

# Pájení

## 1.1.1 Princip, účel, rozdělení a použití

Pájení je metalurgický proces, kterým vzniká nerozebíratelné spojení kovů stejného nebo rozdílného chemického složení pomocí roztavené slitiny – **pájky**. Pájené plochy nejsou natavené, ale smáčené roztavenou pájkou. Pájka proniká do základního materiálu **difúzí** a tak dochází k promísení částic pájky a základního materiálu, čímž se vytvoří **pájený spoj**. Teplota tání pájky je vždy nižší než teplota základního kovu. Pevnost pájeného spoje je dána pevností mezivrstvy **pájený kov – pájka – pájený kov**. Čím tenčí je mezivrstva, tím větší je pevnost pájeného spoje.

Pájka musí mít tyto základní vlastnosti:

- dobrou zatékavost a vzlínavost
- vyhovující mechanické vlastnosti
- malý rozdíl elektrického potenciálu vůči základnímu materiálu
- nízkou cenu.

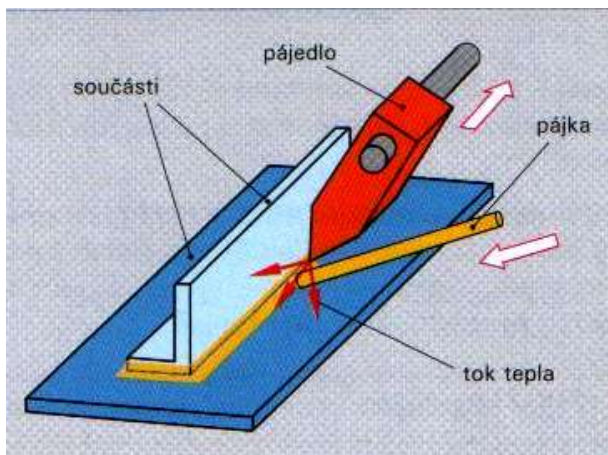
Podle teploty tání pájky je dělíme na:

1. **Měkké pájky** s teplotou tavení do 500 [°C] jsou hlavně **cínové** – buď **čistý Sn** (má teplotu tání 232 [°C]), nebo častěji slitiny **Pb – Sn**. Méně časté jsou slitiny obsahující **Bi, Zn** a **Ag**. Nakonec jsou to **pájky zvláštní** – např. slitina **Sn70 – Zn**, která je určena k měkkému pájení hliníku. Všechny měkké pájky se dodávají ve tvaru litých tyček, zrn a trubiček s náplní tavidla. Obecně se měkké pájky používají na spoje malé pevnosti v tahu (20 až 80) [MPa] a ve střihu do 40 [MPa]. Hlavní oblast jejich použití je elektrotechnika a výroba spotřebního zboží.
2. **Tvrdé pájky** jsou na bázi **slutin mědi, hliníku** a **stříbra**. Patří sem např. **pájky mosazné** a slitiny typu **Al – Si**. Dodávají se ve formě housek, drátů apod. Používají se na spoje větší pevnosti – až 500 [MPa]. **Stříbrné pájky** vytvářejí houževnatější spoje než pájky mosazné. Před pájením je nutno pájené plochy dokonale očistit mechanicky i chemicky, aby se zabránilo oxidaci a také aby se zvětšila smáčivost a vzlínavost používaného tavidla.

**Tavidla** jsou kapalné nebo tuhé chemické látky, které odstraňují z pájených ploch nečistoty a oxidy a zabraňují jejich dodatečné oxidaci. Aby působila co nejúčinněji, musí se tavit při teplotě o (200 až 300) [°C] nižší než je teplota pájení. Pro **měkké pájení** se používá **vodní roztok chloridu zinečnatého nebo amoniaková sůl**. Zbytky tavidel se musí opláchnout vodou, aby se zabránilo jejich korozivním účinkům. Pro **tvrdé pájení** oceli a mědi se používá **zrnná směs boraxu a kyseliny borité**. Pro **pájení mosazi** borax nebo jeho směs s chloridem a uhličitanem sodným. Zbytky tavidel se odstraní vodou nebo mořením v roztoku kyseliny chlorovodíkové a neutralizační čpavkovou vodou.

