



Spolufinancované z  
programu Európskej únie  
Erasmus+



Erasmus+

# MODUL T

## Mäkké a tvrdé spájkovanie

Spájkovanie na mäkko a spájkovanie na tvrdo - charakteristika



## Spájkovanie na mäkko a spájkovanie na tvrdo - charakteristika

- Spájkovaním je možné vytvoriť nerozoberateľný spoj. Je teda popri zvaraní, nitovaní a lepení ďalšou metódou, ktorou je možné tento spoj vyrobiť.
- Na rozdiel od tavného zvarania sa pracuje s menšími pracovnými teplotami. To znamená, že základný materiál zostáva vždy v tuhom stave.
- Ako prídavný materiál sa používa spájka, ktorá má nižšiu teplotu tavenia ako spojované materiály.



# Vznik spájkovaného spoja

3

- Spájkovaný spoj vytvoríme pomocou troch materiálov, a to materiálu základného (spájkovaného), prídavného (spájky) a pomocného (tavivá).
- Zohriata spájka zatečie vplyvom gravitačných alebo kapilárnych síl do spájkovacej medzery, kde zmáča kovovo čisté, na spájkovaciú teplotu ohriate spájkované plochy.
- Medzi atómami spájkovaného materiálu a spájky sú vytvorené podmienky pre vznik adhézných a kohéznych síl.
- Pri pracovných spájkovacích teplotách dôjde k rozpúšťaniu a vzájomnej difúzii spájkovaných materiálov a spájky.
- Po vychladnutí spájky vzniká nerozoberateľný spoj. Jeho typ závisí od vzájomnej rozpustnosti spájkovaného materiálu a spájky v tuhom stave.
- Pevnosť spájkovaného spoja je spravidla vyššia ako pevnosť spájky, je závislá od typu a veľkosti spoja.
- Spájkovanie väčšinou vyžaduje použitie špeciálnych typov spojov konštruovaných väčšinou tak, aby namáhanie spájkovaného spoja bolo pokiaľ možno šmykové.

