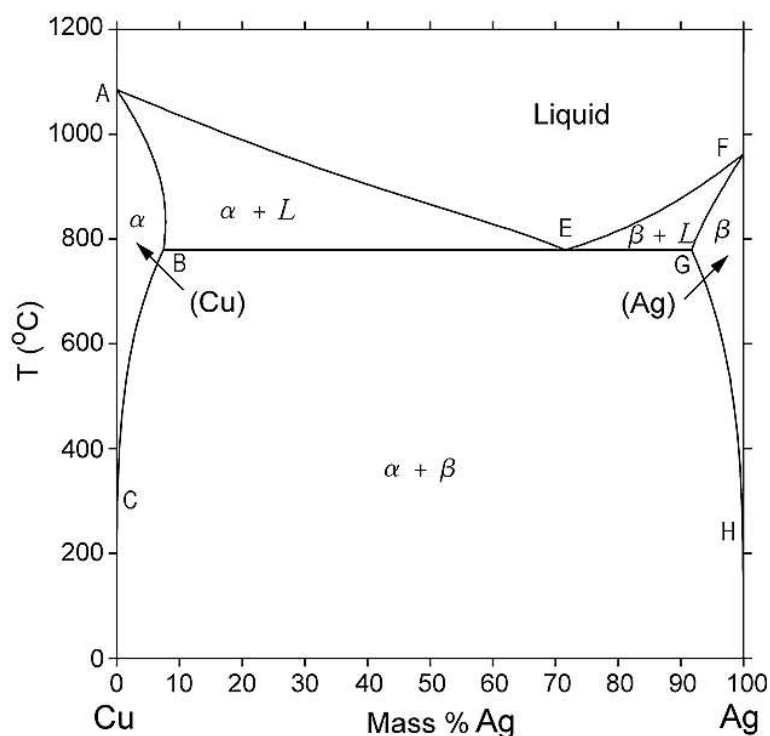
Ve strojírenském průmyslu jsou nejpoužívanější levnější slitiny obsahující 10 až 45% Ag, které už poskytují dostatečně vysokou kvalitu spojů.

Pájky na bázi Ag – Cu

Tato podskupina se skládá z eutektických Ag – Cu pájek s teplotou tání 710 až 780 °C. Tekutost této skupiny pájek je velmi dobrá, proto jsou vhodné pro úzké mezery. Výhodou Ag – Cu pájek je, že se dají použít pro vakuové pájení mědi a beryllia [9].

Jejich hlavní použití je pro pájení ve vakuu. Velmi dobře pájí ocel, měď, slitiny mědi, nikl a slitiny niklu.

Obr. 4 Binární diagram Cu-Ag



Pájky Ag – Cu – Zn

Pájky této skupiny obsahují 4 až 62 % Ag , přičemž teplota tání se pohybuje v rozmezí 730 až 870 °C. Legováním slitiny Ag – Cu zinkem klesá teplota tání slitiny o 4,5 °C na každé 1 % Zn [9].

Pájky této skupiny byly poprvé použity pro průmyslové pájení na pájení transatlantického telegrafního kabelu, který byl položen roku 1860. V 19. století byly tyto pájky poměrně dosti využívány při výrobě parních turbín [8].

Využití těchto pájek je zejména při pájení kapilárním pájení ocelí, temperované litiny, mědi a jejích slitin, niklu a jeho slitin, pájení jemné mechaniky, lodních a leteckých dílů, v potravinářském průmyslu apod.

Pájky Ag – Cu – Sn

Slitiny o teplotě tání 710 až 780 °C, které mají obdobné vlastnosti jako Ag – Cu – Zn pájky, ale Ag – Cu – Sn pájky jsou houževnatější. [9].

Tyto pájky jsou vhodné zejména pro pájení ve vakuu nebo v redukční atmosféře pro kapilární pájení ocelí, mědi, slitin mědi, niklu, slitin niklu.

Pájky Ag – Cu – Zn – Cd

Je to skupina kvarternárních slitin s nižší pájecí teplotou a dobrou tekutostí. Těchto vlastností se dosahuje přidavkem Cd. Aby nebyla pájka křehká, musí být celkový obsah Zn a Cd v pájce nižší než 43 %. Obsah Ag v pájce je 20 až 50 %. Pájky této skupiny díky složení mají nižší pevnost [9].

