



Spolufinancováno
z programu Evropské unie
Erasmus+



Erasmus+

MODUL T

Měkké a tvrdé pájení

Pájení na měkko a pájení na tvrdo – charakteristika



Pájení na měkko a pájení na tvrdo – charakteristika

- Pájením je možné vytvořit nerozebíratelný spoj. Je tedy vedle svařování, nýtování a lepení další metodou, kterou je možné tento spoj vyrobit.
- Na rozdíl od tavného svařování se pracuje s menšími pracovními teplotami. To znamená, že základní materiál zůstává vždy v tuhém stavu.
- Jako přídatný materiál se používá pájka, která má nižší teplotu tavení než spojované materiály.



Vznik pájeného spoje

- Pájený spoj vytvoříme pomocí tří materiálů, a to materiálu základního (pájeného), přídavného (pájky) a pomocného (tavidla).
- Zahřátá pájka zateče vlivem gravitačních nebo kapilárních sil do pájecí mezery, kde smáčí kovově čisté, na pájecí teplotu ohřáté pájené plochy.
- Mezi atomy pájeného materiálu a pájky jsou vytvořeny podmínky pro vznik adhezních a kohezních sil.
- Při pracovních pájecích teplotách dojde k rozpouštění a vzájemné difúzi pájených materiálů a pájky.
- Po zchladnutí pájky vzniká nerozebíratelný spoj. Jeho typ závisí na vzájemné rozpustnosti pájeného materiálu a pájky v tuhém stavu.
- Pevnost pájeného spoje je zpravidla vyšší než pevnost pájky, je závislá na typu a velikosti spoje.
- Pájení většinou vyžaduje použití speciálních typů spojů konstruovaných většinou tak, aby namáhání pájeného spoje bylo pokud možno smykové.

