

## OBSAH

2.2.	Zváranie . . . . .	str. 1
2.2.1	Základné pojmy. . . . .	str. 1
2.2.2	Základné rozdelenie spôsobov zvárania . . . . .	str. 3
2.2.3	Druhy zvarovacích spojov a zvarov. . . . .	str. 4
2.2.4	Technológia vyhotovenia zvarov . . . . .	str. 5
2.2.5	Chyby zvarovacích spojov . . . . .	str. 6
2.2.6	Polohy zvárania . . . . .	str. 8
2.2.7	Vplyv zvárania na vlastnosti zvaru . . . . .	str. 9
	Tepelne ovplyvnená oblasť TOO . . . . .	str. 12
	Deformácie zvarov . . . . .	str. 13
2.2.8	<b>Zváranie plameňom</b> . . . . .	str. 14
	Schéma, horáky, redukčný ventil . . . . .	str. 15
	Rozloženie teplôt vo zváracom plameni . . . . .	str. 17
	Spôsoby, parametre, výhody, nevýhody, použitie . . . . .	str. 18
2.2.9	<b>Zváranie elektrickým oblúkom</b> . . . . .	str. 19
2.2.9.1	Princíp technológie zvárania obalenou elektródou . . . . .	str. 19
	Parametre, výhody, nevýhody, použitie . . . . .	str. 20
2.2.9.2	<b>Zváranie pod tavivom</b> . . . . .	str. 21
	Parametre, výhody, nevýhody, použitie . . . . .	str. 21
2.2.9.3	<b>Zváranie v ochranných atmosférach plynov</b> . . . . .	str. 22
	Zváranie <b>taviacou sa elektródou</b> v ochrannej atmosfére GMAW, schéma. . . . .	str. 22
	Parametre, výhody, nevýhody, použitie . . . . .	str. 23
	Zváranie <b>netaviacou sa elektródou</b> v ochrannej atmosfére plynov TIG, WIG. . . . .	str. 24
	Parametre, výhody, nevýhody, použitie . . . . .	str. 25
2.2.10	<b>Elektrotroskové zváranie</b> . . . . .	str. 26
	Schéma s odtavujúcou a neodtavujúcou sa hubicou . . . . .	str. 26
	Parametre, výhody, nevýhody, použitie . . . . .	str. 27
2.2.11	<b>Odporové zváranie</b> . . . . .	str. 28
	<i>Bodové zváranie</i> - parametre, výhody, nevýhody, použitie . . . . .	str. 29, 30
	<i>Švové zváranie</i> – parametre, výhody, nevýhody, použitie . . . . .	str. 31,32
	<i>Výstupkové zváranie</i> – parametre, výhody, nevýhody, použitie . . . . .	str. 33
	Stykové stláčacie zváranie – parametre, výhody, nevýhody, použitie. . . . .	str. 34
	Stykové odtavovacie zváranie – parametre, výhody, nevýhody, použitie . . . . .	str. 35
2.2.12	<b>Spájkovanie</b> . . . . .	str. 36
	Zmáčavosť, roztekavosť, kapilarita . . . . .	str. 37
	Požiadavky, parametre, výhody, nevýhody . . . . .	str. 37
	Rezanie – parametre, výhody, nevýhody, použitie . . . . .	str. 38

## 2.2 ZVÁRANIE

Technologické, kvalitatívne a najmä ekonomické aspekty v súčasnosti často krát nedovoľujú vyhotoviť výrobok z jedného celku technológiami odlievania, tvárnenia, alebo obrábania. Tým sa otvára priestor pre technológiu zvárania, ktorá z menších častí vytvorí ich nerozoberateľným spojením väčší častí -zvarok. Bez zvárania si dnes nevieme predstaviť stavbu mostov, lodí, budov, automobilov a ďalšieho obrovského množstva výrobkov nielen z oblasti strojárstva. Pozícia zvárania podľa poradia rozsahu jeho využívania medzi ostatnými strojárenskými technológiami sa tak pohybuje okolo 3. až 4. miesta.

Medzi zvaracie procesy zaraďujeme i naváranie, tvrdé a mäkké spájkovanie, ktoré sú istými modifikáciami zvárania. Okrem toho sa v oblasti zvárania stretávame i s procesmi príbuznými procesu zvárania: tepelné delenie materiálov, drážkovanie, nanášanie kovov striekaním, ktoré sa často kombinuje s naváraním.

### 2.2.1 ZÁKLADNÉ POJMY

Základné pojmy z oblasti zvárania kovov definuje norma STN 05 0000 a zároveň vymedzuje ich význam. Názvy základných pojmov sú rozdelené do 4 Častí:

- všeobecné pojmy
- spôsoby zvárania
- zvarové spoje a zvary
- technológia zvárania

Zo všeobecných pojmov je potrebné ujasniť si najmä významy a vzájomný vzťah nasledovných pojmov:

**Zváranie** je proces vyhotovovania nerozoberateľných spojov dosiahnutím medzi atomových väzieb medzi spájanými časťami pri ich ohreve alebo plastickej deformácii, alebo pri spoločnom pôsobení jedného i druhého.

**Zváraná konštrukcia** je kovová konštrukcia vyhotovená zváraním jednotlivých častí.

**Zvarok** je časť konštrukcie, v ktorej sa zvárajú navzájom pripojené Časti.

**Zvarový spoj** je nerozoberateľné spojenie vyhotovené zváraním

**Zvar** je Časť zvarového spoja, vytvárajúca sa v dôsledku kryštalizácie roztaveného kovu alebo plastickej deformácie pri tlakovom zváraní, alebo kombináciou kryštalizácie a deformácie. Zvar je teda Časťou zvarového spoja, ktorý je zasa časťou zvarku, z ktorého alebo ktorých pozostáva celá zváraná konštrukcia.

Špeciálnym prípadom je **naváranie**, kedy nanášame vrstvu kovu na povrch súčasti pomocou zvárania. Dôvodom pre nanesenie vrstvy kovu môže byť, napr. obnovenie pôvodných rozmerov opotrebenej súčiastky, alebo vytvorenie vrstvy, ktorá bude mať lepšie vlastnosti ako materiál, na ktorý sa navára. Vrstvu zvarového kovu vytvorenú naváraním na základný materiál potom nazývame **navar**.

**Základný materiál** je materiál, ktorý sa zvara, alebo sa naň navára.

Materiál, ktorý sa používa na vytvorenie zvaru alebo návaru a ktorý sa zúčastňuje popri základnom materiáli zvaracieho pochodu, voláme **prídavný materiál**.

Ďalšie dva pojmy, ktoré sa často zamieňajú, alebo nevhodne používajú, sú zvarový kov a zvarový kov spoja. Zatiaľ čo **zvarový kov** je kov odtavený z prídavného materiálu bez premiešania so základným materiálom, **zvarový kov spoja** je kov odtavený z prídavného materiálu a premiešaný so základným materiálom.

Na príklade V tupého zvarového spoja sú vysvetlené ďalej uvádzané základné pojmy (obr. 2.2.1.1).

Koreň zvaru - časť zvarového spoja v miesle rubu prvej zvarovej vrstvy. Zvarová plocha - časť

povrchu základného materiálu určená pre zvarový spoj. Návarová plocha -časť povrchu základného materiálu určená na naváranie. Zvarový úkos - skosenie základného materiálu pre potrebu zvárania.

Styčná medzera - medzera medzi zváranými Časťami pred zváraním.

**Koreňová medzera** - vzdialenosť medzi zváranými dielcami v mieste budúceho koreňa zvaru.

**Otupenie** - neskosená časť zvarovej plochy v mieste budúceho koreňa zvaru. **Uhol** skosenia - oslry uhol medzi plochou skosenia hrany a plochou Čela.

**Uhol rozovretia** - uhol medzi skosenými hranami zváraných častí.

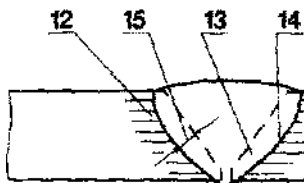
**Zvarová medzera** - najkratšia vzdialenosť medzi zvarovými plochami častí pripravených na zváranie.

**Hĺbka závaru** - najväčšia hĺbka roztavenia základného materiálu v priereze zvaru alebo navarenej húsenice.

**Oblasť roztavenia** - oblasť zvaru, roztavená pri zváraní s výraznou lejacou štruktúrou.

**Hranica stavenia** - oblasť čiastočne natavených zrn na hranici základného materiálu a zvarového kovu.

**Zavar** - časť základného materiálu, ktorá bola počas zvárania roztavená.



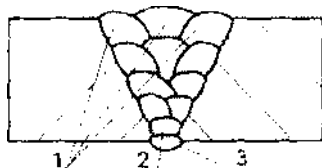
**Ovplyvnená oblasť** - nenatavená oblasť zvarového spoja, v ktorej došlo vplyvom zvaracieho procesu k zistiteľným zmenám štruktúry alebo vlastností základného materiálu.

Technológia tavného zvarovania dodávaný teplotou tavia základný a prídavný materiál. Čas zvarového materiálu, ktorá sa pri tavnom zvarovaní nachádza v tekutom stave, sa nazýva **zvarový kúpeľ**, časť zvaru vytvoreného r jeden chod zvarovaním, je zvarová **húsenica**; ktorej charakteristický reliéf povrchu volán **kresba húsenice**.

Obr. 2.2.1.1 Základné pojmy I- základný materiál, 2- okraj zvaru. 3- zvarový kov spoja, 4- zvarová plocha, 5- koreň zvaru, 6- uhol skosenia, 7- uhol rozovretia, 8- styčná medzera, 9- skosená zvarová plocha, 10- koreňová medzera, 11- výška otupenia, 12- ovplyvnená oblasť, 13- zavar, 14- prechodzvaru, 15- hĺbka závan

Z jednej alebo niekoľkých húsen umiestnených na jednej úrovni priechne! prierezu zvaru sa skladá **vrstva**. V prípade vytvorenia zvaru z jednej zvarovej vrstvy hovoríme o **jednovrstvovom zvare**, ak sa z\ skladá z viacerých vrstiev, jedná sa o **viacvrstvový zvar**.

Viacvrstvový zvar (obr. 2.2. 1.2) sa /. Začína vytvorením prvej vrstvy zvarového kovu spoja v koreni - koreňovej vrstvy. Kladením ďalších vrstiev zvarového kovu spoja sa vytvárajú výplňové vrstvy a na záver nasleduje posledná zvarová vrstva, tvoriaca povrch zvaní, izv. krycia vrstva. Pri bodových /.varoch o zvarovej húsenici nemožno hovoriť. Namiesto toho sa používa termín zvarová šošovka. Jedná sa o prvok bodového zvaru v tvare kruhu alebo elipsy.



Pozor však na zmenu pojmov podložka a **podloženie zvaru**. **Podložka zvaru** je materiál podkladaný pod koreň zvaru, (najčastejšie medený alebo keramický), ktorého úlohou je vhodne formovať tvar koreňa zvaru a zároveň zabrániť vytečeniu zvarového kovu spoja z koreňovej medzery pri vyhotovení koreňovej vrstvy z lícnej časti spoja. V prípade úzkej koreňovej medzery nemusí byť použitie

podložky zvaru nutné. O **podložení zvaru** hovoríme, ak sa zhotovenie zvarovej vrstvy vykoná zo strany koreňa. V tomto prípade sa najskôr vyhotoví koreňová vrstva, výplňové vrstvy a krycia vrstva. Nato sa koreň zvaru zo strany koreňa vybrúsi a vyhotoví sa zvarová vrstva zo strany koreňa **-podloženie zvaru**.

Podobne ako krajčír pred šitím jednotlivé Časti odevu prichytí k sebe stehmi, tak i v prípade zvarovania sa vzájomná poloha jednotlivých dielcov zvaranej súčiastky pred zvarovaním a počas zvarovania zabezpečí krátkymi zvarmi - **stehmi**.

Teplota, potrebná na vytvorenie akostného zvarového spoja, sa nazýva **zvaracia teplota** a samozrejme, jej výška závisí od vlastností zvarovaných materiálov.

Ďalšie základné pojmy obsiahnuté v norme STN 05 0000 sú priebežne vysvetľované v príslušných kapitolách tejto publikácie.

## 2.2.2 ZÁKLADNÉ ROZDELENIE SPÔSOBOV ZVÁRANIA

*Spôsoby zvárania norma STN 05 0000 delí podľa:*

- základných metód zvárania
- úrovne automatizácie

*Základné metódy zvárania sú rozdelené do dvoch skupín:*

- **tavné zváranie** - zváranie vykonávané lokálnym stavením spájaných častí bez použitia tlaku

- **zváranie s použitím tlaku** - zváranie, pri ktorom je tlak nevyhnutný

Zatiaľ čo v skupine tavného zvárania sa tlak nepoužíva, druhá skupina vo väčšine prípadov okrem tlaku, ktorý je pre ňu nevyhnutný, vyžaduje i ohrev.

*Spôsoby zvárania, zatriedené normou do tavného zvárania, sú:*

**oblúkové zváranie**

**plameňové zváranie**

**elektrotroskové zváranie**

**elektrónové zváranie**

**laserové zváranie**

**aluminotermické zváranie**

Príslušný prívlastok spresňuje zdroj tepla, použitého na roztavenie zváraných materiálov. Na doplnenie treba dodať, že pri elektro-troskovom zváraní sa na ohrev používa teplo uvoľňujúce sa pri prechode elektrického prúdu cez roztavenú trosku a pri aluminotermickom zváraní je zdrojom ohrevu energia horenia aluminotermickej zmesi.

*Metódy zvárania s použitím tlaku sú:*

**odporové zváranie**, (na ohrev sa využíva teplo, vznikajúce prechodom elektrického prúdu cez zvárané časti), **trecie zváranie** (ohrev vzniká dôsledkom trenia, vyvolaného vzájomným pohybom zváraných častí alebo nástroja), **tlakové zváranie**, (zdroj tepla môže byť rôznych, avšak veľkosť ohrevu nesmie prekročiť teplotu tavenia zváraných materiálov), **kováčske zváranie**, (najstarší spôsob zvárania, pri ktorom sa spojenie dosiahne plastickou deformáciou pri kovaní), **difúzne zváranie**, (dlhodobé pôsobenie zvýšenej teploty a malej plastickej deformácie spôsobí vzájomnú difúziu atómov v tenkých povrchových vrstvách stykajúcich sa častí a tým i vznik spoja), **ultrazvukové zváranie**, (využíva sa pôsobenie ultrazvukového kmitania), **zváranie za studena**, (zváranie pri veľkej plastickej deformácii bez ohrevu vonkajším zdrojom tepla), **magneticko impulzné zváranie**, (spojenie vzniká v dôsledku tlaku, vzniknutého nárazom spájaných častí vyvolaného vplyvom impulzného magnetického poľa) a **zváranie výbuchom**, (podobne ako pri predošlom spôsobe s tým rozdielom, že na pohyb zváraných častí sa využije tlak detončných splodín trhaviny).