Podle teploty pájení rozděluje ČSN pájení na:

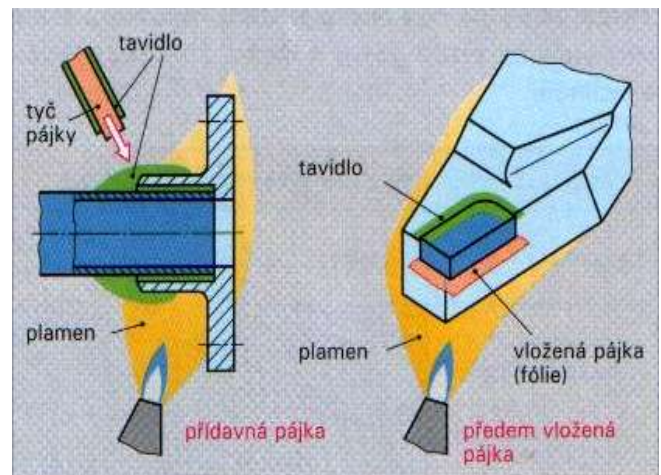
1. **Měkké pájení**, tj. s použitím tavidla, kdy pájka má teplotu likvidu pod 450 [°C].
2. **Tvrdé pájení**, tj. s použitím tavidla, kdy pájka má teplotu likvidu nad 450 [°C].
3. **Vysokoteplotní pájení**, tj. tvrdé pájení bez tavidla v ochranné atmosféře nebo ve vakuu pájkou, jejíž teplota likvidu je nad 950 [°C].



Obr. 136 Princip pájení pomocí pájedla

**Tvrdé pájení** se používá tam, kde je spoj namáhán na tah. Pájí se hliník a jeho slitiny, ocel s jinými kovy apod. K ohřevu se nejčastěji používá kyslíkoacetylenový plamen – seřízený na teplotu pájení. Na předem očistěné pájené plochy se nanese tavidlo, do něhož se občas namáčí i konec pájky.

**Měkké pájení** se používá ke spojování měkkých i tvrdých ocelí, pozinkovaných i pocínovaných ocelových plechů, hliníku, slitin mědi apod. Při pájení plechů do tloušťky asi 2 [mm] se používá **pájedla**. Jeho hrotem ohřátým na teplotu pájení se nabírá z tyčinky pájka a roztírá se na pájených plochách, na které se předtím nanese tavidlo a tenká vrstvička pájky. Měděná hlava pájedla se ohřívá buď elektricky nebo plamenem.



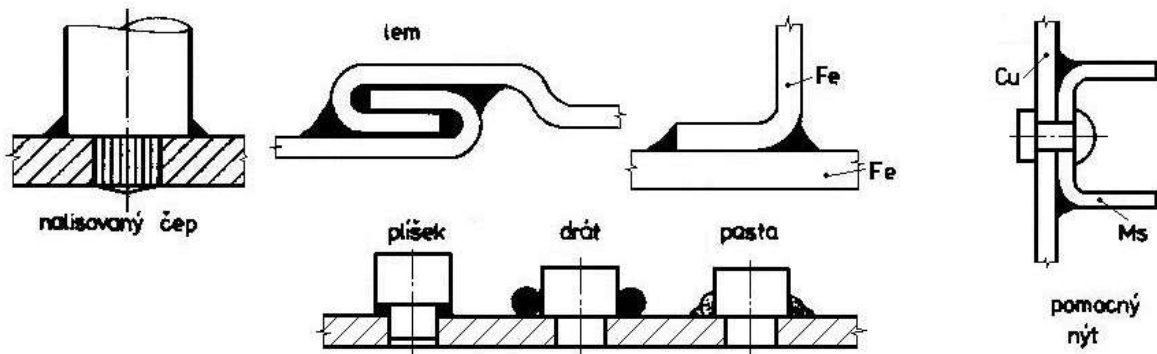
Obr. 137 Pájení plamenem

**Reakční pájení** se používá k pájení lehkých kovů. pájka ve formě solí se při ohřátí na spájeném kovu rozkládá a dodává mu pájecí kovy – většinou zinek a cín. Plyny, které se potom uvolňují rozrušují oxidický povlak v pájeném místě.