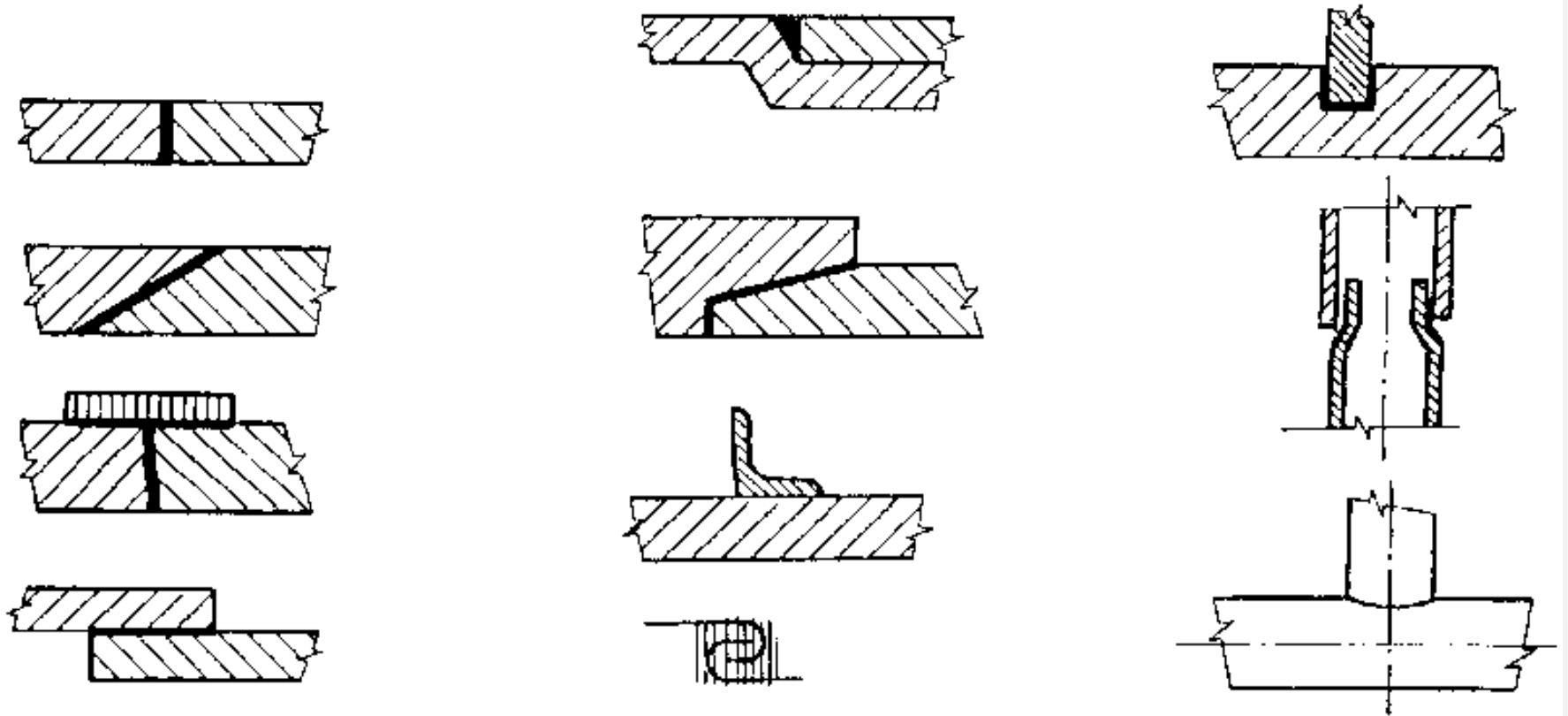


Pájení na měkko – napojení žlabového kotlíku na svodovou trubku





Typy pájených spojů



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení*. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 215.



Výhody pájení

- vysoká produktivita výroby,
- vysoká reprodukovatelnost výrobků,
- vysoká rozměrová přesnost, možnost spojit pájení s tepelným zpracováním,
- nižší tepelné zatížení pájených materiálů, menší tepelná napětí a strukturní změny,
- lepší pracovní prostředí, hezký vzhled spoje,
- možnost automatizace, možnost pájení i v nepřístupných místech.



Rozdělení pájení podle pracovních teplot

- Podle teploty tavení pájky se rozděluje pájení na dvě skupiny:
 - pájení měkké (teplota tavení pájky je do 450 °C),
 - pájení tvrdé (teplota tavení nad 450 °C),
 - zvláštní podskupinou tvrdého pájení je vysokoteplotní pájení s teplotou likvidu pájek nad 950 °C.



Pájení

- Pájení je možno rozdělit i podle dalších kritérií např. podle způsobu ohřevu, tvaru pájeného spoje, stupně mechanizace nebo automatizace, prostředí, způsobu spojení atd.
- Podle způsobu dopravy pájky do pájecí mezery rozdělujeme pájení na kapilární a nánosové (gravitační).
- Při pájení musí tavní teploty použitých materiálů splňovat podmínku, že pracovní teplota pájení je $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad teplotou likvidu pájky.



Pájky

- co nejužší teplotní interval tavení (ideální je eutektické složení), dobrá smáčivost, roztékavost a kapilarita,
- prvky obsažené v pájce nesmí s pájeným materiálem vytvářet křehké intermetalické fáze,
- co nejmenší elektrochemický potenciál mezi pájkou a pájeným materiálem.