V rámci jednotlivých spôsobov zvárania existuje viacero modifikácií danej technológie. Napríklad oblúkové zváranie sa ďalej delí na zváranie obalenými elektródami, zváranie v ochranných atmosférach plynov a zváranie pod taviacom, pričom v jednotlivých podskupinách existujú i ďalšie podskupiny, napr. podskupina oblúkového zvárania v ochranných atmosférach sa člení na zváranie taviacou sa elektródou a netaviacou sa elektródou. Ako ďalší príklad je možné uviesť odporové zváranie, ktoré sa ďalej člení na zváranie bodové, švové a stykové, pričom stykové odporové zváranie je možné ešte rozdeliť na zváranie stláčacie a odtavovacie. Podobným spôsobom je možné ďalej podrobnejšie rozdeliť i iné spôsoby zvárania, napr. difúzne zváranie, oblúkové zváranie a pod.

*Podľa úrovne automatizácie sa delí zváranie na:*

- **ručné zváranie** - zváranie vykonávané ručne pomocou nástroja, ktorý získava energiu zo zváracieho zdroja
- **mechanizované zváranie** - zváranie vykonávané použitím strojov a mechanizmov riadených človekom
- **automatizované zváranie** - zváranie vykonávané mechanizmami stroja podľa zadaného programu bez bezprostrednej účasti človeka, pričom vkladanie, upínanie častí a odoberanie zvariek sa vykonáva mechanizmami riadenými človekom.

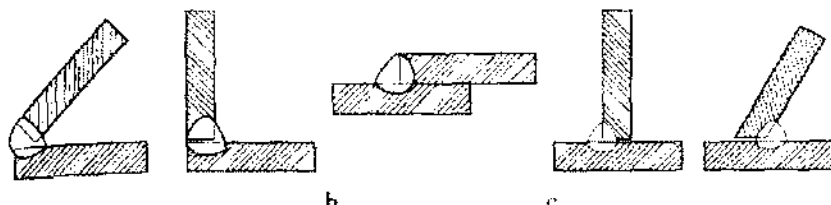
### 2.2.3 DRUHY ZVAROVÝCH SPOJOV A ZVAROV

V kapitole venovanej základným pojmom z oblasti zvárania je uvedený rozdiel medzi pojmi zvarový spoj a zvar. Z uvedených definícií vyplýva, že každý zvarový spoj musí obsahovať zvar.

Podľa *vzájomného situovania* zváraných materiálov a zvaru vo zvarovom spoji poznáme **4 základné typy zvarových spojov**:

- **tupý spoj** - zvarový spoj dvoch prvkov navzájom spojených čelnými povrchmi (obr. 2.2.1.1).
- **rohový spoj** - zvarový spoj dvoch prvkov umiestnených pod uhlom a zváraných v mieste spojenia ich okrajov (obr. 2.2. 3.1 a)
- **preplátovaný spoj** - zvarový spoj, v ktorom sú zvárané prvky umiestnené súbežne a navzájom sa čiastočne prekrývajú (obr. 2.2. 3.1 b)
- **spoj T** - zvarový spoj, v ktorom sa čelo jedného prvku dotýka pod uhlom a pri vára sa k bočnému povrchu druhého prvku (obr. 2.2. 3.1c)

K vyhotoveniu príslušného zvarového spoja, (napr. tupého, preplátovaného a pod.), je možné použiť niekoľko typov zvarov, ktoré je možné ďalej bližšie charakterizovať podľa ich tvaru:

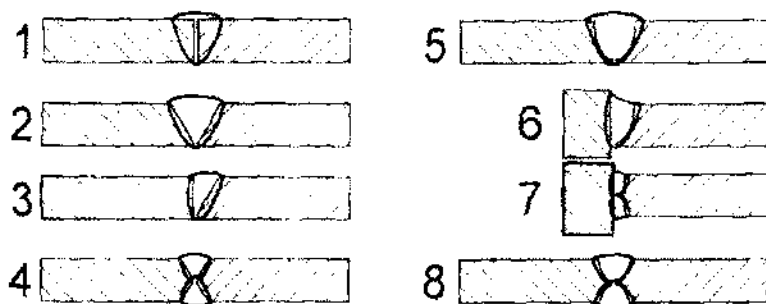


Obr. 2.2. 3.1 Druhy zvarových spojov

a- rohový spoj, b- preplátovaný spoj, c- Spoj T

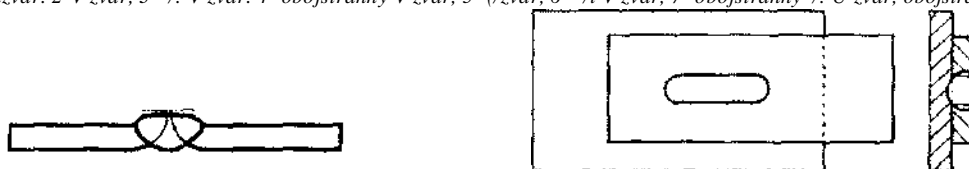
- **tupý zvar** - zvar tupého spoja (obr. 2.2. 3.3),
- **kútový zvar** - zvar rohového, preplátovaného alebo spoja T (prierez zvaru je približne trojuholník), obr. 2.2. 3.1,
- bodový zvar** - zvar, v ktorom sa zvárané prvky spájajú v jednotlivých šošovkách, (najčastejšie vyhotovovaný na preplátovaných zvarových spojoch), obr. 2.2. 3.2,
- lemový zvar** - zvar vzniknutý v dôsledku roztavenia Jemových okrajov zváraných plechov (obr. 2.2. 3.4),
- dierový zvar** - zvar vyplňujúci otvor pripravený v jednom zo zváraných dielcov (obr.2.2. 3.5).

Ak zvar pokračuje po celej dĺžke zvarového spoja bez prerušenia, hovoríme o **priebežnom zvare**, v prípade, že je zvar vyhotovený po celej dĺžke zvarového spoja, ale skladá sa z kratších navzájom nespojených úsekov, hovoríme o **prerušovanom zvare**. **Nosný zvar** prenáša sily pri zaťažení zvaru, **tesniaci zvar** neprepúšťa kvapalnú alebo plynnú médiu. V niektorých prípadoch je nutné vyhotoviť zvar až na mieste, (napr. rozmery hotovej konštrukcie by neumožnili jej prepravu cestnými komunikáciami). V tom prípade hovoríme o **montážnom zvare**.



Obr. 2.2. 3.3 Niektoré možné typy tupých tvarov

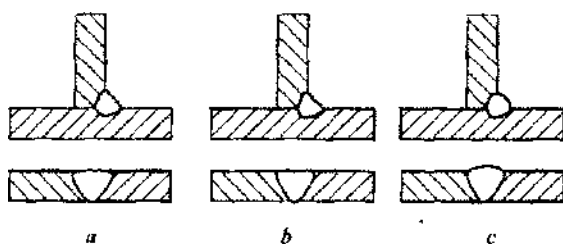
1-izvar, 2-V zvar, 3- 1/2 V zvar, 4- obojstranný V zvar, 5- (/zvar, 6- 1/4 V zvar, 7- obojstranný 1/2 U zvar, 8- obojstranný U zvar



Obr. 2.2. 3.4 Lemový zvar

Obr. 2.2. 3.5 Dierový zvar

Zvar s približne rovinným povrchom sa nazýva **plochý zvar**. Ak je povrch zvaru prehĺbený, jedná sa o **preliačený zvar**, pri vydatí povrchu ide o **zvar prevýšený** (obr. 2.2.3.6). Z technologického hľadiska môže byť tvar povrchu zvaru priamo predpísaný na výkrese zvaru a je ho nutné pri zváraní dodržať.



Obr. 2.2.3.6 Tvar povrchu kútového a tupého zvaru  
a- plochý zvar, b- preliačený zvar, c- prevýšený zvar

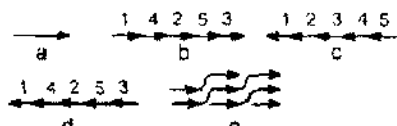
## 2.2.4 TECHNOLÓGIA VYHOTOVENIA ZVAROV

Postup vyhotovenia zvarov závisí od použitej technológie zvarovania, hrúbky zváraných materiálov, polohy zvarovania, konštrukčného riešenia zvaranej konštrukcie a ďalších faktorov.

V prvej fáze je treba pripraviť zvárané materiály. Príprava materiálov pred zvaraním sa skladá sa z delenia materiálu, prípravy zvarových plôch, očistenia a stehovania alebo upínania na zabezpečenie polohy zváraných materiálov počas zvarovania.

Pri vlastnom zvaraní rozlišujeme smer zvarovania, ktorý je možné definovať ako smer pohybu zdroja ohrevu pozdĺž osí zvarového spoja. Obyčajne sa používa zvarovanie ľavosmerné, (dopredu) alebo pravosmerné (dozadu).

V prípade, že nieje nutné prerušovať zvarovanie, zvar je možné zhotoviť v *jednom slede*, t.j. jedným smerom (obr. 2.2. 4.1a). Ak sa zvárajú hrubšie materiály, alebo je tepelný príkon vyšší, používa sa zvar zhotovený striedavo - to znamená, že sa jednotlivé krátke zvary kladú striedavo, kým je celý spoj hotový (obr. 2.2. 4.1b).



Ďalší spôsob vyhotovenia zvaru je zvar zhotovený vratným krokom. V tomto prípade sa jednotlivé krátke zvary kladú za sebou postupne, ale v opačnom smere ako postupuje zvarový spoj (obr. 2.2.4.1c).

Kombináciou zvaru zhotoveného striedavo

Obr. 2.2. 4.1 Možné postupy vyhotovenia zvarov

a vratným krokom je zvar zhotovený striedavo vratným krokom. Zvar sa vytvorí vratným krokom s medzerami, ktoré sa postupne striedavo vyplnia (obr. 2.2. 4.1 d). Ak sa jednotlivé vrstvy zvaní vytvárajú stupňovité v podobe kaskád (obr. 2.2. 4.1 e), jedná sa o zvar zhotovený kaskádovite.

Po zvarení nasleduje očistenie zvaru od trosky a prípadného rozstreku a zvar je podrobený predpísaným defektoskopickým skúškam. Ak sa defekty nezistia, zvarok pokračuje ďalej v procese výroby súčiastky alebo zariadenia. V prípade výskytu chýb vo zvare sa určí, či je možné chyby opraviť, alebo je nutné zvarok vyradiť ako nepodarok. V tomto prípade je nevyhnutné posúdiť výšku nákladov na opravu zvaru oproti vyhotoveniu nového zvarku.

## 2.2.5 CHYBY ZVAROVÝCH SPOJOV

Chyby zvarových spojov sú neoddeliteľnou súčasťou vyhotovovania zvarových spojov. Na proces vytvárania zvaru vplyva množstvo faktorov, ktoré sa podieľajú i na vzniku defektov.

Jedným z kritérií rozdelenia chýb zvarových spojov je situovanie chyby na povrch zvarového spoja alebo do jeho vnútra.

*Podľa toho môžeme rozdeliť chyby na:*

- vonkajšie
- vnútorné

*Norma STN ISO 6520 klasifikuje chyby zvarových spojov (vonkajšie i vnútorné) zaradením do 6 skupín:*

1-trhlina

2-dutiny

3-vtrúseniny

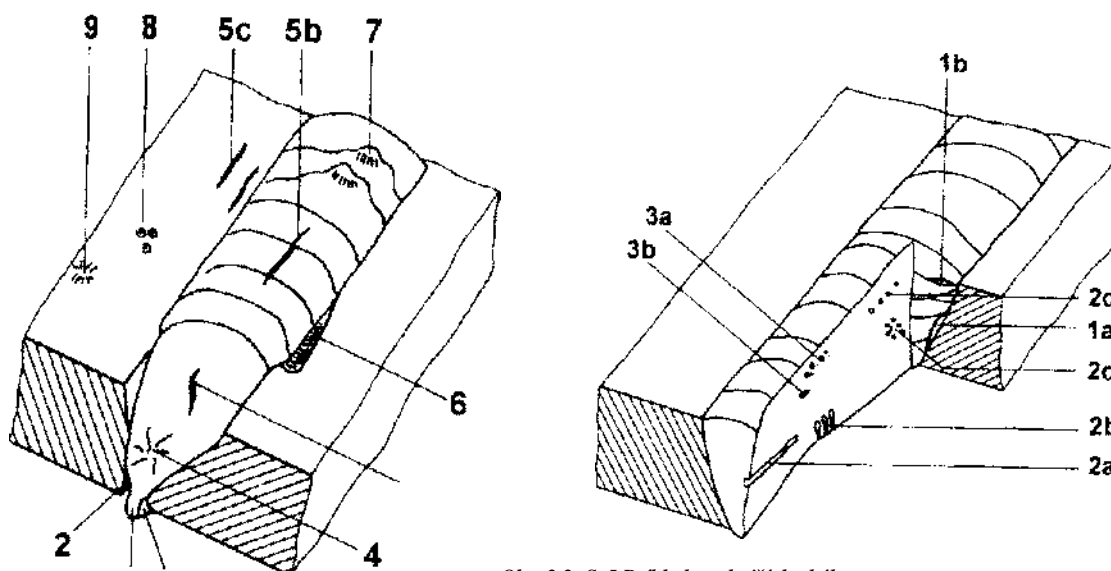
4-chyby odtavovania a závaru

5-chyby tvaru

6-rôzne chyby, nezahrnuté do predchádzajúcich skupín

Hlavné skupiny chýb sa označujú trojmiestnymi číslami, (napr. číslom 100 trhlina, 101 pozdĺžna trhlina), podskupiny, bližšie špecifikujúce vyskytujúcu sa chybu, štvormiestnymi číslami, (napr. 1011 pozdĺžna trhlina vo zvarovom kove, 1014 pozdĺžna trhlina v základnom materiáli).