Dobře se dají tyto pájky použít pro mechanizované pájení, dobře vyplňuje mezery mezi spoji. Hodí se pro pájení ocelí včetně nerezavějících, temperované litiny, mědi, mosazi, cínových bronzů, niklu a jeho slitin, slinutých karbidů a těchto kovů vzájemně mezi sebou. Využití je zejména v elektroprůmyslu, chladiřenství, při výrobě armatur apod.

Pájky Ag – Cu – Zn – Ni – Mn a Ag – Mn

Vzhledem k obsahu Ni a Mn se tyto pájky hodí pro teplotní provozy do 400 °C, mají dobrou tekutost a dobře snášejí smršťování při rychlých změnách teplot. Slitina Ag – Mn je eutektická o obsahu 15 % Mn. Dobře se s nimi pájí austenitické oceli, destičky ze slinutých karbidů na soustružnické nože, ale také niklové bronzy [9].

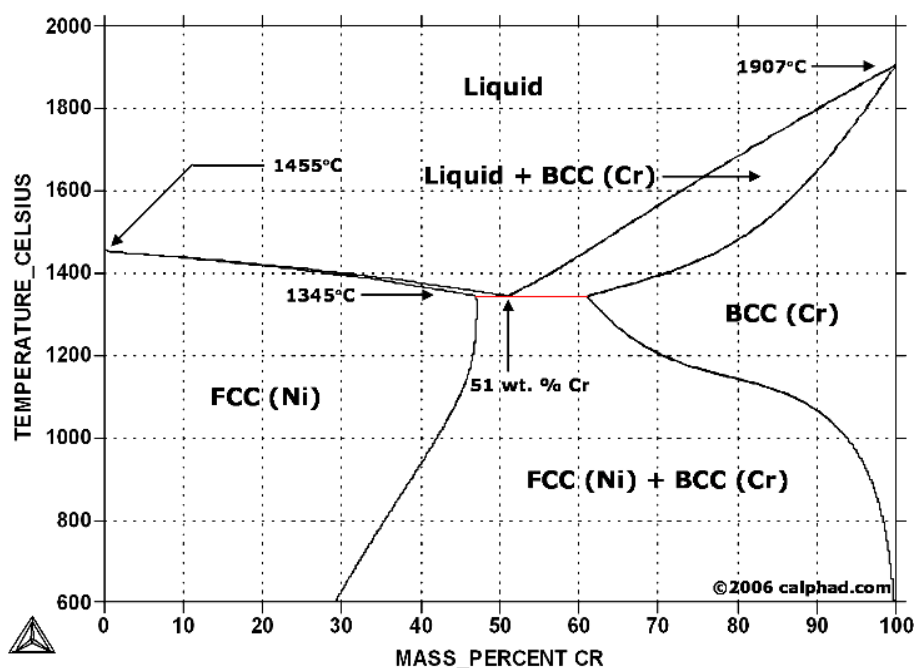
4.1.3 Pájky na bázi Ni

Ni pro svou teplotu tání 1452 °C, je základní složkou pro tvorbu žáruvzdorných a žárovevných pájek. Odolnost proti oxidaci a korozi je také dobrá. Vlastnosti niklu můžeme ještě zlepšit legováním prvků, čímž se nám sníží i teplota jeho tání. Ni pájky jsou většinou vícesložkové [9].

Tyto pájky jsou vhodné pro pájení žáruvzdorných, žárovevných, korozivzdorných ocelí a slitin. Pájky této skupiny mají dobré pájecí vlastnosti, ale špatnou tvařitelnost.

Pájecí slitiny niklu se používají v různých průmyslových odvětvích pro řadu aplikací. Jejich využití je především v automobilovém průmyslu, energetice, telekomunikaci, lékařství, elektrotechnice a např. i pro zařízení v kosmonautice [21].

Obr. 5 Binární diagram Ni – Cr



Ni – Cr – Si – B – Fe

Pájky této skupiny mají dobré pájecí vlastnosti a dobrou difuzi. Chrom ovlivňuje dobrou pevnost spoje za tepla, dobrou odolnost proti korozi a oxidaci. Naopak bór v pájce snižuje teplotu tání pájky a působí intenzivní difuzi pájky do základního materiálu, který zároveň i rozpouští, což způsobuje erozi. Z uvedeného tedy vyplývá nevhodnost pro pájení tenkostěnných soustav. Optimálních mechanických vlastností dosahuje tato skupina při mezeře do 0,04 mm [9].