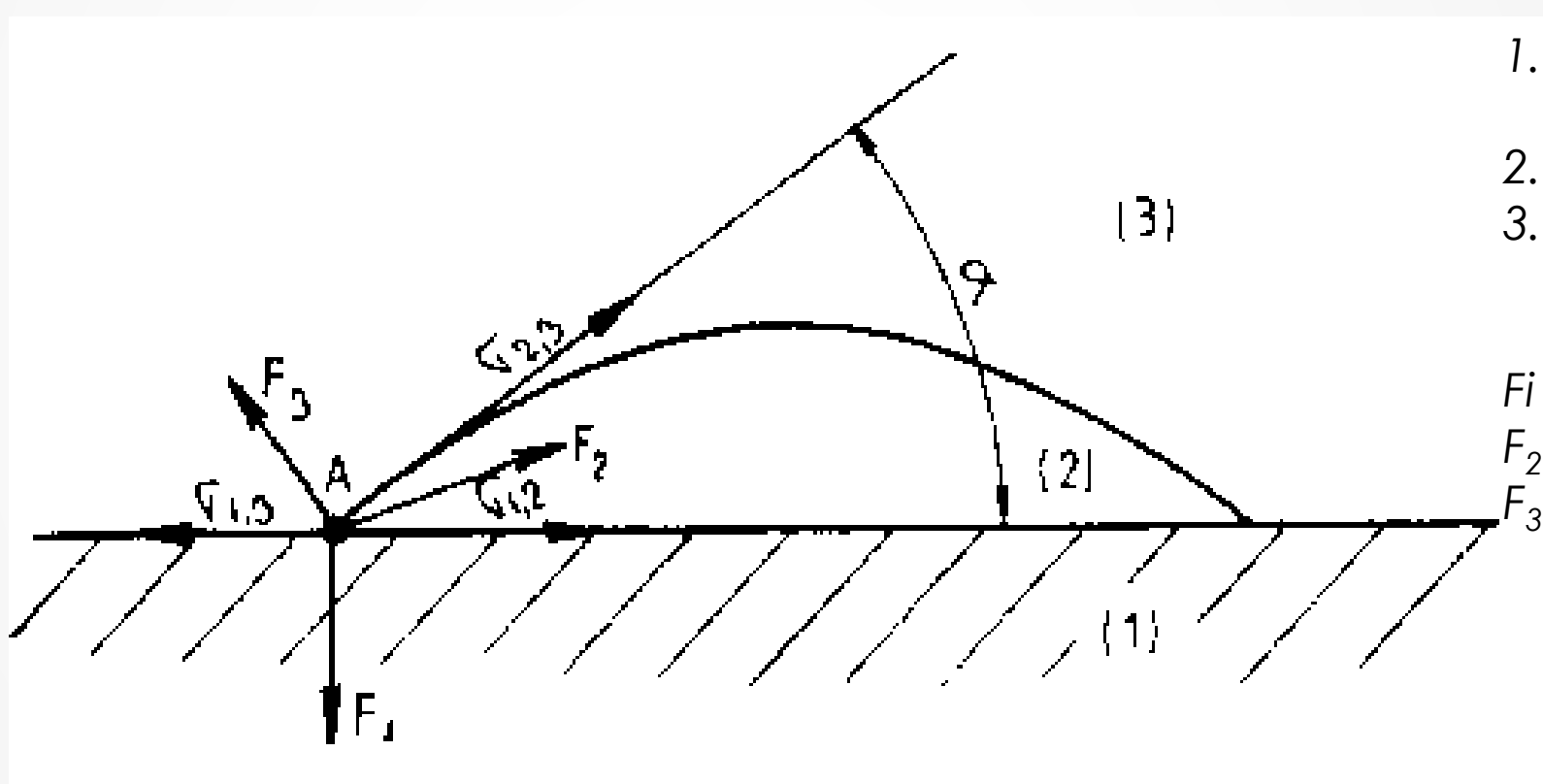


Vlastnosti pájek

- Smáčivost pájky
 - Smáčivost je definována jako schopnost tekuté pájky přilnout k čistému povrchu spojovaného materiálu při pracovní teplotě.
 - Je to jedna z nejdůležitějších vlastností zásadně ovlivňujících kvalitu pájeného spoje.
 - Smáčivost významně ovlivňuje povrchové napětí roztavené pájky.
 - Při smáčení nabude kapka pájky takového tvaru, při kterém je povrchová energie systému (základní materiál – pájka – tavidlo).