**Kapilární pájení** je zvláštní způsob tvrdého pájení, při němž se využívá kapilární vztlakovosti pájky. Aplikuje se často ve strojírenské výrobě a tento způsob je výjimečný tím, že se při něm používá **čistě měděná pájka**, která je řidce tekutá a dobře proniká i do velmi úzkých mezer. Používá se k pájení ocelových součástí. Teplota pájení je teplota tání mědi 1083 [°C]. K ohřevu se používá solných lázní nebo průběžných elektrických pecí s ochrannou – vodíkovou nebo čpavkovou atmosférou, aby se zabránilo oxidaci povrchu pájených dílů. Před pájením se součásti pevně spojí – většinou nalisováním, přiloží se pájka, celek se vloží do pece a probíhá pájení. Způsob se používá zejména v automobilovém průmyslu.

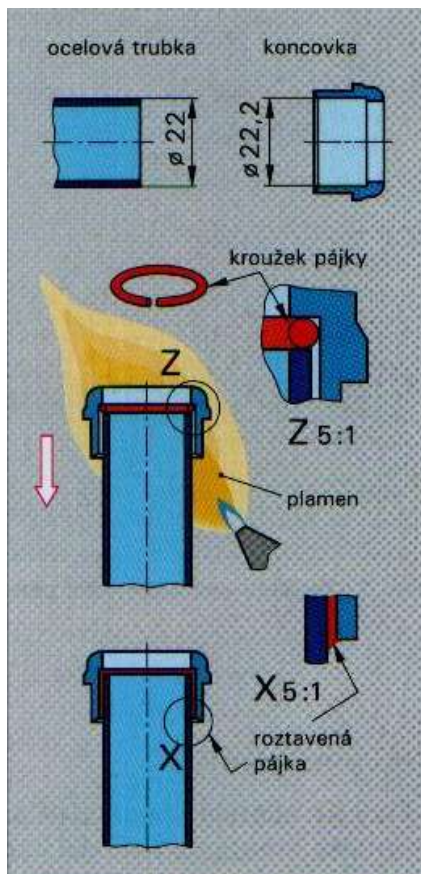
### 1.1.2 Technologie pájení

Podmínkou dobré jakosti spoje je dokonalá čistota pájených plocha, na kterých nesní zůstat žádná mastnota ani oxidy. Po mechanickém očištění se povrch odmastí a podle potřeby ještě očistí chemicky. Aby se zabránilo dodatečné tvorbě oxidů během ohřevu na pájecí teplotu, pokrývá se povrch tavidlem, které tyto oxidy nebo jejich zbytky redukuje nebo rozpouští. Při pájení v peci může tavidlo nahradit redukční atmosféra.



Obr. 138 Konstrukce pájených spojů

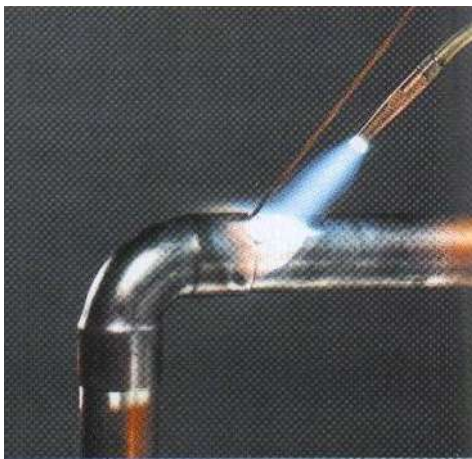
Očištěné díly se před pájením slícují a jejich poloha se musí zajistit tak, aby se při další manipulaci a ohřevu nemohla změnit. Tomu musí odpovídat správná **konstrukce pájeného spoje**