Hodí se především pro vysoce termicky a pevnostně zatěžované spoje, kterými mohou být lopatky turbín nebo „horké“ části tryskových motorů.

Ni – Cr – B a Ni – Si – Mn

Pájky této skupiny jsou vlastnostmi podobné předešlé skupině pájek. Vyplňují mezery menší než 0,05 mm a jsou vhodné pro vyšší provozní teploty [9].

Ni – Cr – Si a Ni – Cr – Si – Mn

Oproti pájkám, které obsahují bór má tento typ pájek sice vyšší teplotu tání, ale také menší sklon k difúzi po hranicích zrn a k oxidaci základního materiálu, proto jsou vhodné pro pájení tenkostěnných prvků. Zhotovené spoje mají dobrou odolnost proti

korozí a jsou vhodné pro provozní teploty až 800 °C. Pájky s vyšším obsahem Cr mají vyšší teplotu tání a odolnost proti oxidaci. Pro pájení těmito pájkami je třeba mít šířku mezery spoje do 0,1 mm [9].

Ni – P a Ni – Cr – P

Pájky Ni – P mají poměrně nízkou teplotu tání a malý sklon k difúzi a erozi základního materiálu ve srovnání s ostatními Ni pájkami. Ni – Cr – P pájky mají vlastnosti podobné Ni – P pájkám, ale jejich teplota tání je vyšší. Pro své vlastnosti jsou vhodné pro pájení tenkostěnných prvků při nízkých provozních teplotách [9].

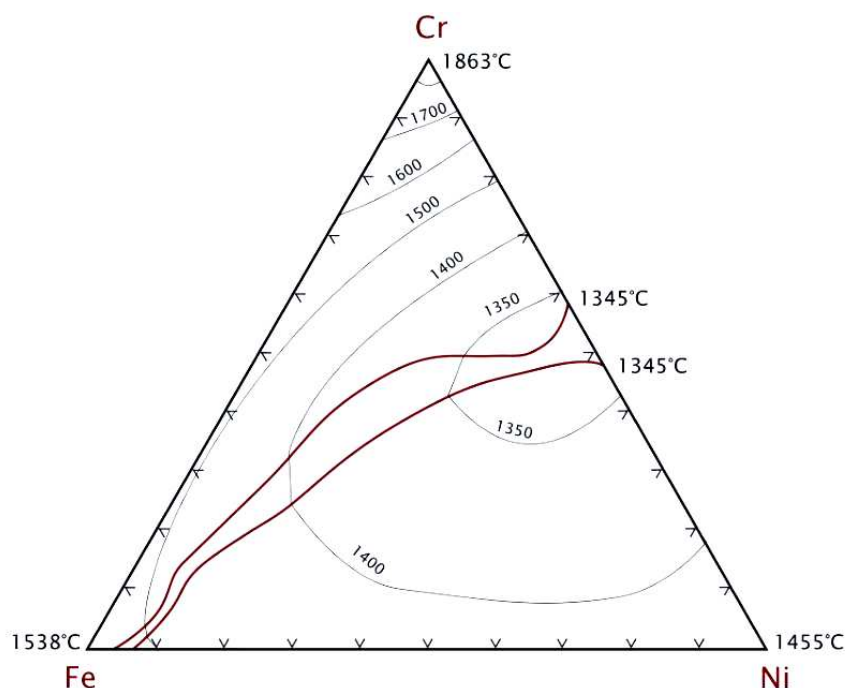
Ni – Mn a Ni – Mn – Co

Pájky o tomto složení jsou využívány pro pájení tenkostěnných prvků, tepelných výměníků a součástí turbín. Hlavní výhodou je malý sklon k erozi základního materiálu [9].