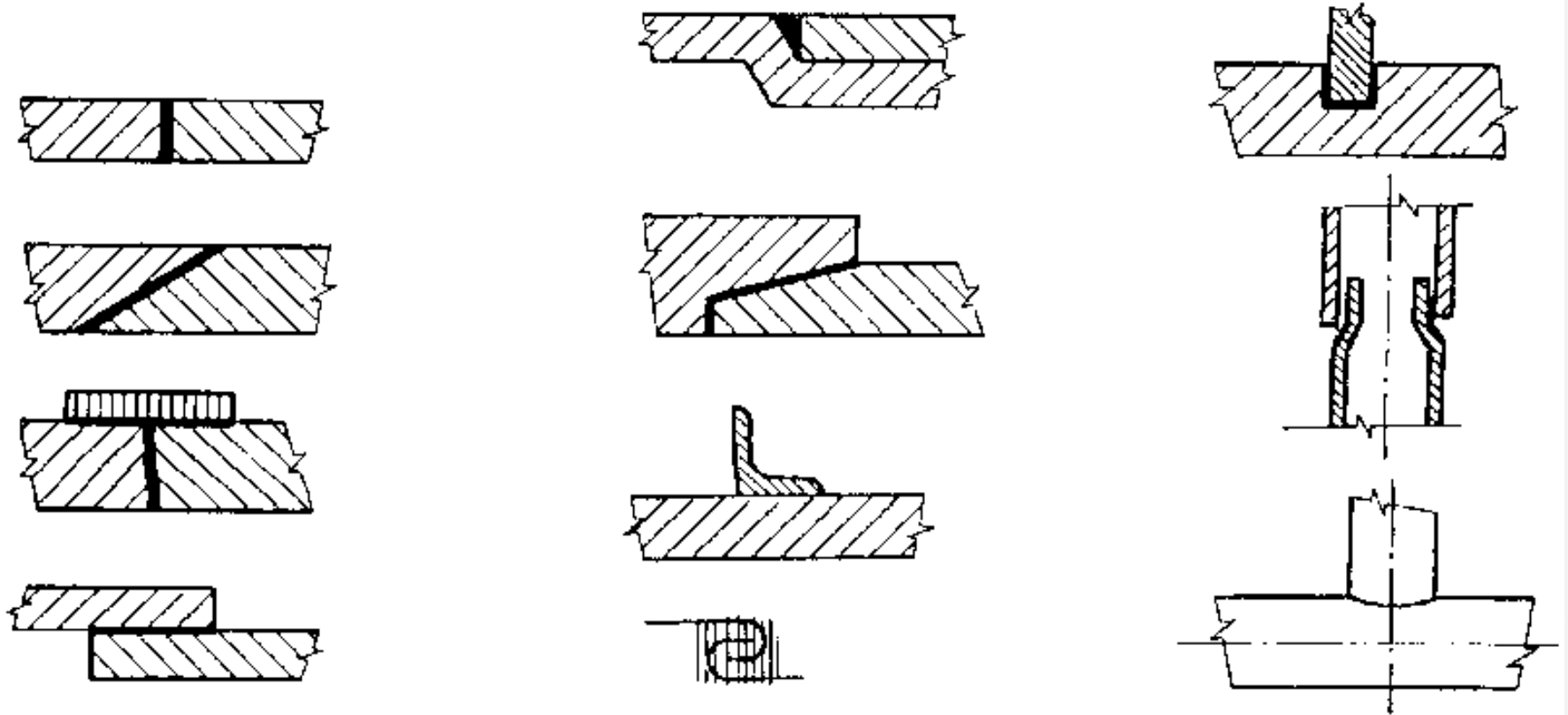


# Spájkovanie na mätko - napojenie žlabového kotlíka na zvodovú trubku





# Typy spájkovaných 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 spájkovania

- Vysoká produktivita výroby
- Vysoká reprodukovateľnosť výrobkov
- Vysoká rozmerová presnosť, možnosť spojiť spájkovanie s tepelným spracovaním
- Nižšie tepelné zaťaženie spájkovaných materiálov, menšie tepelné napätie a štruktúrne zmeny
- Lepšie pracovné prostredie, pekný vzhľad spoja
- Možnosť automatizácie, možnosť spájkovania aj v neprístupných miestach.



## Rozdelenie spájkovania podľa pracovných teplôt

- Podľa teploty tavenia spájky sa rozdeľuje spájkovanie na dve skupiny:
  - spájkovanie mäkké (teplota tavenia spájky je do  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),
  - spájkovanie tvrdé (teplota tavenia nad  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),
  - zvláštnou podskupinou tvrdého spájkovania je vysokoteplotné spájkovanie s teplotou likvidu spájok nad  $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



# Spájkovanie

- Spájkovanie je možné rozdeliť aj podľa ďalších kritérií napr. podľa spôsobu ohrevu, tvaru spájkovaného spoja, stupňa mechanizácie alebo automatizácie, prostredia, spôsobu spojenia atď.
- Podľa spôsobu dopravy spájky do spájkovacej medzery rozdeľujeme spájkovanie na kapilárne a nánosové (gravitačné).
- Pri spájkovaní musia taviace teploty použitých materiálov spĺňať podmienku, že pracovná teplota spájkovania je  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  nad teplotou likvidu spájky.





## Spájky

- Čo najužší teplotný interval tavenia (ideálne je eutektické zloženie), dobrá zmáčavosť, roztekavosť a kapilarita
- Prvky obsiahnuté v spájke nesmú so spájkovaným materiálom vytvárať krehké intermetalické fázy
- Čo najmenší elektrochemický potenciál medzi spájkou a spájkovaným materiálom.