Obr. 139 Příklad pájeného spoje

– jak ilustruje obr. 138. Nejpoužívanější je **nalisování, lemování, pomocný nýt, případně pomocný svar** apod. V sériové výrobě to může být také vhodný **přípravek**. Pájka se musí nanášet jen v nezbytně nutném množství, aby se zbytečně nesnižovala pevnost pájeného spoje a nezvyšovala spotřeba pájky, neboť její cena bývá vysoká. *Mezi pájené plochy se vkládá buď tenký plíšek nebo přikládá tvarovaný drát, případně se nanáší pasta.* Tím je dílec připraven k pájení a následuje **ohřev na pájecí teplotu**. Při pájení strojních součástí se v sériové výrobě používá obvykle *ohřev v peci* – nejčastěji jde o pec průběžnou s redukční atmosférou, méně častý je ohřev indukční. V dílenské praxi – v kusové výrobě a při opravách se používá *ohřev plamenem - při tvrdém pájení*, nebo již zmíněným *pájedlem - při měkkém pájení*. Ohřev může probíhat i jinými způsoby – například ponořením do roztavené pájky nebo tavidla, infrazářičem apod. Vlastní ohřev má být rychlý a rovnoměrný, neboť delší prodleva na vyšší teplotě obvykle zhoršuje kvalitu spoje.

Pokud se použila velmi účinná, ale agresivní tavidla, je nezbytné jejich zbytky pečlivě odstranit, i když je to pracné a nákladné, neboť působí korozivně.



### 1.1.3 Výhody a nevýhody pájení, srovnání se

Pro vytvoření pájeného spoje nepotřebujeme ve většině případů dosáhnout tak vysokých teplot jako při svařování, a proto i teplo vnesené do pájených součástí není tak velké, čímž vznikají při pájení menší tepelná pnutí a

s ním spojené deformace. Také riziko změny struktury základního materiálu je při pájení minimální. Pájením lze spojovat obecně materiály různého chemického složení – např. různé kovy, případně lze pájení použít i pro spojování dílů, z nichž jeden je z nějakého kovu – např. z oceli a druhý díl je vyrobený např. cestou práškové metalurgie. Svařování takových dílů buď není vůbec možné a nebo je velmi problematické – např. pouze zvláštními metodami svařování. Zařízení a pomůcky na pájení nejsou tak finančně nákladné, stejně tak i nároky na kvalifikaci pracovníků jsou nižší.

Nevýhodou je skutečnost, že pájený spoj má obecně nižší hodnoty mechanických vlastností než pájené materiály a rovněž ve srovnání se svarovými spoji má menší pevnost – hlavně v tahu. Pevnost pájeného spoje lze zvýšit jeho vhodnou konstrukcí a dodržením technologie pájení, což však může být nákladné. Také cena přídavného materiálu – tj. pájky je obecně vyšší než cena přídavných materiálů pro svařování.

*Obr. 140 Pájení měděné trubky plamenem*

## 1.2 Lepení

Zaujímá v moderní technologii významné místo, neboť umožňuje spojování materiálů a tím výrobu polotovarů, které se dnes již vyrovnají a v mnohém předčí polotovary vyrobené svařováním a pájením.

### 1.2.1 Princip, účel, použití, výhody a nevýhody lepených spojů

**Lepené spoje jsou opět spoje s materiálovým stykem** – podobně jako spoje svařované či pájené, a proto je zařazujeme mezi **spoje nerozebíratelné**. Dva, případně i více dílů, které mohou být obecně i z různých materiálů jsou spojeny přídavným materiálem – **lepidlem**.

Lepené spoje mají řadu předností:

- ✓ Spojované materiály nejsou prakticky tepelně namáhány;
- ✓ Lepit lze obecně různé materiály – kovy, nekovy, dokonce i kombinace kovy s nekovy;
- ✓ Výhodou jsou také velmi malé deformace po slepení;
- ✓ Lepené spoje odolávají dobře povětrnostním vlivům;
- ✓ Např. proti nýtovým spojům nedochází k zeslabení nosného průřezu spojovaných dílů;
- ✓ Nízká hmotnost lepených spojů;

K nevýhodám lepených spojů patří:

- ✗ Např. proti svarovým spojům nižší pevnost, která je závislá výrazně na teplotě – se zvyšující se teplotou klesá;
- ✗ Omezená použitelnost s ohledem na spojované materiály;
- ✗ Relativně vysoká cena kvalitních lepidel.

### 1.2.2 Lepidla

Tvoří spojovací složku. V dnešní době se vyrábí mnoho různých druhů podle chemického složení. Při výběru lepidel pro realizaci lepených spojů je třeba se vždy řídit **návodem k použití** – nejlépe podle firemní literatury.