4.1.4 Pájky na bázi Fe

Pájky na bázi Fe jsou vysokoteplotní pájky, kdy jejich teplota tavení se pohybuje v rozmezí 1260 až 1480 °C. V porovnání s pájkami na bázi Ni jsou Fe pájky levnější a mají vyšší teplotu tavení i v případě, že byly legovány B a Si, které snižují teplotu tání. Pájky Fe jsou legovány prvky Cr, Ni a W, kterými se zvyšuje žárupevnost, žáruvzdornost a korozi-vzdornost. Obsah Cr v pájce může být až 25 %. Pájky tohoto typu jsou vhodné pro pájení vysokotavitelných materiálů ve vakuu i v redukční atmosféře [9].

Obr. 6 Fázový diagram Fe – Ni – Cr



4.2 Tvrdé pájky pro lehké neželezné kovy

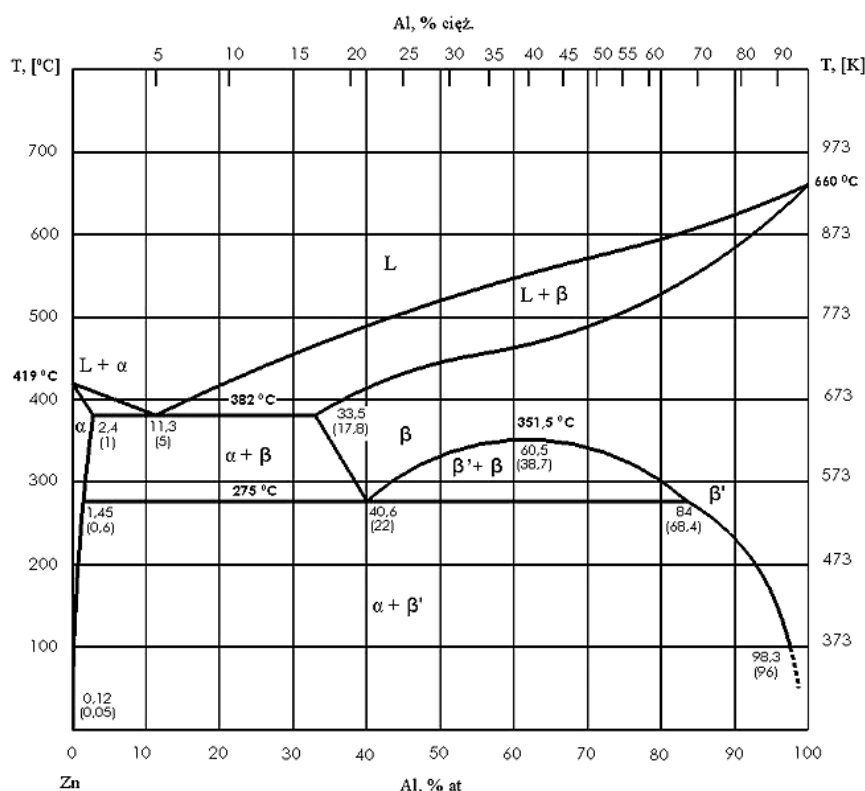
Tvrdé pájky pro kovy s hustotou menší než 4500kg/m^{-3} .

4.2.1 Pájky na bázi Al

Tyto pájky jsou založeny na bázi Al – Si nebo případně Al – Cu – Si. Eutektické složení vzniká při obsahu 11,7 % Si při teplotě tání $577\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jako pájecí slitiny jsou užívány slitiny o obsahu 4 – 13 % Si, které se označují ve slévárenství jako silumin. Teploty tavení v závislosti na obsahu Si je $577 - 630\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pájky mají dobrou kapilaritu [9].

Hlavní využití je pro pájení čistého hliníku a hliníkových nízkolegovaných slitin do 2 % legujících prvků.

Obr. 7 Binární diagram Zn – Al



4.2.2 Pájky na bázi Mg

Pájky na bázi Mg jsou určeny na pájení hořčíkových slitin. Tyto pájky nejsou v porovnání s ostatními tvrdými pájkami tak používané. Pájky jsou založeny na bázi Mg – Al – Zn – Cd. Osahují 25 až 27 % Al a 1 až 1,5 % Zn. Přičemž teplota tání pájky se pohybuje od 435 až do 520 °C. Jelikož hořčík je náchylný ke vzplanutí, leguje se ještě pájka 0,002 % beryllia, které zabraňuje vzplanutí. Legováním pájky 25 až 26 % Cd se snižuje teplota tání pájky na 395 až 415 °C. Pájka, která je legovaná Cd má mnohem menší náchylnost na trhliny [9].