Napětí a síly působící v systému základní materiál – pájka – prostředí



- 1. pájený materiál,
 - 2. pájka,
 - 3. okolní atmosféra – prostředí
- F_i – adhezní síly;
 F_2 – kohezní síly;
 F_3 – přitažlivé síly



Napětí a síly působící v systému základní materiál – pájka – prostředí

- ▶ $\alpha = 0^\circ$ až 15° – smáčivost dokonalá (vhodná pro kapilární pájení)
- ▶ $\alpha = 15^\circ$ až 75° – smáčivost dobrá (vhodná pro nánosové pájení)
- ▶ $\alpha = 75^\circ$ až 90° – pájka smáčivá (ještě postačující pro nánosové pájení)
- ▶ $\alpha > 90^\circ$ – pájka nesmáčivá (nevhodná pro jakýkoliv způsob pájení)
- ▶ Smáčivost úzce souvisí s tekutostí a roztékavostí pájky.



Roztékavost pájky

- Je to schopnost pájky pokrýt co největší plochu pájeného materiálu.
- Velikostí smáčené plochy je také roztékavost hodnocena.



Vzlínavost pájky

- Vzlínavost je definována jako schopnost tekuté pájky vyplnit při pracovní teplotě úzkou mezeru spoje působením kapilárních sil.
- Velikost kapilární síly je dána zákony hydromechaniky.
- Kapilární vzlínavost je závislá na druhu pájky, na jejím povrchovém napětí, měrné hmotnosti a velikosti mezery spoje.



Metalurgické reakce při pájení

- ▶ Při pájení je tekutá pájka a tuhý základní materiál určitou dobu (několik sekund až minut podle druhu ohřevu) ve vzájemném styku.
- ▶ Tím je splněn nejdůležitější předpoklad metalurgických reakcí v oblasti spoje.
- ▶ Podle druhu pájky a základního materiálu může na hranici jejich styku nastat některá z těchto reakcí:
 - ▶ adhezní spojení,
 - ▶ vzájemná difúze prvků pájky a základního materiálu,
 - ▶ rozpouštění základního materiálu pájkou,
 - ▶ reakce složek pájky s povrchovým oxidem základního materiálu.



Metalurgické reakce při pájení

- Adhezním spojením nazýváme takový případ spojování, při kterém nedochází k vzájemnému rozpouštění pájky a základního materiálu (např. u kombinací Pb – Fe, Cu, Zn, Ni, Mo, Al, nebo Ag – Fe, Cr apod.).
- Adhezního spojení se využívá tehdy, když nesmí dojít ke změně chemického složení spojovaných materiálů, např. v elektronice.
- Adhezní spoj má dobrou elektrickou vodivost, má však menší pevnost.



Metalurgické reakce při pájení

- Ve většině případů se při pájení vytvoří přechodové oblasti určité tloušťky, které mají (v důsledku difúze nebo rozpouštění) jiné chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti než spojované materiály.
- V obecném případě však v pájeném spoji nemusí vzniknout všechny uvedené oblasti.



Měkké pájky

- Pájky pro měkké pájení se vyznačují především nízkou pracovní teplotou a zároveň i malou pevností (5 MPa).
- Proto se používají na spoje, které nejsou pevnostně ani tepelně namáhány.
- Jsou to slitiny těžkých kovů (Sn, Pb, Cd, Sb, Bi) a tvoří dvě skupiny: cínové pájky, speciální pájky.



Cínové pájky

- Jsou slitiny cínu a olova s pracovní teplotou 190 °C – 350 °C.
- Cín je v těchto pájkách aktivní složkou a zajišťuje dobrou smáčivost.
- Obsah Sn v podstatné míře ovlivňuje kvalitu pájení.
- Naproti tomu olovo má špatnou smáčivost a se základním materiálem metalurgicky nereaguje.
- Stačí však malá přísada cínu (min. 3 %) popř. jiného povrchově aktivního prvku (např. Sb), aby se podstatně zlepšily pájecí vlastnosti pájky.
- U cínových pájek se obsah cínu pohybuje v rozmezí od 4 % do 90 %.
- Moderní pájky mají minimální obsah olova z důvodu snižování negativního vlivu na životní prostředí.