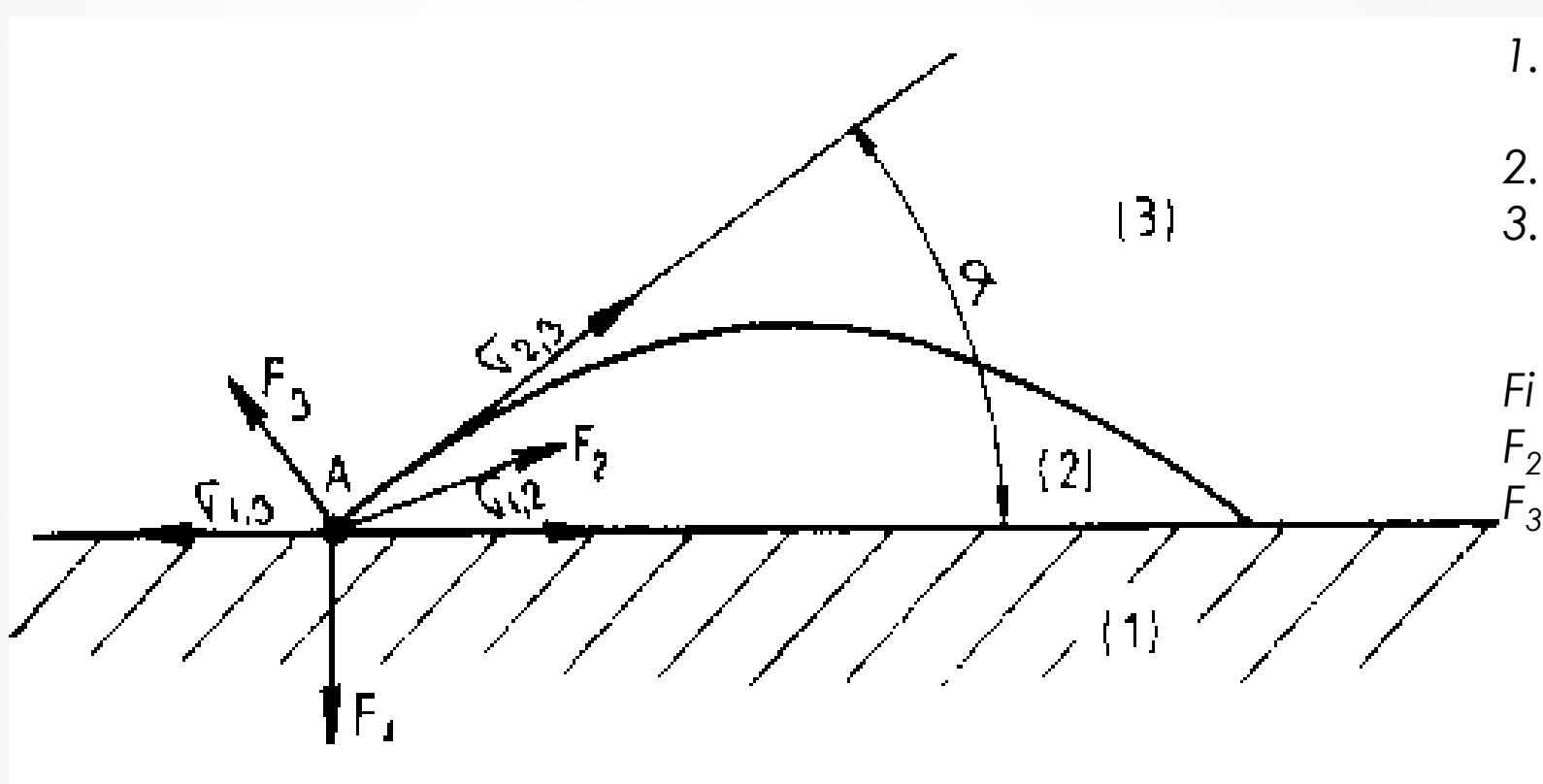
# Vlastnosti spájok

## ➤ Zmäčavosť spájky

- zmáčavosť je definovaná ako schopnosť tekutej spájky prilnúť k čistému povrchu spájaného materiálu pri pracovnej teplote.
- je to jedna z najdôležitejších vlastností, zásadne ovplyvňuje kvalitu spájkovaného spoja.
- zmáčavosť významne ovplyvňuje povrchové napätie roztavenej spájky.
- pri zmáčaní nadobudne kvapka spájky taký tvar, pri ktorom je povrchová energia systému (základný materiál - spájka - tavivo).