4.2.3 Pájky Ti

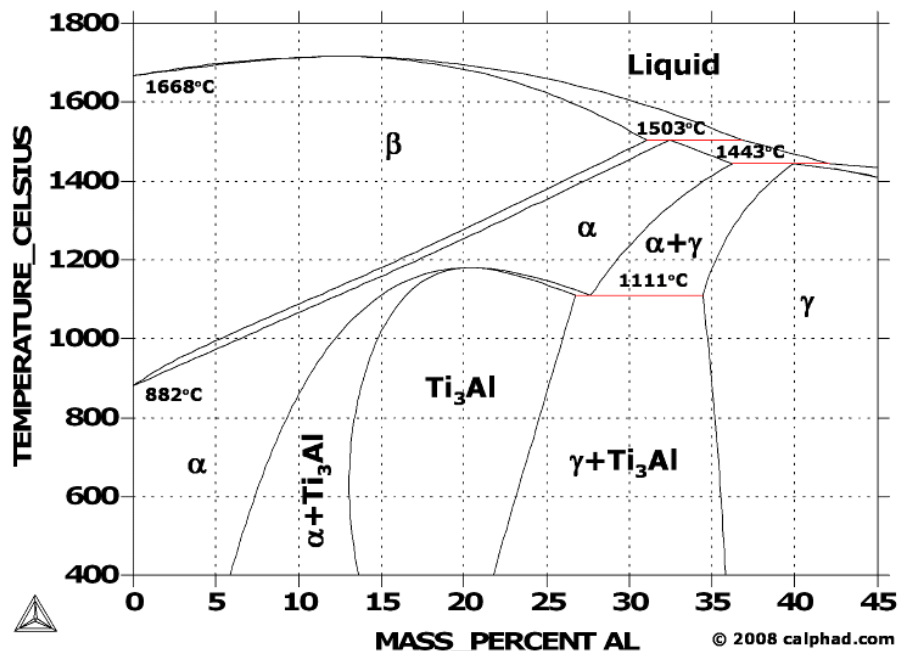
Titan je velmi důležitý, ale relativně drahý kov. Je to silný, lehký, korozi-odolný kov bílo – stříbřitě – kovové barvy. Může být legovaný řadou dalších prvků jako je Fe, Al, Mo, atd. a tak vytvářet silné lehké slitiny [20].

Slitiny titanu se skládají nejčastěji ze tří prvků na základě Ti, Ag a Al. Slitiny titanu mají teplotu tání kolem 1400 ° C (teplota tání titanu je 1668 °C). Slitiny titanu poskytují vynikající odolnost vůči solnému prostředí a atmosférické korozi [20].

Pro pájení titanem se používají pájecí pece a indukční pájení ve vakuu nebo v atmosféře argonu.

Tyto pájky se používají pro letectví (proudové motory, rakety a raketoplány), pro vojenská, průmyslová zařízení (zejména zařízení pro chemikálie), automobilovém průmyslu atd.

Obr. 8 Binární diagram Al – Ti



4.3 Pájky z drahých kovů

Pájky z drahých kovů mají výborné vlastnosti, ale pro jejich vyšší cenu nejsou v porovnání s ostatními pájkami v průmyslu tak často využívány.

4.3.1 Pájky na bázi Au

Zlaté pájky jsou v zásadě na dvou bázích Au – Cu a Au – Ni. Ostatní legující prvky obsahují celkově do 1,50 %.

Au – Cu

Pájecí slitiny založené na minimálně 30 % podílu zlata, u těchto pájek bývá také podíl Fe (0,5 až 1,5 %). Pájky této řady mají dobrou elektrickou vodivost, tvárnost a výjimečnou odolnost proti korozi. Au – Cu slitiny mají dobrou schopnost smáčet nikl, měď, železo, kobalt, molybden, tantal, niob, wolfram, a jejich slitiny. Teplota tání této skupiny pájek je 910 až 1020 °C v závislosti na poměru prvků.