Príklad vonkajších a vnútorných chýb tupého zvarového spoja V s číselným vyznačením chýb je na obr. 2.2.5.1 a 2.2.5.2. **5a**



Obr. 2.2. S. 1 Príklad vonkajších chýb zvarov

1) nadmerne prepadnutý koreň - 504, 2) neprevarený koreň - 402, i) stiahnutina - 202, 4) hviezdicová trhlina - 1047, 5) trhlina - 100 a) pozdĺžna kráterová - 1045, b) pozdĺžna vo zvarovom kove - 1011, c) v základnom materiáli - 1014, 6) zápal prerušovaný - 5012, 7) nadmerne prevyšný zvar - 502, 8) rozstrek - 602, 9) dotyk elektródou - 601

Obr. 2.2. 5.2 Príklad vnútorných chýb zvarov 1) studený spoj - 401 a) medzi 7M a ZK 4011, b) medzi húsenicami - 4012, 2) dutiny - 200 a) pór - 2015, b) červovitá 20/6, c) zhluk dutín - 2013, d) riadok dutín - 2014, 3) vtrúseniny - 300, aj trosková - 301, tavivová - 302, kovová 304, b) Oxidická - 303

Prítomnosť chyby vo zvarovom spoji nemusí ešte nutne znamenať, že zvarový spoj je nevyhovujúci. Záleží na type chyby, na jej veľkosti a na účele použitia zvarového spoja. Požiadavky na prípustný počet a druh chýb pre zvarový rám motorového vozidla alebo reaktorovú nádobu budú iné, ako pre taký istý zvar použitý pri zvaraní konštrukcii rámu dverí.

Tento prístup sa označuje ako vhodnosť pre daný účel (fitness on purpose). Výrobok je vhodný na dané použitie, ak uspokojivo plní svoju funkciu počas zadanej životnosti. Zv; ovč spoje je potom možné poríľa normy zatriedi ť do 3 kvalitatívnych stupňov:

D mierna úroveň kvality C-stredná úroveň kvality B-vysoká úroveň kvality pri výbere stupňa kvality pre konkrétny prípad treba brať do úvahy konštrukčné riešenia, spôsoby následného spracovania, (napr. povrchová úprava), spôsob namáhania, (napr. statické, únavové), prevádzkové podmienky, (napr. teplota, prostredie) a dôsledky porušenia. Ekonomické činitele sú taktiež dôležité a mali by zahrňovať nielen náklady na zvarovanie, ale aj na kontrolu, skúšanie a opravy zvarov. Vyhotovenie zvaru s menším počtom chýb je ekonomicky nákladnejšie, (napr. stupeň kvality B je nákladnejší ako stupeň kvality D).

Ako príklad zatriedenia zvarového spoja do príslušného kvalitatívneho stupňa je možné uviesť, že napr. trhlina (označenie 100) sa nemôže vyskytovať ani v jednom stupni kvality, avšak kráterová trhlina (označenie 104) sa už môže vyskytovať v kvalitatívnom stupni D (mierny). Norma STN EN 25817 tak priamo predpisuje, ktorý typ chyby a v akom rozsahu je prípustný pre príslušný kvalitatívny stupeň.

Na **detekciu chýb** vo zvarových spojoch sa používa celý rad skúšok, ktoré je možné rozdeliť na 2 základné skupiny:

- **deštruktívne** skúšky - dochádza pri nich k deštrukcii hotového zvarového spoja
- **nedeštruktívne** skúšky - nedochádza pri nich k deštrukcii vyhotoveného zvarového spoja

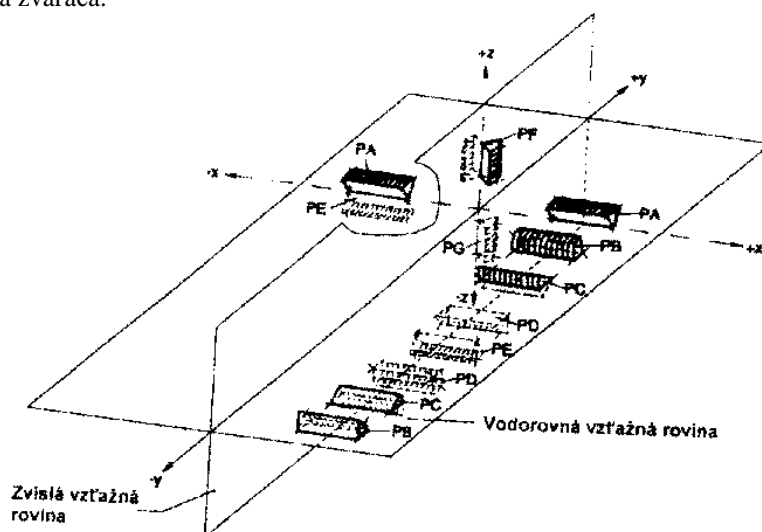
Z najznámejších deštruktívnych skúšok je možné spomenúť skúšku v ohybe a skúšku rázom v ohybe, skúšku ťahom, skúšku rozlomením a skúšku tvrdosti.

Z nedeštruktívnych skúšok sa najčastejšie používajú vizuálne skúšky, magnetické skúšky, penetračné skúšky, skúška prežiarením, ultrazvuková skúška atď.



## 2.2.6 POLOHY ZVÁRANIA

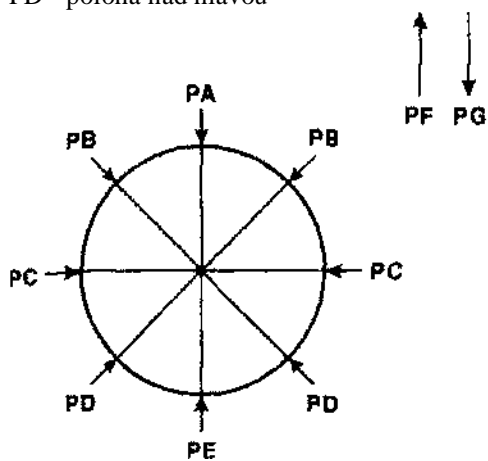
Pod polohou zvarovania rozumieme polohu zvaru v priestore pri jeho vyhotovení. Vzhľadom na pôsobenie zemskej gravitácie na roztavený zvarový kúpeľ nie je jedno, v akej polohe sa zvar vytvára. V snahe o dosiahnutie požadovaného kvalitatívneho stupňa zvaru potom na polohe zvarovania závisia pre príslušnú technológiu zvarovania i nastavené zvaracie parametre. Okrem toho, pri ručnom zvarovaní treba zohľadniť namáhavosť vytvorenia zvaru v určitej polohe vzhľadom na skúsenosti zvárača. Poloha zvarovania teda priamo ovplyvňuje kvalifikačné nároky na zvárača.



Základné polohy zvarovania sú zobrazené na príklade tupého V zvaru na obr. 2.2. 6.1.

Rotáciou zvaru okolo osi x dostaneme 5 základných polôh zvarovania:

- PA - poloha vodorovná zhora
- PB - poloha vodorovno-zvislá
- PC - poloha vodorovná na zvislej ploche
- PD - poloha vodorovná nad hlavou
- PE - poloha nad hlavou



Zjednodušené znázornenie týchto základných polôh, ktoré by zodpovedalo vyhotoveniu pozdĺžnych zvarov na rúre, je na obr. 2. 2. 6.2. Polohy PA až PE sa teda líšia uhlom otočenia okolo osi x, ktorá je pozdĺžnou osou zvaru. V prípade, že je zvarok situovaný na polohovadle, ktoré dovoľuje jeho rotáciu, je možné otočením zvaru zmeniť polohu zvarovania, napr. z polohy PC do polohy PA, alebo z polohy PE do polohy PA a pod., pretože zvar sa najjednoduchšie vyhotovuje zväčša v polohe PA.

V technologickom postupe sa ale uvedie poloha po rotácii zvaru, teda PA. Ak je však zvarok rozmerný, ťažký, alebo polohovadlo neumožňuje jeho rotáciu, musí sa zväčša zvarovať v definovanej polohe. Ďalšie dve základné polohy dostaneme rotáciou zvaru okolo osí y: PF-poloha zdola nahor PG-poloha zhora nadol.

Polohu zvarovania mimo základných polôh je možné definovať príslušným naklonením pozdĺžnej osi zvaru voči vodorovnej vzťažnej rovine a rotáciou priečnej osi zvaru okolo pozdĺžnej osi zvaru.

### 2.2.7 VPLYV ZVÁRANIA NA VLASTNOSTI ZVARKU

Pri tavných spôsoboch zvárania je použitie tepla nevyhnutné.

**Zdrojom tepla potrebného na roztavenie základného a prídavného materiálu môže byť:**

- elektrický oblúk, horiaci medzi elektródou a základným materiálom,
- odporový ohrev generovaný prechodom elektrického prúdu cez dotýkajúce sa zvárané materiály,
- plameň získaný spaľovaním zmesi horľavého plynu s kyslíkom,
- mechanická energia premieňaná na teplo (trenie, ultrazvukové vibrácie),
- exotermická chemická reakcia, produkujúca tekutý kov,
- lúč elektrónov,
- lúč elektromagnetického žiarenia (infračervené, svetelné - laser, ultrafialové).

Z technologického a energetického hľadiska je nevyhnutné, aby zvarový spoj vznikal postupne a nie naraz na celej šírke zvarového spoja. Z toho dôvodu je nutný pohyb zdroja tepla v priebehu zvárania. V mieste pôsobenia tepelného zdroja dôjde k roztaveniu zváraných materiálov, (v prípade zvárania s prídavným materiálom i prídavného materiálu). Pohybom tepelného zdroja dochádza k postupnému taveniu ďalšieho materiálu a pôvodne roztavený materiál, ktorý sa začína čím ďalej tým viac vzdďaľovať od zdroja tepla, začne chladnúť. Každé miesto zvarového spoja tak prejde teplotným cyklom.

**Teplotný cyklus sa vyznačuje 3 oblasťami;**

- oblasťou ohrevu, t. j. vzrastom teploty na maximálnu teplotu, ktorá je pri tavných spôsoboch zvárania vyššia ako teplota tavenia zváraných materiálov, alebo pri zváraní v pevnom stave nižšia
- zotrvaním na maximálnej teplote
- oblasťou ochladzovania.

Jednotlivé metódy zvárania sú charakteristické príslušným teplotným cyklom (obr. 2.2. 7.1).

Pri technológiách s vyššou plošnou hustotou tepelného toku, (množstvo energie vo forme tepla dodaného na jednotku plochy), je rýchlosť ohrevu na maximálnu teplotu a rýchlosť ochladzovania veľmi rýchla. K týmto technológiám je možné zaradiť zváranie laserom, elektrónovým lúčom a elektrické odporové zváranie. Ak je plošná hustota tepelného toku nižšia, trvá tepelnému zdroju dlhší čas, kým sa materiál roztaví. Za tento čas však časť tepla pohltí aj okolitý základný materiál, a preto i rýchlosť ochladzovania je pomalá. K týmto technológiám je možné zaradiť napríklad zváranie plameňom alebo elektrotroskové zváranie. Energia vo forme tepla z tepelného zdroja sa do zváraných materiálov šíri vedením a žiarením. Podobným spôsobom dochádza aj k odvodu tepla zo zváraných materiálov do okolia.

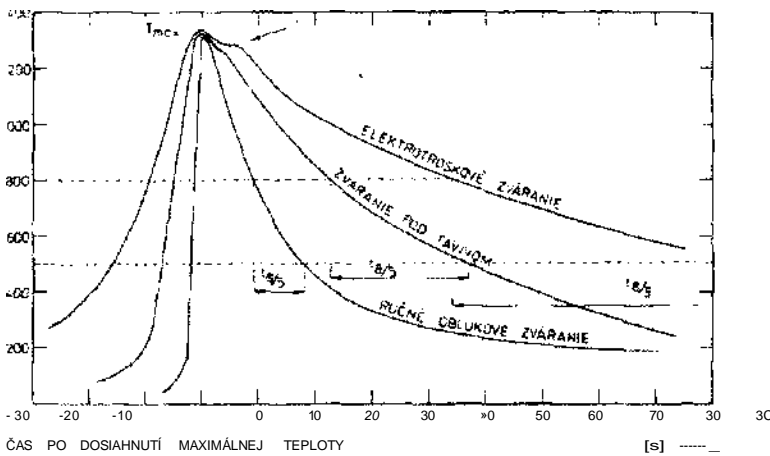
Pri šírení tepla vo zváraných materiáloch sa najviac uplatňuje vedenie tepla. Tepelná vodivosť materiálu spolu s energetickou hustotou zvaracieho procesu sa najviac podieľajú na tvare krivky teplotného cyklu.

Rozloženie teploty okolo miesta, do ktorého sa koncentruje tepelný zdroj, je možné znázorniť čiarami s rovnakými teplotami, nazývanými izotermy. Typické rozloženie teplôt počas ručného oblúkového zvárania tenkého a hrubého základného materiálu je na obr. 2.2. 7.2 a obr. 2.2. 7.3. Vzrast teploty alebo strmosť krivky pred oblúkom je výraznejšia ako pokles teploty za ním. Je to spôsobené takmer okamžitým prestupom tepla z oblúka do materiálu a dlhšiemu času potrebnému na odvod tepla z materiálu. Z obr. 2.2. 7.2 a obr. 2.2. 7.3 tiež vyplýva vplyv hrúbky zváraného materiálu na rozloženie teplôt. V prípade identických podmienok zvárania je v rovnakej vzdialenosti od oblúka vyššia teplota v tenšom materiále. Dôvodom je vyššia hmotnosť hrubšieho materiálu a z toho vyplývajúca vyššia tepelná kapacita a šírenie sa tepla v troch smeroch.