# Napätie a sily pôsobiace v systéme základný materiál - spájka - prostredie



1. spájkovaný materiál,
2. spájka,
3. okolitá atmosféra - prostredie

$F_i$  - adhézne sily;  
 $F_2$  - kohézne sily;  
 $F_3$  - príťažlivé sily



## Napätie a sily pôsobiace v systéme základný materiál - spájka - prostredie

- $\alpha = 0^\circ$  až  $15^\circ$  - zmáčavosť dokonalá (vhodná pre kapilárne spájkovanie)
- $\alpha = 15^\circ$  až  $75^\circ$  - zmáčavosť dobrá (vhodná pre nánosové spájkovanie)
- $\alpha = 75^\circ$  až  $90^\circ$  - spájka zmáčanlivá (ešte postačujúce pre nánosové spájkovanie)
- $\alpha > 90^\circ$  - spájka nezmáčanlivá (nevhodná pre akýkoľvek spôsob spájkovania)
- zmáčavosť úzko súvisí s tekutosťou a roztekavosťou spájky.



## Roztekavosť spájky

- Je to schopnosť spájky pokryť čo najväčšiu plochu spájkovaného materiálu.
- Veľkosťou zmáčanej plochy je tiež roztekavosť hodnotená.



## Vzlínanie (vzlínavosť, kapilarita) spájky

- Vzlínanie je definované ako schopnosť tekutej spájky vyplniť pri pracovnej teplote úzku medzeru spoja pôsobením kapilárnych síl.
- Veľkosť kapilárnej sily je daná zákonmi hydromechaniky.
- Kapilárne vzlínanie je závislé od druhu spájky, od jej povrchového napätia, mernej hmotnosti a veľkosti medzery spoja.



# Metalurgické reakcie pri spájkovaní

- Pri spájkovaní je tekutá spájka a tuhý základný materiál určitú dobu (niekoľko sekúnd až minút podľa druhu ohrevu) vo vzájomnom styku.
- Tým je splnený najdôležitejší predpoklad metalurgických reakcií v oblasti spoja.
- Podľa druhu spájky a základného materiálu môže na hranici ich styku nastať niektorá z týchto reakcií:
  - adhézne spojenie,
  - vzájomná difúzia prvkov spájky a základného materiálu,
  - rozpúšťanie základného materiálu spájkou,
  - reakcia zložiek spájky s povrchovým oxidom základného materiálu.



# Metalurgické reakcie pri spájkovaní

- Adhézny spoj nazývame takýto prípad spájania, pri ktorom nedochádza k vzájomnému rozpúšťaniu spájky a základného materiálu (napr. pri kombináciách Pb - Fe, Cu, Zn, Ni, Mo, Al, alebo Ag - Fe, Cr a pod.).
- Adhézne spojenie sa využíva vtedy, keď nesmie dôjsť k zmene chemického zloženia spájaných materiálov, napr. v elektronike.
- Adhézny spoj má dobrú elektrickú vodivosť, má však menšiu pevnosť.





# Metalurgické reakcie pri spájkovaní

- Vo väčšine prípadov sa pri spájkovaní vytvoria prechodové oblasti určitej hrúbky, ktoré majú (v dôsledku difúzie alebo rozpúšťanie) iné chemické, fyzikálne a mechanické vlastnosti než spájané materiály.
- Vo všeobecnom prípade však v spájkovanom spoji nemusia vzniknúť všetky uvedené oblasti.



## Mäkké spájky

- Spájky na mäkké spájkovanie sa vyznačujú predovšetkým nízkou pracovnou teplotou a zároveň i malou pevnosťou (5 MPa).
- Preto sa používajú na spoje, ktoré nie sú pevnostne ani tepelne namáhané.
- Sú to zliatiny ťažkých kovov (Sn, Pb, Cd, Sb, Bi) a tvoria dve skupiny: cínové spájky, špeciálne spájky.