Měkká cínoolověná pájka





Speciální měkké pájky

- Splňují zvláštní požadavky (např. spolehlivost a těsnost při kryogenních teplotách, odolnost proti korozi v určitém prostředí apod.).
- Jde o podvojně nebo vícesložkové slitiny skládající se kromě Sn a Pb také z Cd a Zn a jejich složení se blíží eutektickému.
- Legováním dalšími prvky (Ag, Cu, Sb, Bi, In) se vytvoří pájky vyhovující specifickým požadavkům.



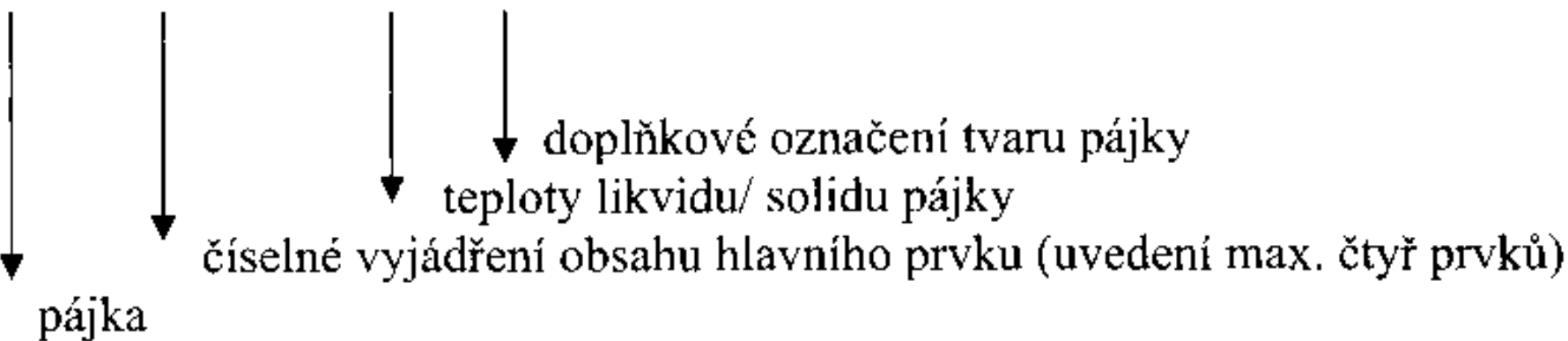
Dělení speciálních pájek

- pájky pro potravinářský a chladírenský průmysl,
- pájky pro elektrotechniku a elektroniku,
- pájky pro pájení skla,
- pájky pro nízké pájecí teploty a pro tepelné pojistky,
- pájky modelovací k vyplňování nerovností (např. karosářské).



Značení měkkých pájek

B – Sn 50 Pb – 215/185 X, kde





Tvrdé pájky

- ▶ Tvrdé pájky mají tavící teplotu vyšší než 450 °C.
- ▶ Patří sem především pájky hliníkové, měděné, mosazné a stříbrné.
- ▶ Hliníkové pájky jsou většinou eutektické slitiny Al a Si (siluminy) a slouží pro pájení hliníku a jeho slitin.
- ▶ Měděné pájky jsou buď čistá měď, nebo měď s přísadou 8 % P nebo 1 % Ag se používají pro pájení oceli a poskytují vakuově těsné spoje.
- ▶ Mosazné pájky se běžně používají pro pájení mědi, oceli nebo šedé a temperované litiny.
- ▶ Vzhledem k vyššímu obsahu Zn je obtížné u nich dosáhnout vakuově těsných spojů.
- ▶ Stříbrné pájky se používají pro pájení mědi a nerezavějících ocelí.