Nie všetko teplo generované tepelným zdrojom sa využije na tavenie základného a prídavného materiálu. Na vytvorenie zvarovej húsenice sa využije zhruba 20 až 75 % energie generovaného tepelným zdrojom, pričom toto percento sa líši v závislosti od použitej metódy zvárania, druhu základného materiálu, tvaru zvaru a podobne. Napr. pri ručnom oblúkovom zváraní obalenou elektródou sa na vytvorenie zvarovej húsenice využije asi 70 až 85 % tepla. Pri zváraní pod tavivom asi 80 až 90 %. Nízkou účinnosťou sú charakterizované najmä lúčové technológie (laser), pri ktorých sa značná časť dopadajúcej energie od kovovo lesklého povrchu zváraných materiálov odráža do okolia. Najväčší podiel tepelných strát pri zváraní ide na úkor odvodu tepla do okolitého materiálu, ktorý bezprostredne susedí so zvarom. Ďalšie straty reprezentujú straty rozstrekom zvarového kovu, straty vznikajúce ohrevom elektródy a taviva a vyžiarenie energie do okolitého prostredia.

Pri **analýze vplyvu tepla na zvar** (zvarový spoj alebo zvarok) je nevyhnutné poznať:

- rýchlosť ohrevu,
- maximálnu dosiahnutú teplotu,
- čas zotrvania na maximálnej teplote,
- rýchlosť ochladzovania.



Obr. 2.2. 7.1 Tvary tepelných cyklov podhúsentcovej oblasti pre rôzne spôsoby zvarovania

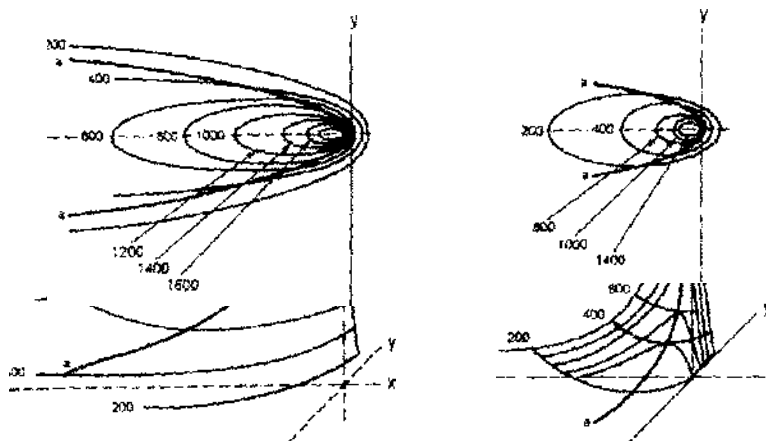
Napriek zložitosti presného určenia jednotlivých faktorov, je pri určitom zjednodušení ich analýza možná.

Rýchlosť ohrevu závisí najmä na veľkosti a intenzite zdroja tepla, účinnosti prenosu tepla do základného materiálu, využití tepla na tvorbu zvaru, geometrii zvaru, hustoty základného materiálu, koeficiente tepelnej vodivosti zváraných materiálov a ich špecifickej tepelnej kapacity. Napr. koeficient tepelnej vodivosti ocele je iba jednou desatinou koeficientu tepelnej vodivosti medi. Termofyzikálna vlastnosť materiálov - tepelná vodivosť výrazne ovplyvňuje strmlosť krivky teplotného cyklu a tým aj teplotného gradientu spoja.

Pri tavných spôsoboch zvarovania je potrebné dosiahnuť teplotu tavenia základného i prídavného materiálu, alebo ju prekročiť. O koľko sa teplota tavenia prekročí, závisí na použitej technológii zvarovania. Veľkosť prekročenia nemusí byť výrazná, hoci technológie s vysokou hustotou energie (laser, elektrónový lúč) sú schopné materiál v mieste pôsobenia odpariť. Z tohto dôvodu je ich možné použiť okrem zvarovania i na tepelné delenie materiálov, v závislosti od použitého tepelného príkonu.

Ak by sa použil na zvarovanie tenkých materiálov vysoký tepelný príkon, ich termo - fyzikálne vlastnosti a malá hrúbka materiálu by nestačili na dostatočné pohltie privedeného tepla, materiály by sa nadmerne prehnali a namiesto zvaru by v materiále vznikli diery.

Ďalším faktorom je skupenské teplo tavenia zváraného materiálu, ktoré priamo ovplyvňuje množstvo tepla potrebného na jeho roztavenie. Kov s nízkou teplotou tavenia, ale s relatívne vysokým skupenským teplom tavenia môže spotrebovať na roztavenie väčšie množstvo energie ako kov s vysokou teplotou tavenia, ale malým skupenským teplom. Typickým príkladom je napr. porovnanie hliníka a uhlíkovej ocele.



Obr. 2.2. 7.2 Rozloženie teplôt pri ručnom oblúkovom zvaraní na tenkom plechu  
Obr. 2.2. 7.3 Rozloženie teplôt pri ručnom oblúkovom zvaraní hrubého plechu

Čas zotrvania na maximálnej teplote závisí od rovnováhy medzi tepelným príkonom a odvodom tepla do okolitého prostredia. V sledovanom mieste tepelný príkon pri zvaraní najskôr prevažuje nad odvodom tepla do okolitého prostredia, ale pohybom zdroja tepla dochádza k postupnému prevládaniu odvodu tepla, v dôsledku čoho zvarový kov začne tuhnuť a okolitý materiál sa začne ochladzovať. Čím je čas zotrvania na maximálnej teplote dlhší, tým je základný materiál ovplyvnený na väčšej vzdialenosti od miesta zvaru. Okrem toho je čas zotrvania nad určitou vysokou teplotou možné pokladať za mieru hrubnutia austenitického zrna. Čím je tento čas dlhší, tým je zrno hrubšie, čo sa negatívne prejavuje na mechanických vlastnostiach zvarového spoja. Z uvedených dôvodov je čas zotrvania na maximálnej teplote vhodné minimalizovať.

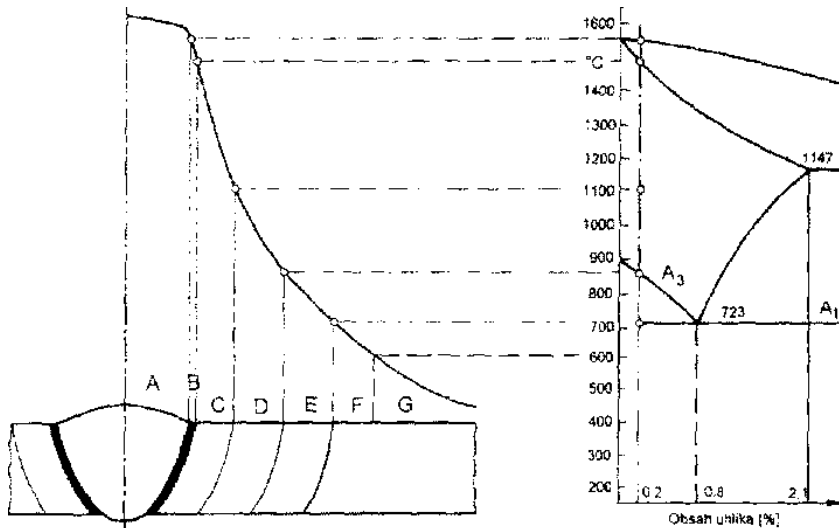
Rýchlosť ochladzovania súvisí, podobne ako rýchlosť ohrevu, s prenosom tepla, teplo z miesta zvaru sa do okolia prenáša konvekciou a radiáciou a vo zváraných materiáloch vedením tepla. Okrem toho sa na rýchlosti chladnutia podieľa výrazným spôsobom teplota základného materiálu pred zvaraním, nazývaná predhrev. Použitím predhrevu je možné znížiť rýchlosť chladnutia.

***Rýchlosť chladnutia má okrem toho dôležitú úlohu pri ďalších dvoch procesoch:***

- procese štruktúrnej (polymorfnej) premeny
- procese difúzie (najmä vodíka).

Čím je rýchlosť ochladzovania v oblasti transformačných teplôt vyššia, tým je väčšia pravdepodobnosť získania nerovnovážnych štruktúr (martenzit). Naopak, čím je menšia rýchlosť ochladzovania pri nižších teplotách (cca 300°C), tým je väčšia pravdepodobnosť difúzie (úniku) vodíka z oblasti zvarového spoja.

### Tepelne ovplyvnená oblasť:



Tepelne ovplyvnená oblasť je tá časť zvarového spoja, ktorej mikroštruktúra je ovplyvnená teplom pri vyhotovení zvarového spoja.

Obr. 2.2. 7.4 Tepelne ovplyvnená oblasť ocele v závislosti od teplotného cyklu a obsahu uhlíka A-zvarový kov (liaca štruktúra), B-prechodová oblasť do zvarového kovu, C-vysokovyhriata oblasť (zhrubnutie zrna), D-pásmi normalizačného žihania, E-pásmo neúplnej prehyštalizácie (zjemnenie zrna), F-pásmo rehyštalizačného žihania, G-pôvodný základný materiál

Pri zváraní kovov bez polymorfnej premeny, (napr. Al, Cu, Ni) zostáva mikroštruktúra materiálu v TOO nezmenená, nastávajú iba subštruktúrne zmeny (rekryštalizácia, rast zŕn a pod.). V kovoch a zliatinách s polymorfnou premenou dochádza v TOO k výrazným štruktúrnym zmenám, ktoré majú vplyv na vlastnosti zvarových spojov.

TOO delíme na nasledovné oblasti (obr. 2.2. 7.4):

- oblasť vyhriata pod teplotu  $A_1$  (oblasť rekryštalizačného žihania)
- oblasť vyhriata na rozmedzie teplôt  $A_1$  a  $A_3$  (oblasť neúplnej transformácie) oblasť vyhnala nad teplotu  $A_3$  (oblasť normalizačného žihania)
- podhúsenicová oblasť (Časť predchádzajúcej oblasti vyhriata nad kritické teploty rastu zŕn)
- prechodová oblasť do zvarového kovu

Mikroštruktúrne zmeny v TOO závisia od chemického zloženia ocele, jej východiskovej mikroštruktúry, (dané tepelným spracovaním), od výšky teploty ovplyvnenia a rýchlosti ochladzovania.

#### Vlastnosti TOO

Účinky tepelno-deformačného cyklu na vlastnosti zvarových spojov je možné charakterizovať takto:

- pokles pevnosti TOO iba u zušľachtených a termomechanicky spracovaných ocelí
- zmäkčenie v oblasti vyhriatej tesne pod alebo nad  $A_1$  (rekryštalizácia štruktúry, popustení)
- v tepelnej oblasti nad  $A_3$ : zhrubnutie austenitického zrna vedie k poklesu pevnosti, štruktúrne zmeny smerom k presýteným štruktúram (bainiticko-martenzitické) vedú naopak k výraznému spevneniu. Vo výsledných pevnostných vlastnostiach však preváži transformačné spevnenie.

#### Húževnatosť TOO

Pevnostné spevnenie TOO nerobí vážnejšie problémy, čo nie je možné povedať o húževnatosti. V súvislosti so zhrubnutím zrna pozorujeme najmä v podhúse ničo vej zóne výraznejší pokles húževnatosti.

Jednou z možných ciest ako spomenuté zhmbnuté zrno zjemniť je normalizačné žihanie. Teplota žihania sa u podeutektoidných ocelí pohybuje 30 až 50 °C nad teplotou  $A_c^{\wedge}$ , čas výdrže na tejto teplote závisí na rozmeroch zvaruku.

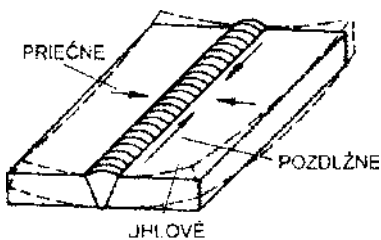
## DEFORMÁCIE ZVARKOV

Nerovnomerný ohrev zváraných dielcov v dôsledku tepelného cyklu zvárania, ich tepelná rozťažnosť pri ohreve a zmršťovanie pri chladnutí spolu s tuhosťou ich upnutia a vznikom nerovnovážnych štruktúr v TOO spôsobujú vznik prechodných, premenných a trvalých napätí. Tieto napätia vedú k lokálnej alebo celkovej deformácii zvarkov.

**Vzniknuté deformácie môžeme podľa ich polohy k zvaru rozdeliť nasledovne (2.2.7.5):**

- pozdĺžne - vznikajú pozdĺžnym zmrštením zvarového kovu spoja pri tupých a kútových zvaroch a prejavujú sa skrátením dĺžky zvaru,
- priečne - vznikajú priečnym zmrštením zvarového kovu spoja pri tupých a kútových zvaroch a prejavujú sa skrátením šírky zvaru,
- uhlové - vznikajú rôznym priečnym zmrštením, v prípade tupých zvarov s uhlom rozovretia akútových zvarov, pretože horné časti zvaru majú väčší rozmer a zmrstia sa viac ako dolné časti,
- Problematika eliminácie zvyškových napätí je veľmi rozsiahla. Najčastejšie sa na ich zníženie používa žihanie na zníženie vnútorných napätí. Pri tomto spôsobe tepelného spracovania sa teplota sa volí čo najbližšie k teplote  $i$ , pretože zvyškové napätia sú tým menšie. Čím je vyššia teplota žihania. Ocele sa žihajú pri teplote 500 až 650 °C, pričom nesmie nastať sferoidizácia perlitu, resp. grafitizácia cementitu.

Zníženie deformácií zvarkov je možné aj vhodným technologickým návrhom zváranej konštrukcie a s použitím limitovaného tepelného príkonu pri zváraní.



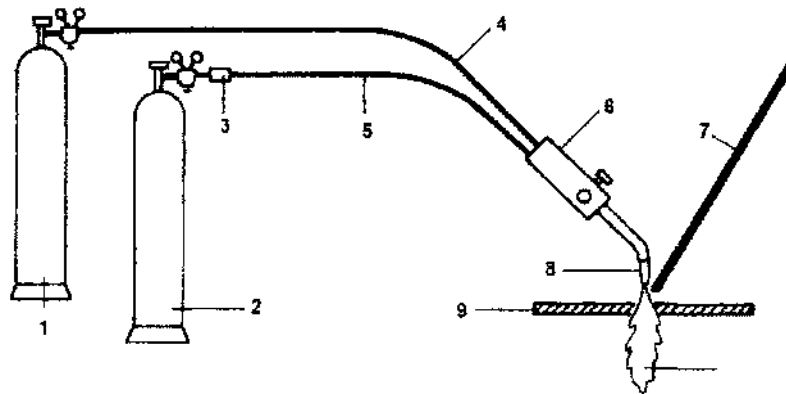
Obr. 2.2. 7.5 Znárodnenie možných deformácií zvarokupo zvarení

### 2.2.8 ZVÁRANIE PLAMEŇOM

Zváranie plameňom je tavný spôsob zvárania, pri ktorom spaľovaním zmesi horľavého plynu a kyslíka sa uvoľňuje teplo potrebné na roztavenie základného a prídavného materiálu.