# Cínové spájky

- Sú zliatiny cínu a olova s pracovnou teplotou 190 ° C - 350 ° C.
- Cín je v týchto spájkach aktívnou zložkou a zaisťuje dobrú zmáčavosť.
- Obsah Sn v podstatnej miere ovplyvňuje kvalitu spájkovania.
- Naproti tomu olovo má zlú zmáčavosť a so základným materiálom metalurgicky nereaguje.
- Stačí však malá prísada cínu (min. 3 %) popr. iného povrchovo aktívneho prvku (napr. Sb), aby sa podstatne zlepšili spájkovacie vlastnosti spájky.
- U cínových spájok sa obsah cínu pohybuje v rozmedzí od 4 % do 90%.
- Moderné spájky majú minimálny obsah olova z dôvodu zníženia negatívneho vplyvu na životné prostredie.



# Mäkká cíново-olovená spájka





## Špeciálne mäkké spájky

- Spĺňajú osobitné požiadavky (napr. spoľahlivosť a tesnosť pri kryogénnych teplotách, odolnosť proti korózii v určitom prostredí a pod.).
- Ide o podvojnú alebo viaczložkovú zliatinu skladajúcu sa okrem Sn a Pb tiež z Cd a Zn a ich zloženie sa blíži eutektickému.
- Legovaním s ďalšími prvkami (Ag, Cu, Sb, Bi, In) sa vytvoria spájky vyhovujúce špecifickým požiadavkám.



## Delenie špeciálnych spájok

- Spájky pre potravinársky a chladiarenský priemysel
- Spájky pre elektrotechniku a elektroniku
- Spájky na spájkovanie skla
- Spájky pre nízke spájkovacie teploty a pre tepelné poistky
- Spájky modelovacie na vyplňovanie nerovností (napr. karosárske).



# Značenie mäkkých spájok

B – Sn 50 Pb – 215/185 X, kde



pájka



číselné vyjádření obsahu hlavního prvku (uvedení max. čtyř prvků)



teploty likvidu/ solidu pájky



doplňkové označení tvaru pájky



## Tvrde spájky

- Tvrde spájky majú taviacu teplotu vyššiu ako  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Patria sem predovšetkým spájky hliníkové, medené, mosadzné a strieborné.
- Hliníkové spájky sú väčšinou eutektické zliatiny Al a Si (Silumínu) a slúžia na spájkovanie hliníka a jeho zliatín.
- Medené spájky sú buď čistá meď, alebo meď s prísadou 8% P alebo 1% Ag sa používajú na spájkovanie ocele a poskytujú vákuovo tesné spoje.
- Mosadzné spájky sa bežne používajú na spájkovanie medi, ocele alebo šedej a temperovanej liatiny.
- Vzhľadom k vyššiemu obsahu Zn je ťažké u nich dosiahnuť vákuovo tesné spoje.
- Strieborné spájky sa používajú na spájkovanie medi a nehrdzavejúcich ocelí.





## Tvrde spájky

- Z ostatných typov tvrdých spájok treba vymenovať predovšetkým spájky na báze Ni (spájkovanie žiaruvzdornej a nehrdzavejúcej ocele), spájky na báze paládia (jadrová energetika, elektronika, plynové turbíny) a spájky na báze drahých kovov, ktoré sa používajú v dentálnej technike a pri výrobe šperkov.
- Spájky sa dodávajú podľa špecifikácií spotrebiteľa v tvare ťahaných drôtov, pásov, fólií alebo ako granulované.
- Môžu to byť tiež tyčinky obalené tavivom, alebo tavidlom plnené trubičky.
- Označovanie tvrdých spájok je obdobné ako označovanie spájok mäkkých, napr .:
- B - Cu 60 Zn - 900/880 (mosadzná spájka s obsahom 80% Cu, zvyšok Zn)



## Tavivá

- Úlohou taviva je pripraviť spájkovanú plochu - odstrániť s povrchu oxidy a ostatné nečistoty a prípadne pri styku s pájkou zmenšiť jej povrchové napätie a tým zlepšiť zmáčavosť a roztekavosť.