Tvrdé pájky

- Z ostatních typů tvrdých pájek je nutno jmenovat především pájky na bázi Ni (pájení žáruvzdorných a korozivzdorných ocelí), pájky na bázi paladia (jaderná energetika, elektronika, plynové turbíny) a pájky na bázi drahých kovů, které se používají v dentální technice a při výrobě šperků.
- Pájky se dodávají podle požadavků spotřebitele ve tvaru tažených drátů, pásů, folií nebo jako granulované.
- Mohou to být také tyčinky obalené tavidlem, nebo tavidlem plněné trubičky.
- Označování tvrdých pájek je obdobné jako označování pájek měkkých, např.:
- B – Cu 60 Zn – 900/880 (mosazná pájka s obsahem 80 % Cu, zbytek Zn)



Tavidla

- Úkolem tavidla je připravit pájenou plochu – odstranit s povrchu oxidy a ostatní nečistoty a případně při styku s pájkou zmenšit její povrchové napětí a tím zlepšit smáčivost a roztékavost.



Požadavky na tavidla

- dobré smáčení základního materiálu a pájky,
- reakční teplota tavidla musí být o 50 °C až 150 °C nižší, než je teplota tavení pájky,
- minimální viskozita v oblasti pracovních teplot pájky,
- stálé povrchové napětí,
- nižší hustota než je hustota pájky,
- chemická stálost při pokojové i pracovní teplotě,
- po pájení snadná odstranitelnost,
- zdravotní nezávadnost.



Pájecí krém





Tavidla pro měkké pájení

- Organická tavidla – využívají se zejména v elektronice např. kalafuna, do past se používají i tuky
- Anorganická tavidla – jedná se převážně o roztoky chloridu amonného a roztoky chloridu zinečnatého.
 - Nevýhoda – korozivní účinky, proto je nutné zbytky tavidel řádně odstranit.



Salmiak pro očištění hrotu pájedla





Tavidla pro tvrdé pájení

- V důsledku vyšších pájecích teplot se pájené povrchy i pájky rychleji pokrývají oxidy, které je nutno odstraňovat.
- Na druhé straně však vyšší teplota pájení urychluje reakce mezi tavidlem a oxidy, v některých případech je možno pájet bez použití tavidel, protože vysoká teplota umožňuje redukci oxidů vodíkem nebo oxidem uhelnatým (pájení v pecích s atmosférou).



Tavidla pro tvrdé pájení

- Základní složkou většiny tavidel pro tvrdé pájení pájkami na bázi Cu a Ag je borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) a kyselina boritá, dále se používají přísady snižující účinnou teplotu (křemičitany, fosforečnany, uhličitany, chloridy a fluoridy).
- Pro tvrdé pájení slitin hliníku se používají tavidla v podstatě totožná s tavidly pro svařování hliníku, tj. směsi chloridů a fluoridů alkalických kovů.
- Tavidla jsou ve formě prášků nebo past. Používají se také tavidla, která se za zvýšené teploty odpaří.
- Při pájení v hromadné výrobě se tavidel používá pokud možno v co nejmenší míře a nahrazují se redukční atmosférou.



Metody pájení



Rozdělení podle tepelného zdroje použitého k roztavení pájky

- Pájení páječkou
- Pájení plamenem
- Pájení horkým plynem
- Odporové pájení
- Indukční pájení
- Laserové pájení
- Pájení svazkem elektronů
- Ponorem do roztavené pájky nebo tavidla
- Pájení v peci
- Pájení vlnou
- Další.



Rozdělení pájení podle prostředí

- Pájení na vzduchu, obvykle s použitím tavidla
- Pájení v redukčním plynu, který velkou afinitou ke kyslíku snižuje množství oxidů na pájeném povrchu.
 - Tavidlo se nepoužívá.
- Pájení v interním plynu.
 - Je obvykle bez tavidla. Interní plyn omezuje vznik oxidů při pájení.
- Pájení ve vakuu, bez tavidla.