Ako horľavý plyn sa na zváranie najčastejšie používa acetylén. V súčasnosti sa okrem acetylénu používajú i skvapalnené horľavé plyny na báze metylacetylénu a iných uhlíkovodíkov, dodávaných pod obchodnými názvami MAPP a APACHI.

Acetylén je plyn s charakteristickým éterickým zápachom, je ľahší ako vzduch a zo vzduchom tvorí výbušnú



Obr. 2.2. S. 1 Schéma zvárania plameňom

/■ kyslíková fľaša, 2 acetylénová fľaša, 3 bezpečnostná poistka, 4 kyslíková hadica, 5-acetylénová hadica, 6-horák, 7-prídavný materiál, 8-špička horáku, 9-zváraný materiál, 10-plameň

#### 2.2. 8.1 Farebné označenia fliaš podľa STK EH 1089-1

Časť plynu	Farebné označenie na hrdle fľaše
vodík	Biela
etylén	Gaštanová
ôn	Tmavozelená
ík	Čierna
oxid uhličitý	Sivá
lium	Hnedá
dík	Červená
les argón/oxid ľičitý	Jasnozelená
stlačený vzduch	Jasnozelená

Konštrukcia acetylénovej fľaše musí zodpovedať špecifickým vlastnostiam acetylénu. Ten sa ťiž pri stláčaní rozkladá, pričom môže ísť až o explozívnu reakciu. Acetylénová fľaša je reto vyplnená pórovitou hmotou, do ktorej sa napustí acetón. V ňom sa potom acetylén pod lakom rozpúšťa. Jeden liter acetónu rozpustí pri normálnej teplote a tlaku asi 18 litrov icetylénu. Jedna acetylénová fľaša s objemom 40 l obsahuje asi 18 l acetónu, ktorý pri )lniacom tlaku 1,5 MPa rozpustí asi 6000 l acetylénu.

Plynom, ktorý podporuje horenie acetylénu alebo akéhokoľvek horľavého plynu, je kyslík. Je to plyn bez farby, chuti a zápachu, ktorý sa vyrába frakčnou destiláciou vzduchu ak spotrebiteľovi sa dopravuje buď v skvapalnenej forme alebo Častejšie v tlakových fľašiach s plniacim tlakom 15, resp. 20 MPa. Kyslíková fľaša s vnútorným objemom 40 l a plniacim tlakom 15 MPa obsahuje asi 6000 l kyslíka.

Fľaše na stlačené plyny sa vyrábajú z bezšvových ocelových rúrok. Na zváranie sa najčastejšie používajú ocelové Fľaše s vnútorným objemom 40 l, v poslednom čase 50 l. Každá fľaša je zakončená fľašovým ventilom (odlišným podľa druhu plynu), ktorý bol u starších fliaš chránený ochranným klobúčikom, pri novšej konštrukcii sa využíva patentovaný ochranný strmeň, ktorý 'zároveň slúži ako miesto na uchopenie pri manipulácii s fľašou, napr. žeriavom. Aby nedošlo k zámene fliaš, je každá fľaša farebne označená (tab. 2.2.8.1).

Farebné označenie pozostáva z písmena na hrdle fľaše N, (znamená nové značenie fliaš podľa STN EN 1089-3) a príslušnej farby hrdla a drieku fľaše. Farebné označenie drieku fľaše môže byť podľa normy v niektorých prípadoch až trojakké, preto je v tab. 2.2. 8.1 uvedená iba farba hrdla fľaše pre príslušný plyn. Okrem toho sú na hrdle fľaše uvedené ďalšie údaje, ako napr. číslo fľaše, meno výrobcu, plný názov plynu, vodný objem fľaše, plniaci a skúšobný tlak a dátum poslednej revízie fľaše, (treba si uvedomiť, že sa jedná o tlakové nádoby a podobne ako hasiace prístroje podliehajú i tlakové fľaše príslušným predpisom).

Tlak, pod ktorým sú plyny vo fľašiach uskladnené, je na zváranie príliš veľký. Z toho dôvodu je ho potrebné znížiť na tzv. pracovný tlak. Zariadenia používané za týmto účelom sa volajú redukčné ventily a pripevňujú sa na fľašový ventil. Schéma redukčného ventilu s popisom hlavných častí je na obr. 2.2. 8.2. Princípom funkcie redukčného ventilu je škrtenie plynu. Plyn, vstupujúci z vysokotlakovej komory do nízkotlakovej komory, expanduje a znižuje svoj tlak.

Vzhľadom na rozdielny plniaci tlak kyslíkovej a acetylénovej fľaše a rozdielne pracovné tlaky sa i redukčné ventily na kyslík a acetylén odlišujú. Aby nedošlo k ich zámene, každý z nich sa pripieňuje na fľašový ventil iným spôsobom: kyslíkový redukčný ventil prostredníctvom presúvnej matice, acetylénový redukčný ventil prostredníctvom strmeňa.

V prípade acetylénu sa za acetylénovým redukčným ventilom pripája bezpečnostná poistka. Jej úlohou je zabrániť vniknutiu plameňa do acetylénovej fľaše v prípade jeho spätného šľahnutia. K spätnému šľahnutiu dochádza, ak je výtoková rýchlosť plynov menšia ako rýchlosť horenia kyslíkovo - acetylénovej zmesi. Ak by plameň v ceste bezpečnostná poistka nestála, mohlo by dôjsť k výbuchu acetylénovej fľaše. Bezpečnostná poistka sa v prípade spätného šľahnutia plameňa uzavrie. Čím sa plameň zastaví ešte pred redukčným ventilom. Zároveň sa preruší dodávka acetylénu do horáka.

Plyn je od redukčných ventilov distribuovaný do horáka prostredníctvom hadíc. Hadice pre kyslík a acetylén sú spevnené textilnou vložkou a sú navzájom odlišené farbou a svetlosťou. Kyslíkové hadice sú modrej farby so svetlosťou 6 mm, acetylénové hadice sú tehlovočervené a ich svetlosť je 8 mm. Minimálna dĺžka hadíc je 5 m.

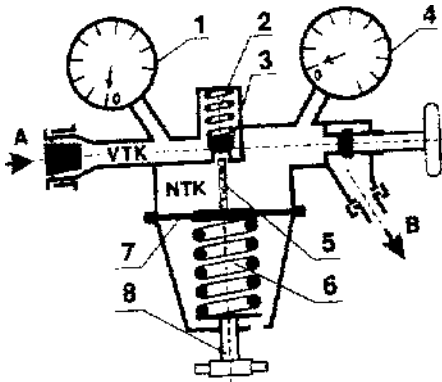
Hadice sú pripojené na horák. Úlohou horáka je homogenizovať zmes plynov, ktorá po zapálení vytvorí zvärací plameň.

**Horáky na zváranie plameňom je možné rozdeliť na dva typy:**

- vysokotlakové (bez injektorové)
- nízkotlakové (injektorové)

Nízkotlakové horáky, obsahujú na rozdiel od vysokotlakových, tzv. injektor. Princípom injektora je zúženie prietokového prierezu plynu, v dôsledku Čoho sa zvyšuje jeho prietoková rýchlosť a v jeho okolí dochádza k poklesu tlaku. Okolité plyn (acetylén) je tak prisávaný k plynu prúdiacemu injektorom (kyslík). V miešacej komore sa laminárne prúdenie zmesi plynov mení na turbulentné a horák opúšťa homogénna zmes plynov.

Horák na zváranie plameňom sa skladá z rukoväte, na ktorú sa presúvnou maticou pripieňuje nastavca horáka, ktorý je zakončený medenou špičkou (tryskou). Na rukoväti sú dva ventily, ktorými sa nezávisle reguluje prietokové množstvo kyslíka a acetylénu. Okrem toho je prietokové množstvo plynu obmedzené i veľkosťou nastavca horáka a jeho špičky. Podľa hrúbky zváraného materiálu je potom treba zvoliť i príslušnú veľkosť nádôUivca horáka.



Obr. 2.2. 8.2 Schéma redukčného ventilu s opačným vstupom

A- vstup plynu, 1 - vysokotlakový manometer, 2 - pružina, 3- škrtiaci ventil, 4-nízkotlakový manometer. 5- zdvíhací kolík, 6- vratná pružina, 7-membrána, 8-nastavovacia skrútk. B- výstup plynu, VTK- vysokotlaková komora, NTK-nízkotlaková komora

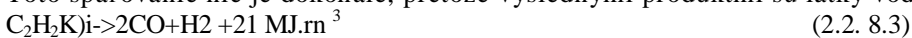
Obr. 2.2. 8.3 Schematické znázornenie princípu injektorového horáka



Obr. 2.2. 8.4 Schematické znázornenie princípu injektorového horáka



Toto spaľovanie nie je dokonalé, pretože výslednými produktmi sú látky vodík a oxid uhoľnatý:



Redukčný charakter tejto oblasti vyplýva práve z prítomnosti oxidu uhoľnatého a vodíka a roztavený kov je tak chránený pred oxidačným účinkom okolitej atmosféry. Oblasť je tvorená jasne ohraničeným a svietiacim kužeľom, za ktorým vo vzdialenosti 2 až 4 mm sa nachádza maximálna teplota plameňa, ktorá dosahuje asi 3150 °C. V druhej fáze spaľovania sa vodík a oxid uhoľnatý oxidujú na vodu a oxid uhličitý:

V tejto fáze sa na reakcii zúčastňuje už kyslík z okolitej atmosféry. Táto oblasť sa nazýva chvost plameňa, má oxidačný charakter, a tak nemôže chrániť roztavený kov pred vzdušným kyslíkom.

Vzhľadom na možnosť regulácie vzájomného pomeru kyslíka a acetylénu je možné nastaviť tri druhy plameňov,



líšiach sa podľa ich chemického zloženia:

Schematické znázornenie funkčného princípu injektorového horáka je na obr. 2.2. 8.3, bez injektorového na obr. 2.2. 8.4. Vysokotlakové horáky sa používajú menej často a vyžadujú špeciálny typ redukčných ventilov.

Zapálením kyslíkovo-acetylénovej zmesi vznikne zvärací plameň (obr. 2.2.8.5.). Spaľovanie acetylénu sa deje v dvoch oblastiach dvojfázovo. Prvá oblasť obsahuje produkty prvej fázy spaľovania a využíva sa v nej kyslík privedený do horáka.

- neutrálny,
- oxidačný,
- karburačný (nauhličujúci).

Pomer objemov kyslíka a acetylénu pre neutrálny plameň je až 1,2:1. Tento druh plameňa sa používa na zváranie uhlíkových ocelí. Má jasne svietiaci ohraničený zvärací kužeľ a na zváranie sa používa najčastejšie.

Ak sa zvýši pomer kyslíka k acetylénu viac ako 1,2:1, bude v zmesi viac kyslíka, ako je potrebné na I. fázu spaľovania. Prebytočný kyslík spaľuje oxid uhoľnatý na oxid uhličitý, redukčná oblasť sa úplne stratí a plameň sa stane oxidačný. Zvärací kužeľ je kratší, zahrotený a modrý. Na zváranie ocelí sa tento plameň nehodí, pretože na povrchu zváraných materiálov vytvára oxidy železa. Oxidačné vlastnosti plameňa je možné využiť pri zváraní mosadze, kedy vytvárajúca sa oxidická vrstvička zinku zabraňuje jeho vyparovaniu, (teplota tavenia zinku je doplniť oproti 1083°C pre meď) a tým i vzniku pórov vo zvare. Okrem mosadzí sa oxidačný plameň používa na zváranie niektorých druhov bronzov na rezanie kyslíkom.

Karburačný plameň sa dosiahne, ak pomer kyslíka k acetylénu klesne pod hodnotu 1:1. V tomto prípade je v zmesi prebytok acetylénu, ktorý sa nemôže spáliť s kyslíkom na oxid uhoľnatý a táto nespálená časť uhlíka dohorieva za účasti vzdušného kyslíka. Časť uhlíka prechádza do zvarového kovu spoja a nauhličuje ho. Na zváranie ocelí sa tento plameň nepoužíva, pretože nauhličením sa zvar stáva krehkým, tvrdým a pórovitým, čo negatívne ovplyvňuje jeho kvalitu. Nedostatok kyslíka v karburačnom plameni je možné využiť pre zváranie hliníka a jeho zliatin, (nehrozí vznik oxidu hlinitého, ktorý sťažuje zváranie), sivej liatiny a pri vytváraní tvrdonávarov.

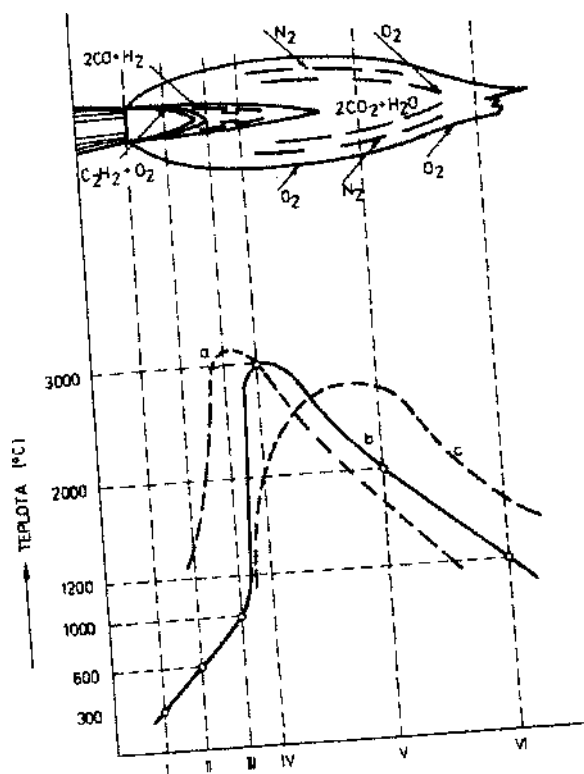
Vzájomný pomer kyslíka a acetylénu je možné dodržať i napriek rozdielnemu objemu horľavej zmesi, vychádzajúcej z dýzy horáka. Čím je zmesi viac, tým musí byť jej výstupná rýchlosť väčšia.