Všechna lepidla by však měla mít tyto základní vlastnosti:

- **Dobrou adhezi** (přilnutí lepidla) v co možná nejširší škále materiálu s ohledem na jejich chemické složení, vlastnosti povrchu (savý, nesavý apod.) a kvalitu povrchu ;
- **Dobrou kohezi** (soudržnost lepidla po vytvrzení);
- **Dobrou zpracovatelnost** – tj. snadná manipulace s jeho složkami, míchání v požadovaném poměru, snadné nanášení a optimální doba vytvrzování.

Těmito vlastnostem nejlépe vyhovují epoxidové pryskyřice vinylické polymery, polyuretanová lepidla a jiná.

### 1.2.3 Tmely

Používají se pro zabránění vnikání prachu, nečistot, vlhkosti a nebo naopak proti unikání tekutin či plynů a také na ochranu proti mechanickému poškození, snížení hluku, popřípadě i jako spojovací prostředek. Mohou být:

- Vytvrditelné** – po nanesení tvrdnou, i když některé si zachovávají určitou plasticitu;
- Netvrditelné** – zůstávají stále plastické, a proto nemohou plnit funkci spojovacího prostředku.

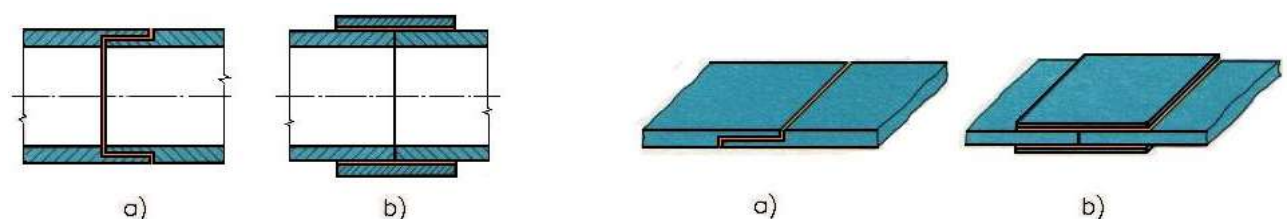
Jsou to látky na bázi epoxidů, akrylů, polyuretanů, silikonů, apod. Jejich vlastnosti lze upravovat vhodnými plnidly – např. skelnými vlákny, práškovými kovy apod.

### 1.2.4 Konstrukce a hlavní technologické zásady lepených spojů

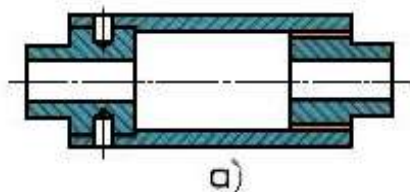
Předpokladem k získání jakostního lepeného polotovaru je dodržení konstrukčních a technologických zásad. Lepený spoj je třeba konstruovat se zřetelem na technologii lepení, vlastnosti lepidla a spojovaných materiálů. **Konstruktér musí navrhnout lepený spoj tak, aby byl namáhán na smyk**; namáhání na tah není vhodné (podobně jako u spojů pájených). Lepený spoj by také neměl být namáhán odlupováním. Tomu musí odpovídat úprava spojovaných dílů. **Díly malé tloušťky** – tenké plechy se s úspěchem spojují *lemováním* – viz obr. 141 a). **Tlusté součásti** se doporučuje řešit např. *drážkovými lepenými spoji* – viz obr. 141 b), *překlátovanými osazenými spoji* – viz obr. 143 a), *nebo šikmým seříznutím obou dílů, případně spoji se stykovými deskami* – viz obr. 143 b) apod. Lepení se také používá pro **renovace dílů** – např. oprava zlomených součástí apod. jak ilustruje obr. 145. Styková plocha obou spojovaných dílů pro aplikaci lepidla by měla být co největší.