Pájení

- Před pájením je zpravidla nutné vhodným způsobem základní materiál připravit.
- Příprava spočívá v: odmaštění, mechanickém opracování broušením nebo tryskáním, popř. chemická příprava mořením.
- Po moření musí následovat neutralizace a oplach vlažnou vodou, ustavení do správné polohy s ohledem na optimální pájecí mezeru a požadovanou tvarovou přesnost pájené součásti.
- Po pájení se upravují pájené spoje a odstraňují se zbytky tavidla s následným oplachem teplou vodou.
 - Po vysokoteplotním pájení je možno zařadit ještě tepelné zpracování.



Vady pájených spojů a pájitelnost materiálů

- Na pájených spojih se mohou vyskytovat následující vady:
 - studený spoj, pájkou nesmáčená místa,
 - přehřátý spoj (degenerace pájky – zhrubnutí zrna, vypálení prvků, vysoká zbytková napětí),
 - plynové dutiny (vzduch, vodík, CO_2),
 - kapky pájky (přebytečná pájka, velká mezera v pájeném spoji),
 - zbytky tavidla,
 - nedostatečný přechod pájky,
 - trhliny – rychlé ochlazení spoje.
- Ne všechny kovy jsou schopny vytvořit pájený spoj požadovaných vlastností.



Materiály na pájení

- Oceli
- Litiny
- Ostatní kovy



Oceli

- Pájet se dají všechny druhy ocelí při správně zvolené technologii a metodě.
- Nelegované konstrukční oceli: pájitelnost závisí na obsahu uhlíku.
- Při vyšším obsahu C mohou vzniknout v pájeném spoji póry.
- Používají se pájky na bázi Cu a Ag.
- Legované konstrukční oceli: pájitelnost opět závisí na obsahu přísad.
- Nepříznivě působí Co, Ni, W.
- Při vyšším obsahu Cr, Al, Ti, Si a Mn, které vytvářejí povrchové oxidy, je nutné dodržet zvláštní podmínky technologie pájení.
- Za použití Ni pájek lze pájet vysokolegované chromniklové oceli.



Litiny

- ▶ Tvrkým pájením lze pájet všechny druhy litin.
- ▶ Smáčivost litin zhoršuje grafit a je proto třeba jej s povrchu odstranit kartáčováním nebo pískováním.
- ▶ Příznivě působí Mn, Cr a Ni. Pájené spoje provedené mosaznou pájkou dosahují pevnosti základního materiálu slitiny Cu.
- ▶ Natvrdo lze pájet Cu s obsahem O_2 do 0,1 %.
- ▶ Při vyšším obsahu kyslíku vzniká ve vodíkové atmosféře tzv. vodíková nemoc (póry na hranicích zrn), a proto není možné tyto materiály pájet v redukční atmosféře.
- ▶ Při pájení plamenem je nutno použít neutrální plamen.
- ▶ Mosazi lze pájet Ag pájkami.
- ▶ Bronzy mají sklon k likvacii a proto je třeba je pájet Ag pájkami s pracovní teplotou pod 800 °C.



Ostatní kovy

- Z ostatních kovů lze pájet Al, Ti, Ni, Be, Au, Ag, Mo Zr, W a jejich slitiny.
- Lze pájet i keramické materiály i sklo.



Elektrické pájedlo





Plynové pájedlo





Otázky k zamyšlení

1. Jaký je princip pájení?
2. Podle čeho se rozděluje pájení na měkko a na tvrdo?
3. K čemu slouží při pájení tavidlo?
4. Jaké vlastnosti mají pájky?
5. Jaké jsou výhody pájení?
6. Jaké jsou pracovní teploty při pájení?
7. Jaké vady spojů se mohou vyskytovat při pájení?
8. Které materiály se mohou pájet?
9. V čem spočívá příprava materiálů před pájením?



Doporučená literatura a informační zdroje

- AMBROŽ, O. A KOL. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů*. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011, 242 s.