**Podľa výstupnej rýchlosti plynov z dýzy horáka môžeme zväracie plamene rozdeliť na:**

**plameň mäkký**, výstupná rýchlosť je medzi 70 až 100 m.s<sup>-1</sup>. Horí ticho, neviri zvarový kúpeľ, ale je náchylný na spätné stiahnutie. Používa sa na zváranie tenkých plechov, kovov s nižšou teplotou tavenia a v niektorých prípadoch na spájkovanie;

**plameň stredný**, výstupná rýchlosť je medzi 100 až 120 m.s<sup>-1</sup> Horí pokojne s miernym šumom, nieje náchylný na spätné šľahnutie a má nepatrný dynamický účinok na zvarový kúpeľ. V praxi sa používa najčastejšie;

**plameň ostrý**, výstupná rýchlosť je väčšia ako 120 m.s<sup>-1</sup> a je na hranici rýchlosti horenia. Vyznačuje sa veľkým dynamickým účinkom, rozvírovaním a prehrievaním zvarového kúpeľa. Z toho dôvodu sa tento plameň používa zriedkavo.



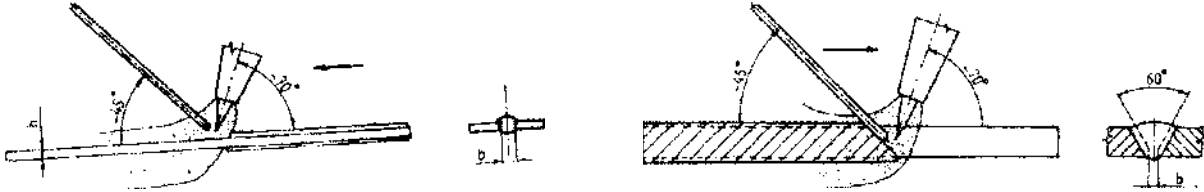
Obr. 2.2. S.5 Rozloženie teplôt vo zväraacom plameni  
 a - oxidačný plameň, b - neutrálny plameň, c ~ redukčný plameň

### Spôsoby zvárania

Pri zváraní plameňom sú najpoužívanejšie dva spôsoby: zváranie dopredu (doľava, ľavosmerné), zváranie dozadu (doprava, pravosmerné).

Pri zváraní dopredu (obr. 2. 2. 8. 6) prídavný materiál postupuje pred horákom v smere zvárania a v smere svojej osi sa striedavo ponára do tavného kúpeľa, kde sa odtavuje. Zvar je vystavený účinku okolitej atmosféry a rýchlejšie chladne. Z toho dôvodu sú väčšie i deformácie a nižšia kvalita zvaru. Používa sa pre materiál do hrúbky 4 mm.

Pri zváraní dozadu ( obr. 2. 2. 8. 7) je prídavný materiál umiestnený za horákom v smere zvárania, postupuje sa zľava doprava. Plameň smeruje na vznikajúci zvar, chráni ho pred oxidáciou a zabezpečuje jeho pomalšie chladnutie. Preto sú deformácie a prúta menšie a kvalita zvaru je vyššia.



### Parametre zvárania

Pod parametrami zvárania rozumieme tie veličiny, ktoré majú dominantný vplyv na výslednú kvalitu zvaru. Pri zváraní plameňom sú to:

Pracovný tlak kyslíka (0,3 až 0,5 MPa), pracovný acetylénu (0,1 až 0,15 MPa), druh plameňa, vzdialenosť horáka od základného materiálu, sklon horáka, rýchlosť zvárania a spôsob zvárania.

### Výhody technológie zvárania plameňom

Medzi výhody možno začleniť: nezávislosť od elektrickej energie, nízke náklady na zariadenie, využitie väčšej časti zariadenia pre naváranie i rezanie.

### Nevýhody technológie zvárania plameňom

Ako nevýhody možno spomenúť nízku produktivitu práce, veľkú tepelne ovplyvnenú oblasť, nemožnosť automatizácie

### Použitie technológie

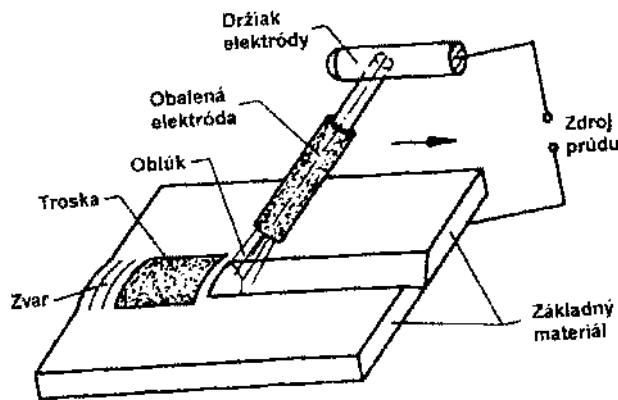
Technológia sa využíva najmä pri klampiarskych, vodoinštalačných a kúrenárskych prácach, kyslíkovo-acetylénový plameň tiež pri spájkovaní a rezaní materiálov kyslíkom.

### 2.2.9 ZVÁRANIE ELEKTRICKÝM OBLÚKOM

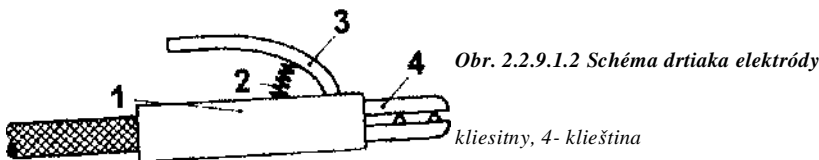
Technológie zvárania elektrickým oblúkom využívajú na roztavenie základného a prídavného materiálu teplo, vznikajúce horením elektrického oblúka. Elektrický oblúk by sa dal zjednodušene charakterizovať ako elektrický výboj v plyne. Ten vznikne za predpokladu, že zdroj prúdu je schopný dodať taký veľký prúd, že výkon premieňaný na teplo v zionizovanej dráhe postačuje na udržanie teploty potrebnej na tepelnú ionizáciu.

Vzhľadom na negatívny vplyv okolitej atmosféry na kvalitu vznikajúceho zvaru, je nevyhnutné zvar pred jej prítomnosťou chrániť. Na tento účel sa používa špeciálna zmes látok - obal, nanosená na kovovú elektródu, čím vznikne obalená elektróda. Zmes je možné vložiť i dovnútra tenkej rúrky (vonkajší priemer približne 1 mm), výsledkom čoho je elektróda rúrková. Ak sa obal na elektróde alebo v jej vnútri nenachádza, je nutné zabezpečiť ochranu nasýpaním tavného zvarovaného materiálu, (po jeho roztavení vznikne troska, ktorá zvarový kov spoja chráni), alebo použitím prídavnej ochrannej atmosféry. Ak elektróda slúži iba na vytvorenie oblúka medzi ňou a základným materiálom a sama sa netaví, hovoríme o netaviaci elektróde. Prídavný materiál sa potom pridáva do oblúka osobitne. Spôsob zapojenia elektródy na zdroj zvaracieho prúdu môže byť rôzny. Ak je elektróda zapojená na mínus pól zdroja a materiál na plus pól, hovoríme o priamej polarite. Ak sa elektróda zapojí na mínus pól zdroja a základný materiál na jeho kladný pól, jedná sa o nepriamu alebo tiež vrátenú polaritu. V prípade zapojenia na zdroj striedavého prúdu sa polarita periodicky mení, takže nemôžeme hovoriť ani o priamej, ani o nepriamej polarite, spôsob ochrany a tavenie elektródy umožňuje klasifikovať technológie oblúkového zvárania na jednotlivé kategórie. princíp technológie zvárania obalenou elektródou je na obr. 2.2.9.1.

Obr. 2.2.9.1.1 Schéma zvárania obalenou elektródou



priemeru jadra obalenej elektródy.



Obr. 2.2.9.1.2 Schéma drtiaka elektródy

Ako zdroj zvaracieho prúdu sa môže použiť zvarací transformátor, (vtedy sa zvara striedavým prúdom), alebo zvarací usmerňovač (zváranie jednosmerným prúdom). Prídavným materiálom pri tejto technológii zvárania sú obalené elektródy, ktoré sa upínajú do držiaka elektród (obr. 2.2.9.1.2). Druhý pól zdroja sa pripája svorkou (obr. 2.2.9.1.3) na základný materiál. Potrebný zvarací prúd závislý predovšetkým od hrúbky elektródy a hrúbky zvarovaného materiálu sa nastavuje na zdroji zvaracieho prúdu. Jeho hodnota sa pohybuje približne 40 A na milimeter

Zvarací zdroj musí mať strmú statickú charakteristiku, obr. 2.2.9.1.4. Statická charakteristika zdroja je závislosť zvaracieho napätia od zvaracieho prúdu. Prívlastok statická upresňuje, že sa táto závislosť nesleduje ako funkcia času. Strmá statická charakteristika zvaracieho zdroja zabezpečí, že pri zmene dĺžky oblúka (chvenie ruky zvarača, nerovnosti povrchu zvarovaného materiálu) sa zvarací prúd a teda i prievar zvaru menia minimálne.

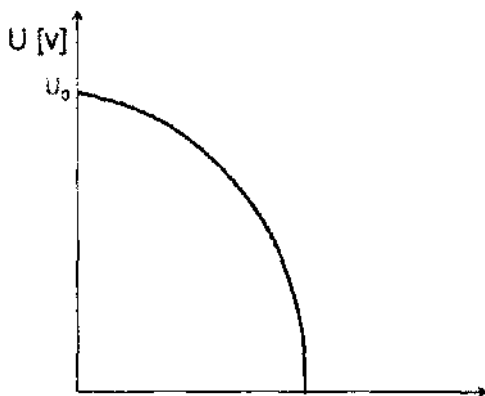
Obr. 2.2.9.1.4 Znárodnenie strmej statickej charakteristiky zdroja

$U_g$  - napätie naprázdno,  $I_K$  - prúd nakrátko

Na kovové jadro (drôt) je nanosený obal, ktorý plní elektrickú, fyzikálnu a metalurgickú funkciu.

**Na ich splnenie musí kovové jadro obsahovať nasledovné látky:**

- ionizačné, ktoré uľahčujú zapáľovanie a horenie elektrického oblúka, t. j. horenie oblúka stabilizujú
- plynotvorné, ktoré vyhorením vytvárajú ochrannú atmosféru proti vonkajšej atmosfére
- troskotvorné, ktoré sa teplom oblúka roztavia, obalia jednotlivé kvapky kovu a po ich prechode do kúpeľa z neho vyplávajú a vytvoria súvislú vrstvu trosky, čím chránia nielen tekutý zvarový kúpeľ, ale spomaľujú i jeho chladnutie,
- legujúce, ktorými je možné pokryť straty niektorých prvkov od prepalu v elektrickom oblúku, pôsobiť na metalurgické procesy, prípadne podľa požiadaviek upravovať chemické



zloženie zvarového kovu.

Z hľadiska ochrany zvarového kúpeľa a metalurgických procesov, prebiehajúcich medzi roztaveným kovom a troskou, je dôležité chemické zloženie obalu, t. j. či obsahuje kyslé, zásadité alebo neutrálne látky. Podľa tohto kritéria môžeme rozdeliť obalené elektródy na: elektródy s kyslým obalom. Navarená húsenica je plochá a má jemnú povrchovú kresbu. Zvarový kov je riedko tekutý, čo je nevýhoda pri zváraní v polohách. Tieto elektródy znášajú dobre prúdové preťaženie, je možné zvärať jednosmerným, (zapájajú sa na - pól), i striedavým prúdom.

elektródy s bázičným obalom. Tento obal zaisťuje elektródam vynikajúce plastické vlastnosti zvarového kovu a dobrú ovládateľnosť vo všetkých polohách. Na druhej strane je tento typ obalu náchylný k navíjaniu, a preto je potrebné elektródy pred zváraním sušiť pri vyšších teplotách ako ostatné elektródy (300-350°C/1 hod). Elektródami sa zvära po pripojení na + pól zdroja, a pri zváraní sa nesmú preťažovať.

elektródy s rutinovým obalom. Obsahujú oxid titaničitý (minerál rutil). Odtavujúci sa kov elektródy je hustejší, rýchlejšie tuhne, čo umožňuje preklenúť väčšie medzery. Vzhľadom na menší zavar sú tieto elektródy vhodné na zváranie tenších plechov. Pri zváraní sa používa jednosmerný (- pól) alebo striedavý prúd.

Okrem toho existujú elektródy s kombinovanými typmi obalov, spájajúce súčasne výhody viacerých typov obalov, (bázičko - rutilovým, kyslo - rutilovým a pod.) a elektródy so špeciálnymi typmi obalov, (napr. grafitovým, s obalom zo solí halových prvkov na zváranie hliníka).

#### **Parametre zvárania**

Hlavnými parametrami ručného oblúkového zvárania sú: zvärací prúd a jeho polarita, napätie, priemer elektródy a druh jej obalu, rýchlosť zvárania.

#### **Výhody technológie**

Z hlavných výhod je možné spomenúť široký sortiment zváraných a prídavných materiálov, nižšie ceny zväracích zariadení, značná univerzálnosť technológie (zváranie, naváranie, delenie materiálov)

#### **Nevýhody technológie**

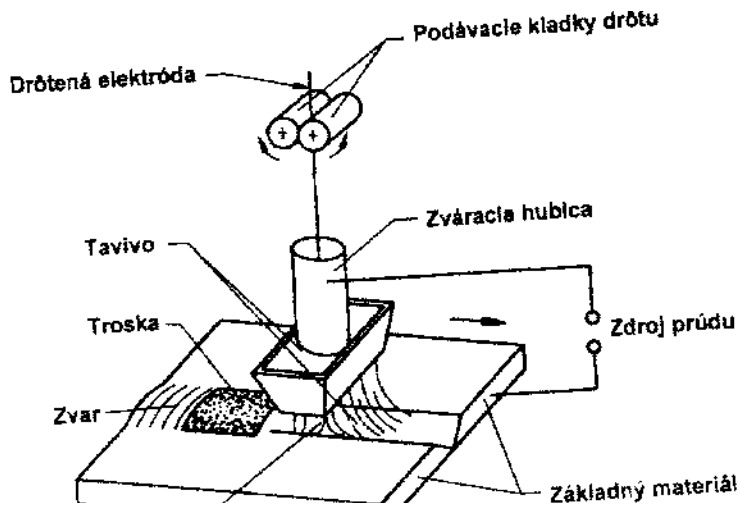
K nevýhodám patrí nízke využitie prídavného materiálu, nižšia produktivita práce, vyššie vedľajšie časy zvárania, nevhodnosť na automatizáciu, vyššia tvorba plyných splodín.