## Požiadavky na taviva

- dobré zmáčanie základného materiálu a spájky
- reakčná teplota taviva musí byť o  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  nižšia, než je teplota tavenia spájky
- minimálna viskozita v oblasti pracovných teplôt spájky
- stále povrchové napätie
- nižšia hustota než je hustota spájky
- chemická stálosť pri izbovej i pracovnej teplote
- po spájkovaní ľahká odstrániteľnosť
- zdravotná nezávadnosť.



# Spájkovací krém





## Tavivá pre mäkké spájkovanie

- Organické tavivá - využívajú sa najmä v elektronike napr. kolofónia, do pást sa používajú aj tuky
- Anorganické tavivá - jedná sa prevažne o roztoky chloridu amónneho a roztoky chloridu zinočnatého.
  - nevýhoda - korozívne účinky, preto je nutné zvyšky tavidiel riadne odstrániť.



# Salmiak pre očistenie hrotu spájkovačky





## Tavivá pre tvrdé spájkovanie

- V dôsledku vyšších spájkovacích teplôt sa spájkované povrchy aj spájky rýchlejšie pokrývajú oxidmi, ktoré je nutné odstraňovať.
- Na druhej strane však vyššia teplota spájkovania urýchľuje reakcie medzi tavidlom a oxidmi, v niektorých prípadoch je možné spájkovať bez použitia tavív, pretože vysoká teplota umožňuje redukciu oxidov vodíkom alebo oxidom uhoľnatým (spájkovanie v peciach s atmosférou).



# Tavivá pre tvrdé spájkovanie

- Základnou zložkou väčšiny tavidiel pre tvrdé spájkovanie spájkami na báze Cu a Ag je borax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) a kyselina boritá, ďalej sa používajú prísady znižujúce účinnú teplotu (kremičitany, fosfáty, uhličitan, chloridy a fluoridy).
- Pre tvrdé spájkovanie zliatin hliníka sa používajú tavivá v podstate totožné s tavidlami pre zváranie hliníka, t.j. zmesi chloridov a fluoridov alkalických kovov.
- Tavivá sú vo forme prášku, alebo pást. Používajú sa tiež tavidlá, ktoré sa za zvýšenej teploty odparia.
- Pri spájkovaní v hromadnej výrobe sa tavív používa pokiaľ možno v čo najmenej miere a nahrádzajú sa redukčnou atmosférou.





# Metódy spájkovania



# Rozdelenie podľa tepelného zdroja použitého k roztaveniu spájky

- Spájkovanie spájkovačkou
- Spájkovanie plameňom
- Spájkovanie horúcim plynom
- Odporové spájkovanie
- Indukčné spájkovanie
- Laserové spájkovanie
- Spájkovanie zväzkom elektrónov
- Ponorom do roztavenej spájky alebo taviva
- Spájkovanie v peci
- Spájkovanie vlnou
- Ďalšie



## Rozdelenie spájkovanie podľa prostredia

- Spájkovanie na vzduchu, obyčajne s použitím taviva
- Spájkovanie v redukčnom plyne, ktorý veľkou afinitou ku kyslíku zníži množstvo oxidov na spájkovanie povrchu.
  - Tavivo sa nepoužíva.
- Spájkovanie v internom plyne.
  - Je obyčajne bez taviva. Interný plyn obmedzuje vznik oxidov pri spájkovaní.
- Spájkovanie vo vákuu, bez taviva.



# Spájkovanie

- Pred spájkovaním je spravidla nutné vhodným spôsobom základný materiál pripraviť.
- Príprava spočíva v: odmastení, mechanickom opracovaní brúsením alebo tryskaním, popr. chemickej príprave morením.
- Po morení musí nasledovať neutralizácia a oplach vlažnou vodou, ustavenie do správnej polohy s ohľadom na optimálnu spájkovaciu medzeru a požadovanú tvarovú presnosť spájkovanej súčasti.
- Po spájkovaní sa upravujú spájkované spoje a odstraňujú sa zvyšky taviva s následným oplachom teplou vodou.
  - po vysokoteplotnom spájkovaní je možné zaradiť ešte tepelné spracovanie.