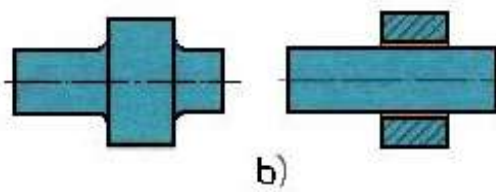
Obr. 141 Konstrukce lepených spojů : a) lemové spoje; b) drážkové spoje



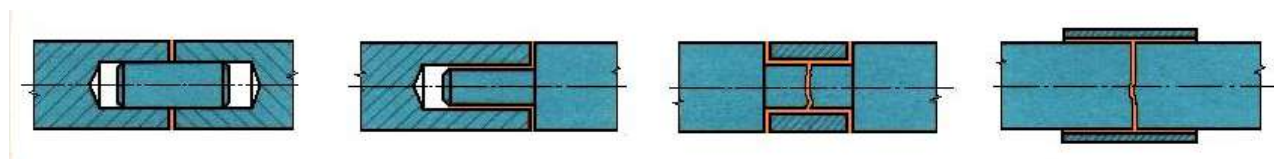
Obr. 142 Lepení trubek:  
 a) spoj trubek s osazenými konci;  
 b) spoj trubek pomocí vnějšího kroužku



Obr. 143 Lepení součástí tvaru desek:  
 a) spojení osazených desek přeplátováním;  
 b) spojení součástí stykovými deskami



Obr. 144 Úprava součástí: a) kolíkování nahrazeno lepením; b) nalepením nákrůžku se ušetří materiál i obrábění



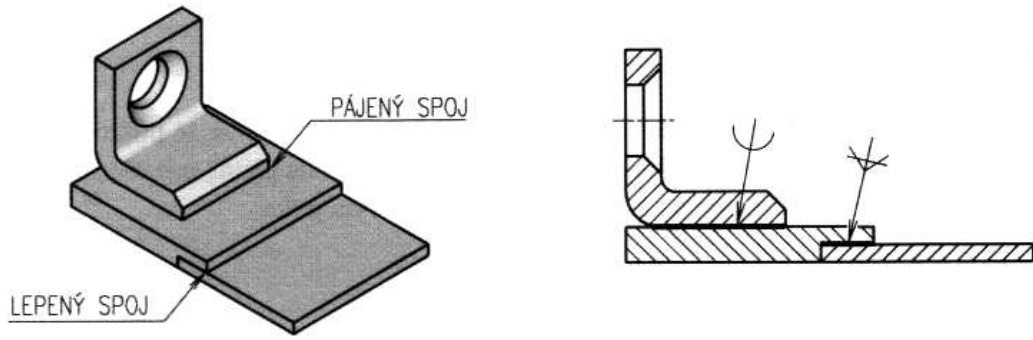
Obr. 145 Renovace zlomených dílů lepením

### Technologický postup pro realizaci lepeného spoje:

1. Povrch součástí upravit s ohledem na konstrukci lepeného spoje;
2. Povrch součástí očistit. Mechanicky – např. tryskáním, broušením apod. a podle potřeby i chemicky – např. odmaštěním nebo kyselým mořením;
3. Připravit lepidlo podle návodu k použití;
4. Vhodným způsobem nanést lepidlo na stykové plochy – doporučená tloušťka (0,05 až 0,15) [mm] – nutno uvedené rozmezí dodržet, neboť menší, případně větší tloušťka filmu má negativní vliv na pevnost lepeného spoje a také velká tloušťka vrstvy lepidla zbytečně prodražuje výrobu;
5. Lepené díly přiložíme k sobě stykovými plochami a zafixujeme ve správné poloze buď pomocí svěrky nebo jiného vhodného přípravku;
6. Necháme vytvrdit lepidlo na dobu s ohledem na okolní teplotu podle návodu k použití;
7. Po vytvrzení lepený spoj mechanicky očistíme od zbytků lepidla;
8. Zkontrolujeme úměrně pevnost lepeného spoje;
9. Provedeme povrchovou úpravu lepeného spoje – nejčastěji nejprve základní barvou a následně vrchní barvou v žádaném odstínu.

### 1.2.5 Značení lepených a pájených spojů na výkresech

Pro úplnost je vhodné na tomto místě ještě připomenout a osvěžit znalosti z technického kreslení a názorně ukázat jak se značí výše uvedené spoje na výkresech – dle ČSN 01 3152 Technické výkresy, což je zřejmé z obr. 146 a nepotřebuje bližšího komentáře.



Obr. 146 Značení lepených a pájených spojů na technických výkresech