Au – Cu slitiny jsou používány v celé řadě průmyslových odvětví. Výborně se hodí pro pájení ve vakuu na pájení tenkostěnných součástí. Elektronický průmysl je největším spotřebitelem Au – Cu pájek. Tady jsou z velké části používány při výrobě elektronek, vlnovodů radarových zařízení, vakuových zařízení atd. Kromě toho se Au – Cu pájky velice používají v bižuterii [20].

Au – Ni

Tyto slitiny jsou významnou skupinou. Je metalurgicky obdobná Au – Cu pájkám. Tyto slitiny mají všechny užitečné vlastnosti Au – Cu slitiny. Slitiny, které mají více než 35 % niklu nejsou v současné době používány. Jejich hlavní nevýhodou je vysoká viskozita a vysoký bod tání (950 – 990 °C) [20].

Výhodou těchto pájek je vysoká teplotní pevnost, odolnost vůči oxidaci za vyšších teplot a tvárnost. Au – Ni pájky vydrží vysoké teploty. Tato vlastnost může být upravena přidáním legujících prvků. Legování lze také použít ke snížení obsahu ušlechtilých kovů, a tak snížení vlastních nákladů, bez ztráty svých užitečných vlastností [20].

4.3.2 Pájky na bázi Pd

Palladium je odolný, kujný, tažný kov, elektricky i tepelně středně dobře vodivý. Výjimečná je i jeho odolnost proti korozi a pevnost spojů i za zvýšených teplot.

Většina pájek na bázi Pd obsahuje velké množství Ag a Cu, ale některé tyto pájky jsou legovány i velkým množstvím Ni a řádově několika procenty Mn. Prvky Ag, Cu, Ni dosahují v některých pájkách celkového obsahu nad 60 %. Dle různého obsahu prvků se teplota tání pájek na bázi Pd pohybuje v rozmezí 800 až 1235 °C, přičemž teplota tání čistého Pd je 1555 °C.

Spoje vytvořené Pd pájkami jsou žárovečné a poskytují po dobu 1000 hodin a 450°C dostatečnou creepovou pevnost, ale tato pevnost je ve srovnání s Ni pájkami menší. Spojy vytvořené Pd pájkami jsou odolné proti rázu, nerozpouštějí ve velké míře základní materiál (vhodné pro pájení tenkostěnných prvků), nevytvářejí se základním materiálem křehké intermediální fáze, díky jejich nižší roztékavosti je s nimi možné pájet mezery do šířky 0,5 mm [9].

Tyto pájky jsou využívány ve speciálních průmyslových odvětvích, kterými je např. vesmírný program nebo elektronický průmysl.

5 Závěr

Cílem této práce bylo shromáždit základní informace o přídavných materiálech pro pájení, základních metodikách pájení a jeho užití v praxi.

Ačkoliv je pájení velice stará technologie, prošla do dnešní doby významným vývojem, ať už z hlediska materiálového nebo mechanizace. Vývoj technologie pájení a materiálů pro pájení půjde dál, aby se ještě zefektivnila výroba a ochrana životního prostředí. V současné době se neustále pracuje na vývoji bezolovnatých pájek, které by zcela nahradily současné pájky obsahující olovo. Výsledkem tohoto snažení by měla být efektivnější výroba a lepší vliv na přírodní prostředí a zdraví člověka.

Seznam použité literatury:

- [1] ADAMKA, J.: Základy zvarovania, delenia a spájkovania kovov. 2.uprav. vyd. Bratislava, Alfa 1986. 544 s.
- [2] BLAŠČÍK, F. aj.: Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvarovania. Bratislava, ALFA 1987, 832 s.
- [3] BÖHLER UDDEHOLM CZ spol. s.r.o.: Pájení. Praha, Böhler Uddeholm CZ spol. s.r.o. 2003. 12 s.
- [4] KRUCIPÁL, J.: Teorie svařování. 1. vydání. Praha: SNTL, 1986. 272 s
- [5] KRÍŽ, V.: Souhrn nejvíce používaných způsobů svařování včetně pájení. Praha NTL 1986. 109 s.
- [6] LANCASTER, J. F.: The metallurgy of welding, brazing and soldering. New York, Elsevier, 1965. 291 p.
- [7] MANKO, H. H.: Solders and Soldering. New York, MacGraw-Hill, 1964. XV, 323 p.
- [8] ROBERTS, P.: Industrial brazing practice. Boca Raton, CRC Press 2004. 383 p.
- [9] RŮŽA, V.: Pájení. 2.uprav. a dopl. vyd. Praha, NTL 1988. 452 s.
- [10] STEDFELD, R. L.: Metals Handbook. Vol. 6., Welding, brazing, and soldering. 9.ed.
- [11] Metals Park, Oh., American Society for Metals, 1983. XVII, 1152 p.
- [12] WEMAN, K.: Welding Processes Handbook. Cambridge, Woodhead 2003. 193 p.