# Chyby spájkovaných spojov a spájkovateľnosť materiálov

- ▶ Na spájkovaných spojoch sa môžu vyskytovať nasledovné chyby:
  - ▶ studený spoj, spájkou nenamočené miesta
  - ▶ prehriaty spoj (degenerácia spájky - zhrubnutie zrna, vypálenie prvkov, vysoké zvyškové napätie)
  - ▶ plynové dutiny (vzduch, vodík, CO<sub>2</sub>)
  - ▶ kvapky spájky (prebytočná spájka, veľká medzera v spájkovanom spoji)
  - ▶ zvyšky taviva
  - ▶ nedostatočný prechod spájky
  - ▶ trhliny - rýchle ochladenie spoja.
- ▶ Nie všetky kovy sú schopné vytvoriť spájkovaný spoj požadovaných vlastností.



# Materiály na spájkovanie

- Ocele
- Liatiny
- Ostatné kovy



## Ocele

- Spájkovať sa dajú všetky druhy ocelí pri správne zvolenej technológii a metóde.
- Nelegované konštrukčné ocele: spájkovateľnosť závisí od obsahu uhlíka.
- Pri vyššom obsahu C môžu vzniknúť v spájkovanom spoji póry.
- Používajú sa spájky na báze Cu a Ag.
- Legované konštrukčné ocele: spájkovateľnosť opäť závisí od obsahu prísad.
- Nepriaznivo pôsobí Co, Ni, W.
- Pri vyššom obsahu Cr, Al, Ti, Si a Mn, ktoré vytvárajú povrchové oxidy, je nutné dodržať osobitné podmienky technológie spájkovania.
- Za použitia Ni spájok možno spájkovať vysokolegované chrómniklové ocele.



## Liatiny

- ▶ Tvrdým spájkovaním možno spájkovať všetky druhy liatin.
- ▶ Zmäčavosť liatín zhoršuje grafit a je preto potrebné ho z povrchu odstrániť kefovaním alebo pieskovaním.
- ▶ Priaznivo pôsobí Mn, Cr a Ni. Spájkované spoje vykonané mosadznou spájkou dosahujú pevnosti základného materiálu zliatiny Cu.
- ▶ Natvrdo možno spájkovať Cu s obsahom  $O_2$  do 0,1%.
- ▶ Pri vyššom obsahu kyslíka vzniká vo vodíkovej atmosfére tzv. vodíková choroba (póry na hraniciach zŕn), a preto nie je možné tieto materiály spájkovať v redukčnej atmosfére.
- ▶ Pri spájkovaní plameňom je nutné použiť neutrálny plameň.
- ▶ Mosadze možno spájkovať Ag spájkami.
- ▶ Bronzy majú sklon k likvácii a preto ich treba spájkovať Ag spájkami s pracovnou teplotou pod  $800^\circ C$ .





## Ostatné kovy

- Z ostatných kovov možno spájkovať Al, Ti, Ni, Be, Au, Ag, Mo, Zr, W a ich zliatinami.
- Možno spájkovať i keramické materiály i sklo.



# Elektrická spájkovačka





# Plynová spájkovačka





## Otázky na zamyslenie

1. Aký je princíp spájkovania?
2. Podľa čoho sa rozdeľuje spájkovanie na mätko a na tvrdo?
3. Na čo slúži pri spájkovaní tavivo?
4. Aké vlastnosti majú spájky?
5. Aké sú výhody spájkovania?
6. Aké sú pracovné teploty pri spájkovaní?
7. Aké chyby spojov sa môžu vyskytovať pri spájkovaní?
8. Ktoré materiály sa môžu spájať?
9. V čom spočíva príprava materiálov pred spájkovaním?



## Doporučená literatúra a informačné zdroje

- AMBRÓZ, O. A KOL. *Technológie zvarania a zariadení: učebné texty pre kurzy zvaračských inžinierov a technológov*. Ostrava: ZEROSS, 2001, 395 s. Zváranie. ISBN 80-85771-81-0.
- KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technológie zvarania a zariadení. Učebné texty pre kurzy zvaracích inžinierov a technológov*. Plzeň: ŠKODA WELDING, sro, 2011, 242 s.