#### **Použitie technológie**

Zváranie rôznych typov oceľových konštrukcií (mostové konštrukcie, haly, kontajnery, mreže, rošty), spájanie oceľovej výstuže panelov, potrubí, plynovodov, ropovodov, vytváranie tvrdo návarov, renovácia opotrebených strojných súčastí

### 2.2.9.2 ZVÁRANIE POD TAVIVOM

Pri technológii zvárania pod tavivom horí oblúk medzi holou kovovou elektródou a základným materiálom pod vrstvou taviva nasýpaného do miesta zvaru. Roztavením taviva vzniká tekutá troska, ktorá má podobné funkcie ako troska vzniknutá roztavením obalu elektródy. Na rozdiel od obalenej elektródy je elektróda pre zváranie pod tavivom holá a je navítená na cievke vo forme drôtu. Elektródu pri zváraní kontinuálne do zvaru podáva podávacie zariadenie. Schéma zariadenia na zváranie pod tavivom a jeho základné časti sú na obr. 2.2.9.2.1. Tavivo sa do miesta zvaru sype z násypky, pričom nespotrebované tavivo je možné znovu použiť.



Oblúk ■ 2.2.9.2.1 Principiálna schéma zvárania pod tavivom

oblúku a zmenou rýchlosti podávania drôtu mení na požadovanú hodnotu i dĺžku oblúka. Typické hodnoty zvaracích prúdov sa pri zváraní pod tavivom pohybujú okolo 1000 A.

Pri zváraní obalenými elektródami je obal neoddeliteľnou súčasťou celej elektródy. Podobne je tomu i pri zváraní pod tavivom, kde výrobca prídavného materiálu predpisuje pre daný prídavný materiál i vhodné tavivo. Prídavný materiál sa, samozrejme, volí podľa typu základného materiálu.

Tavivá môžu byť podľa svojho spôsobu výroby rozdelené na keramické, (pri výrobe sa spája prášková zmes pomocou spojív- podobne ako pri obaloch elektród), tavené, (roztavená zmes taviva sa odlieva do vody, čím sa vytvárajú jeho zrnká), sintrované, (podobná výroba ako u keramických ta vi v, ale k spojeniu dochádza za pôsobenia tepla a tlaku) a aglomerované (obdoba sintrovaných, s tým rozdielom, že sa na spojenie zmesi nepoužíva tlak). Ďalšie klasifikácie tavív vychádzajú z ich chemického zloženia, štruktúry povrchu a metalurgického pôsobenia.

#### Parametre zvárania

Hlavné parametre zvárania sú: zvarací prúd, napätie, priemer elektródy, rýchlosť zvárania, rýchlosť podávania drôtu, vyloženie voľného konca elektródy. K týmto parametrom pristupujú sekundárne parametre, medzi ktoré je možné zaradiť uhol sklonu elektródy, resp. zvaru a hrúbku tavivovej vrstvy.

**Výhody technológie** Technológia zvárania pod tavivom je technológia oblúkového zvárania s najvyšším výkonom navarenia (kg navareného kovu za jednotku času) a rýchlosťou zvárania spomedzi všetkých oblúkových technológií zvárania. Zvarový kov má výbornú kvalitu, povrch zvaru je hladký, bez rozstreku. Pri zváraní sa generuje minimálne množstvo plynných splodín, je odstránený svetelný efekt, (zvára sa pod vrstvou taviva), dosahuje sa vysoké využitie elektródy, vysokým stupňom automatizácie je možné znížiť požiadavky na kvalifikáciu obsluhy.

**Nevýhody technológie** Z nevýhod je možné spomenúť veľké množstvo tepla vnesené do zvaru (tepelný príkon) a z toho vyplývajúcu širokú tepelne ovplyvnenú oblasť, nemožnosť kontroly výplne koreňa zvaru, (zvára sa pod vrstvou taviva), a komplikácie pri zváraní v polohách iných ako PA a PC.

**Použitie technológie** Technológia zvárania pod tavivom sa využíva pri zváraní rozmernejších zvarov, napr. tlakových nádob, reaktorov, rámov strojov, častí obrnených vozidiel, zváranie lodí, rámov strojov atď. Príbuzným procesom je naváranie pod tavivom, kde sa často namiesto drôtu využíva elektróda vo forme kovovej pásky.

Pri zváraní pod tavivom sa používa jednosmerný prúd (+ pól je na elektróde) i striedavý prúd. Jednosmerné zdroje zvaracieho prúdu do 3,2 mm majú plochú statickú charakteristiku, zdroje na striedavý prúd a zdroje na jednosmerný prúd pre elektródy hrubšie ako 4 mm majú statickú charakteristiku strmú.

Pri plochej statickej charakteristike klesá napätie pri vzrastajúcom zvaracom prúde pozvoľne, čo pri konštantnej rýchlosti podávania drôtu umožňuje automaticky stabilizovať dĺžku oblúka. Princíp samoregulácie dĺžky oblúka bude vysvetlený v kapitole zvárania v ochranných atmosférach plynov.

Dĺžka oblúka môže byť tiež regulovaná riadiacim systémom zvaracieho zariadenia, ktorý monitoruje napätie na

### 2.2.9.3 ZVÁRANIE V OCHRANNÝCH ATMOSFÉRACH PLYNOV

Nutnosť odstraňovania trosky z vyhotoveného zvaru viedla konštruktérov a technológov k zavedeniu plynovej ochrany zvarového kúpeľa. Vznikli tak rôzne modifikácie zvárania elektrickým oblúkom v ochranných atmosférach plynov.

#### ZVÁRANIE TAVIACOU SA ELEKTRÓDOU V OCHRANNEJ ATMOSFÉRE PLYNOV

Pri tejto technológii sa využíva na tavenie teplo elektrického oblúka horiaceho medzi taviacou sa kovovou elektródou a základným materiálom, pričom ako ochrana sa vhodný plyn alebo zmes plynov.

Na skrátene označenie tejto technológie sa vžili skratky GMAW (Gas Metal Arc Welding), alebo MAG (Metal Active Gas) resp. MIG (Metal Inert Gas). Všetky tri typy skratiek symbolizujú oblúkové zváranie taviacou sa elektródou, skratky MAG a MIG navyše hovoria o type ochranného plynu (active = aktívny plyn, inert = inertný plyn),

Schéma zvárania GMAW je na obr. 2.2.9.3.1.

Vzhľadom na to, že prídavný materiál je vo forme drôtu navinutý na cievke, je zvaracie zariadenie, (podobne ako u zvárania pod tavivom), doplnené o podávač drôtu, ktorého úlohou je nastavenou rýchlosťou posúvať prídavný materiál do miesta zvaru. Podávač drôtu môže byť súčasťou zvaracieho zdroja, alebo môže byť situovaný oddelene.

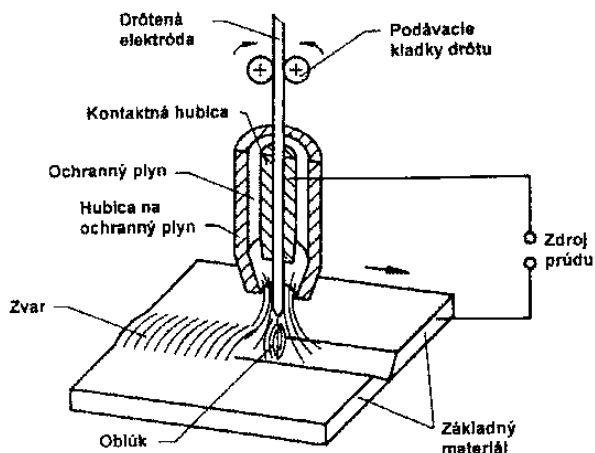
Pri zváraní sa využíva jednosmerný prúd, elektróda sa zapája na + pól zdroja, od ktorého sa požaduje plochá statická charakteristika. Pri nej je zabezpečená samoregulácia dĺžky oblúka (obr. 2.2.9.3.2). Princíp samoregulácie je založený na konštantnej rýchlosti podávania drôtu a pozvoľne klesajúcom napätí pri zvyšujúcom sa prúde. Pri danej dĺžke oblúka li sa zvara pri parametroch daných pracovným bodom P<sub>1</sub>. Ak sa z nejakého dôvodu dĺžka oblúka zväčší na hodnotu  $h$ , (napr. zvarač jemne oddialí horák od zvaru), pracovný bod sa posunie z miesta P<sub>1</sub> do miesta P<sub>2</sub>. Tým však zároveň dôjde k zmene parametrov na hodnoty  $U_2$  a  $I_2$ , pričom platí, že  $U_2 > U_1$  a  $I_2 < I_1$ . Zmenšením zvaracieho prúdu sa spomalí odtavovanie elektródy, čo pri jej konštantnej rýchlosti podávania bude mať za následok postupné skracovanie dĺžky oblúka na hodnotu  $h$ , ktorému zodpovedajú pôvodné parametre dané bodom P<sub>1</sub>.

V súčasnosti čoraz širšie uplatnenie nachádzajú pulzné zdroje zvaracieho prúdu. Pri zváraní pulzným prúdom (obr. 2.2.9.3.3) dochádza ku kontrolovanému odtavovaniu elektródy vo forme kvapiek, pričom ich frekvencia zodpovedá frekvencii pulzov (rádovo desiatky až stovky Hz).

Výhody pulzného spôsobu zvárania spočívajú hlavne v zníženom tepelnom príkone, v dôsledku čoho sú vo zvarových spojoch menšie deformácie a pnutia, menšom rozstrekú zvarového kovu a možnosti zväť v polohách.

Najčastejšie sa používajú drôty priemerov 0,8 až 1,6 mm a ich povrch býva pomedený (zlepšený kontakt, vyššia korózná odolnosť pri skladovaní). Hmotnosť cievky s drôtom je 15 kg. Výmena cievky nastáva teda až po vytavení 15 kg zvarového kovu, na rozdiel od obalených elektród, kde sa z jednej elektródy vytaví maximálne niekoľko desiatok gramov zvarového kovu.

Plyny, používané na zváranie GMAW, sú podobne ako plyny na zváranie plameňom uchovávané v tlakových fľašiach štandardného objemu 40, resp. 50 l, s plniacim tlakom 20 alebo 30 MPa. I pri zváraní GMAW je nutné použiť redukčný ventil na nastavenie potrebného množstva ochranného plynu. Jeho odlišnosť od redukčných ventilov pre zváranie plameňom je v tom, že manometer na nízkotlakovej komore je nahradený prietokomerom. Na ňom sa nenastavuje tlak, ale priamo prietokové množstvo ochranného plynu v l/mín.

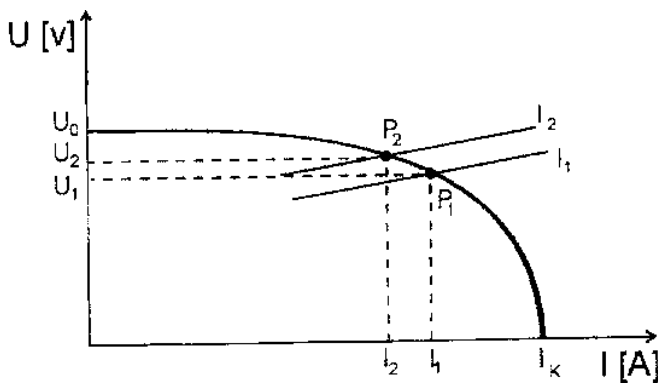
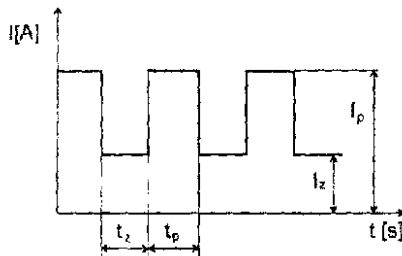


Obr. 2.2.9.3.1 Schéma zvárania GMAW

Najstarším aktívnym plynom, používaným na zváranie MAG, je oxid uhličitý. Jeho výhodou je nízka cena a hlboký prievar. Nevýhodou je značný rozstrek a stabilita oblúka v úzkom rozmedzí parametrov. Z týchto dôvodov sa začali na zváranie používať tzv. zmesné plyny. Ide o zmes tvorenú argónom, oxidom uhličitým, kyslíkom a héliom. Podľa počtu zložiek plynov v zmesi hovoríme o dvojjložkových, trojjložkových a štvorjložkových zmesiach. Niektoré zložky sú inertné, iné naopak aktívne. Výsledné zloženie zmesi je potom určené na zváranie konkrétneho typu materiálu, napr. nelegovaných ocelí, nízkoalegovaných ocelí, vysokoalegovaných ocelí, hliníka a pod. Ochranný plyn tak priamo vplyva na kvalitu výsledného zvarového spoja, hladkosť povrchu zvaru a jeho okolia, tvar rozmeru a prierez zvaru a ďalšie deje prebiehajúce pri zváraní

*Obr. 2.2.9.3.3 Idealizovaný priebeh prúdu pri impulznom zváraní*

*$I_z$ -základný prúd,  $I_p$ -pulzný prúd,  $t_z$ -čas trvania základného prúdu,  $t_p$ -dĺžka trvania pulzného prúdu*



*Obr. 2.2.9.3.2 Princíp samoregulácie dĺžky oblúka*

Horáky používané na zváranie sa delia na ručné a strojné a podľa typu ich chladenia na chladené vzduchom a chladené vodou. Vnútro horáka sa do neho privádza prídavný materiál, jeden z prívodov zvaracieho prúdu, ochranný plyn a v prípade chladenia vodou i chladiaca voda. K zapáľovaniu oblúka dochádza použitím vysokofrekvenčného prúdu, ktorý zionizovateľným prostredím umožní vznik ionizačnej iskry medzi elektródou

a základným materiálom. Zapálenie oblúka, podávanie drôtu a prívod ochranného plynu sú vzájomne presne sfázované a riadené riadiacou jednotkou zvaracieho zariadenia. Začiatok a koniec zvárania ovláda zvarač tlačidlom na horáku. Riadenie priebehu zvárania môže byť dvojtaktné alebo štvortaktné.