Elektronické zdroje:

- [13] File:Cooper-Silver-diagram.JPG [online]. Vystaveno 2005 [cit. 2010 – 4 – 1].
Dostupné na: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cooper-Silver-diagram.JPG>
- [14] File:Diagramme_binaire_Cu_Zn.svg [online]. Vystaveno 2005 [cit. 2010 – 4 – 1].
Dostupné na: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagramme_binaire_Cu_Zn.svg
- [15] File:Diagramme_binaire_Pb_Sn.svg [online]. Vystaveno 2005 [cit. 2010 – 4 – 1].
Dostupné na: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diagramme_binaire_Pb_Sn.svg
- [16] File:Fe-Cr-Ni-solidus-phase-diagram.svg [online]. Vystaveno 2005
[cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fe-Cr-Ni-solidus-phase-diagram.svg>
- [17] File:Sn-Ag-Cu-phase-diagram-greek.svg [online]. Vystaveno 2005
[cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sn-Ag-Cu-phase-diagram-greek.svg>
- [18] File:Zn-Al.jpg [online]. Vystaveno 2005 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zn-Al.jpg>
- [19] Tavidlo [online]. Vystaveno 2003 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:
<http://cs.wikimedia.org/wiki/Tavidlo>
- [20] Gold brazing alloys [online]. Vystaveno 2006 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:
<http://www.brazingalloys.net/gold-brazing-alloys.html>

- [21] Nickel brazing alloys [online]. Vystaveno 2006 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:
<http://www.brazingalloys.net/nickel-brazing-alloys.html>
- [22] Silver brazing alloys [online]. Vystaveno 2006 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:
<http://www.brazingalloys.net/silver-brazing-alloys.html>
- [23] Titanium brazing alloys [online]. Vystaveno 2005 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:
<http://www.brazingalloys.net/titanium-brazing-alloys.html>
- [24] Nickel – Chromium [online]. Vystaveno 2005 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:
<http://www.calphad.com/nickel-chromium.html>
- [25] Titanium - Aluminium [online]. Vystaveno 2005 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:
<http://www.calphad.com/titanium-aluminum.html>
- [26] Drevniymir [online]. Vystaveno 2004 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:
<http://www.drevniymir.ru/>
- [27] Drevniymir [online]. Vystaveno 2004 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:
<http://www.drevniymir.ru/vostok07.html>
- [28] Drevniymir [online]. Vystaveno 2004 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:
<http://www.drevniymir.ru/vostok08.html>
- [29] Drevniymir [online]. Vystaveno 2004 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:
<http://www.drevniymir.ru/vostok11.html>
- [30] Drevniymir [online]. Vystaveno 2004 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:
<http://www.drevniymir.ru/vostok13.html>

[31] Bezolovnaté pájky [online]. Vystaveno 2006 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na:

<http://www.hakko.cz/bezolovnate-pajeni.html>

[32] Doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc. Pájení a bezolovnaté pájky [online]. Vystaveno

2007 [cit. 2010 – 4 – 1]. Dostupné na: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/novinky/pb_free.pdf

Seznam obrázků:

<i>Obr. 1 Binární diagram Pb – Sn [15]</i>	15
<i>Obr. 2 Fázový diagram Sn – Ag – Cu [17]</i>	17
<i>Obr. 3 Binární diagram Cu – Zn [14]</i>	21
<i>Obr. 4 Binární diagram Cu – Ag [13]</i>	23
<i>Obr. 5 Binární diagram Ni – Cr [24]</i>	25
<i>Obr. 6 Fázový diagram Fe – Ni – Cr [16]</i>	27
<i>Obr.7 Binární diagram Zn – Al [18]</i>	28
<i>Obr.8 Binární diagram Al – Ti [25]</i>	29