Pri dvojtaktnom riadení sa pri stlačení spínača na horáku spustí prívod ochranného plynu (predfúk), zapáli sa oblúk a začne sa podávať prídavný materiál. V okamihu uvoľnenia spínača (druhý takt) sa posuv drôtu zastaví, vypne sa zvarací prúd a po určitý čas ešte prúdi horákom na zvarovú húsenicu ochranný plyn (tzv. dofuk).

Pri štvortaktnom riadení netreba počas zvárania držať neustále stlačený spínač. Prvý takt spočíva v stlačení tlačidla horáka, čím dôjde k spusteniu predfuku. Po uvoľnení tlačidla (druhý takt) sa zapáli oblúk a začne sa podávanie prídavného materiálu. Na ukončenie zvárania sa opäť stlačí tlačidlo (tretí takt), čím dôjde k zastaveniu posuvu drôtu a vypnutiu prúdu a po pustení tlačidla (štvrtý takt) sa aplikuje na zvar dofuk.

**Parametre zvárania** Hlavnými parametrami zvárania sú zvarací prúd a napätie, druh a množstvo ochranného plynu, priemer drôtu, rýchlosť podávania drôtu, dĺžka voľného konca elektródy a rýchlosť zvárania.

**Výhody technológie** Ako výhody technológie je možné uviesť vysoký výkon navarenia, veľké využitie prídavného materiálu, pri zváraní nevzniká troska, ktorú by bolo potrebné odstraňovať, znížené množstvo plynných splodín, ľahká automatizovateľnosť procesu, (technológia sa používa i pri zváraní priemyselnými robotmi), technológia je ľahko osvojiteľná zvaračom a je značne univerzálna.

**Nevýhody technológie** Za nevýhody je možné považovať vyššie počiatkové investície do zvaracích zariadení ochranných plynov a prídavných materiálov, zmena priemeru elektródy vyžaduje zmenu podávačích kladiek v podávači.

**Použitie technológie** Technológia nachádza uplatnenie všade tam, kde sa vyžaduje vysoká produktivita práce a kvalita zvarov- zváranie tlakových a reaktorových nádob, potrubí, prútových konštrukcií, nosníkov a pod.



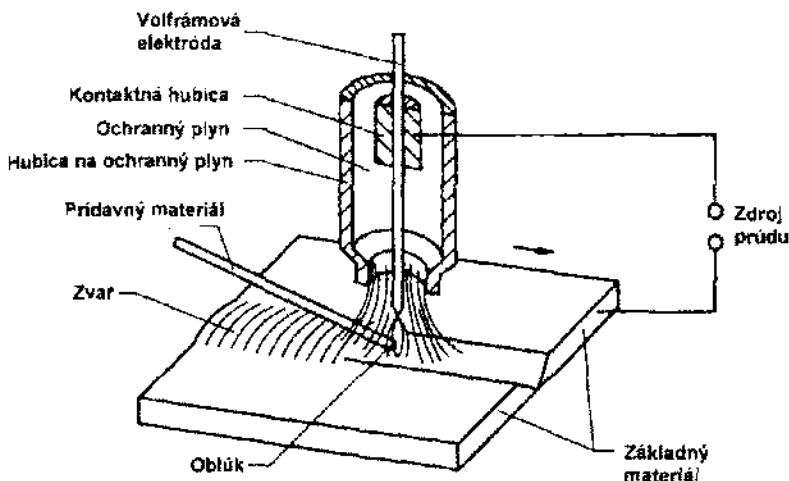
## ZVÁRANIE NETAVIACOU SA ELEKTRÓDOU V OCHRANNEJ ATMOSFÉRE PLYNOV

Technológia zvárania netaviacou sa elektródou sa líši od ostatných technológií zvárania elektrickým oblúkom tým, že elektróda nieje zároveň i prídavným materiálom. Elektróda sa využije iba na vytvorenie oblúka medzi ňou a základným materiálom, prídavný materiál sa pridáva do zvarového kúpeľa pri ručnom zváraní podobne ako pri zváraní plameňom. Skratka označenia tejto technológie **TIG** (Tungsten Inert Gas) vychádza z anglického termínu pre volfrám (tungsten), pričom v krajinách s úradným jazykom nemeckým sa je možné stretnúť i so skratkou **WIG** (Wolfram Inert Gas), pričom obe označujú tú istú technológiu. Okrem toho sa používa i skratka **GTAW** (Gas Tungsten Arc Welding). Na rozdiel od technológie **GMAW** sa pri technológii GTAW používa výhradne inertná ochranná atmosféra. Princíp zvárania TIG je na obr. 2.2.9.3,4.

Zdroje zváracieho prúdu umožňujú zváranie jednosmerným i striedavým prúdom a majú strmú statickú charakteristiku.

Druh elektrického prúdu sa volí podľa potreby tzv. Čistiaceho účinku elektrického prúdu. Čistiaci efekt sa používa pri zváraní kovov s vysokou afinitou ku kyslíku a ich zliatin (hliník, titán, horčík), ktoré sa už pri normálnej teplote pokrývajú vrstvičkou oxidu s vysokou teplotou tavenia (viac ako 2000°C). Tá sa roztaví oveľa neskôr ako vlastný materiál, čím bráni spojeniu zváraných materiálov. Na roztavenie oxidov pri nižších teplotách nutné použiť špeciálne pasty, alebo využiť už spomenutý čistiaci účinok zváracieho prúdu. Princíp je založený na zapojení elektródy na + pól zdroja (nepriama polarita), kedy kladné ióny plynu ochranné atmosféry bombardujú katódu (základný materiál) a svojou kinetickou energiou rozrušujú vytváranú oxidickú vrstvu. Pri nepriamej polarite dochádza však k prehrievaniu elektródy a zároveň sa dosahuje i menší prievar. Pre zváranie ľahkých kovov sa preto s výhodou používa striedavý prúd, kedy v jednej polperióde sa dosahuje čistiaci efekt a v druhej väčší prievar.

Pri zváraní všetkých ostatných materiálov (meď a jej zliatiny, vysokolegované ocele) sa používa jednosmerný prúd s priamou polaritou, (elektróda je zapojená na - pól). V tomto prípade sa asi 1/3 tepla vyvíja na elektróde a 2/3 na základnom materiáli, pričom teplota elektródy dosahuje 3000 až 3500°C.



Obr. 2.2.9.3,4 Schematické znázornenie zvárania GTAW

Z toho dôvodu musí byť elektróda z materiálu s vysokou teplotou tavenia. Používajú sa elektródy z čistého volfrámu, volfrámové elektródy s prídavkom oxidu tória, zirkónia, lantánu a céru. Prídávaním oxidov týchto prvkov sa zvýši emisia elektrónov a tým i stabilita oblúka, najmä pri nízkych prúdových hodnotách. Tórované elektródy sa odporúčajú na zváranie jednosmerným prúdom, zirkóniovane sú určené predovšetkým na zváranie striedavým prúdom hliníka, horčíka a ich zliatin. Priemer elektród je najčastejšie v rozmedzí 1 až 5 mm, maximálny zvárací prúd môže dosiahnuť až 950 A, (pri zváraní jednosmerným prúdom priamou polaritou je zvárací prúd približne 100 A na 1mm priemeru tórovannej elektródy, resp. 75 A pri elektróde z čistého volfrámu). Koniec elektródy musí mať pre správne horenie oblúka požadovaný tvar (obr. 2.2.9.3.5).

Okrem zvárania jednosmerným a striedavým prúdom sa používa pri TIG zváraní i zváranie pulzným jednosmerným prúdom s frekvenciou pulzov pohybujúcou sa rádovo v jednotkách Hz. Tento spôsob dovoľuje účinne ovplyvňovať kryštalizáciu zvarového kovu, je možné ním dosiahnuť malý stupeň premiešania a zaručuje dobré operatívne vlastnosti.

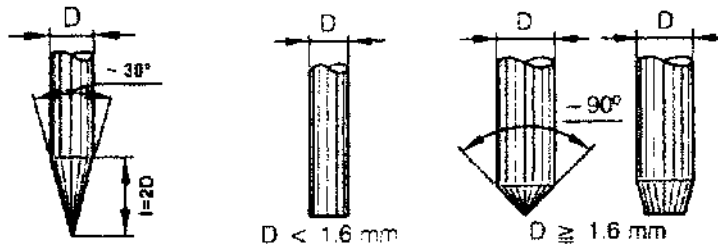
Pri veľkých zváracích prúdoch je nevyhnutné elektródu a horák chladiť. To sa môže uskutočňovať buď vzduchom, (pre prúdy menšie ako 150 A, pri väčších prúdových hodnotách sa používa na chladenie voda).

Ochranné plyny na zváranie TIG sú na báze argónu a hélia alebo ich zmesi, prípadne zmesi argónu s vodíkom. Dodávajú sa v tlakových fľašiach, pričom je dôležitá ich vysoká čistota. Redukčný ventil, podobne ako pri zváraní GMAW, je vybavený prietokomerom.

Prídavným materiálom je väčšinou drôt priemeru 1,5 až 5 mm vo forme tyčiek pri jeho ručnom podávaní, pri mechanizovanom podávaní drôt priemeru 0,8 až 2,4 mm navinutý na cievke. Chemické zloženie prídavného materiálu je blízke chemickému zloženiu základného materiálu.

### Parametre zvarania

V prípade ručného zvarania sú parametrami zvariací prúd, napätie, priemer, typ a vyloženie elektródy, polarita prúdu, prietokové množstvo ochranného plynu a jeho druh, priemer dýzy horáka, vzdialenosť horáka od základného materiálu, rýchlosť zvarania, priemer a chemické zloženie prídavného materiálu. V prípade zvarania s mechanizovaným podávaním drôtu pribudne k uvedeným parametrom rýchlosť podávania drôtu.



Pre jednosmerný prúd

Pre striedavý prúd

Obr. 2.2.9.3.5 Tvary konca elektród pre zvaranie GTA W

**Výhody technológie** Medzi hlavné výhody patrí možnosť zvärať tenké materiály a materiály citlivé na oxidáciu, dosahovanie vysokej kvality zvarov, zvaranie v polohách, absencia rozstreku, čistý a hladký povrch zvaní, (netvorí sa troska), minimum plyných splodín, možnosť mechanizácie a robotizácie.

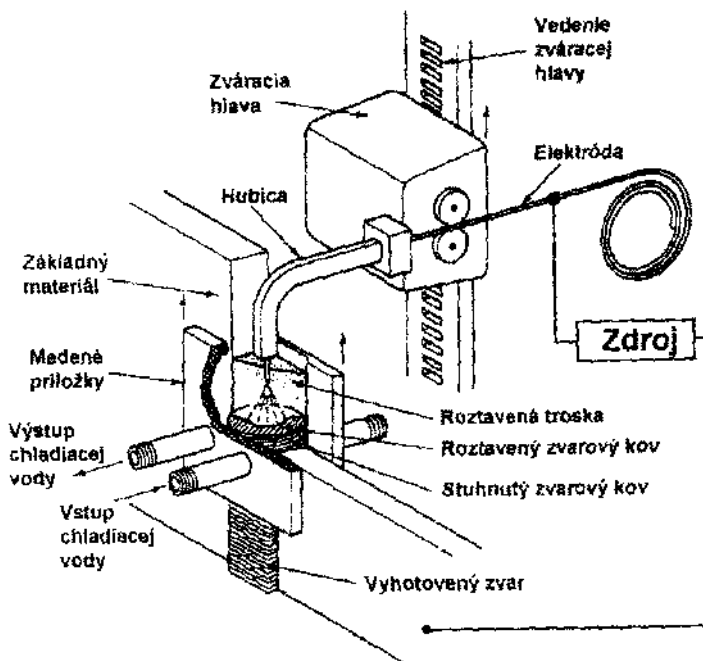
**Nevýhody technológie** Nižšia produktivita práce v porovnaní so zvaraním GMAW, vysoká cena zvariacích zariadení, vysoká cena ochranných plynov.

**Použitie technológie** Technológia zvarania TIG nachádza široké uplatnenie v energetike, chemickom priemysle, letectve a kozmickom priemysle, najmä pri zváraní nehrdzavejúcich ocelí, hliníkových, medených a niklových zliatin, zliatin titánu azirkónia. Okrem toho nachádza uplatnenie pri renovácii strojných súčastí.

### 2.2.10 ELEKTROTROSKOVÉ ZVÁRANIE

Technológia elektrotroskového zvárania alebo tiež zvárania pod roztavenou troskou využíva na tavenie prídavného a základného materiálu teplo vytvárajúce sa prechodom elektrického prúdu cez roztavenú trosku. Na rozdiel od ostatných technológií zvárania, kde sa prednostne používa poloha zvárania PA, pri elektrotroskovom zváraní sa zvara vo zvislej polohe zdola nahor (poloha PF). Proces začína ako oblúkový, pri ktorom sa teplom z oblúka roztaví prídavný materiál a tavivo, čím sa vytvorí zvarový kúpeľ, na ktorom pláva súvislá vrstva roztavenej trosky. V okamihu, keď sa stúpajúca hladina roztavenej trosky dotkne konca elektródy, oblúk zhasne a ďalšie tavenie prídavného materiálu prebieha na základe tepla vytváraného prechodom elektrického prúdu cez roztavenú trosku. Elektrotroskové zváranie nie je teda oblúkový, ale odporový proces využívajúci k svojej činnosti roztavenú trosku. Okrem generovania tepla a vedenia elektrického prúdu troska chráni zvarový kov pred okolitou atmosférou, čistí ho a stabilizuje proces zvárania.

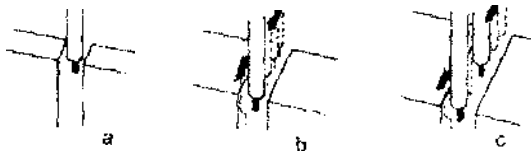
Princíp elektrotroskového zvárania je na obr. 2.2. 10.1. Z obrázka vyplýva, že sa jedná o mechanizovaný spôsob zvárania, pri ktorom sa zvara smerom zdola nahor. Na zabránenie vytečenia roztaveného kovu a trosky zo zvarovej medzery sa používajú medené príložky, pohybujúce sa zdola nahor pozdĺž zváraných materiálov. Ich ďalšia funkcia spočíva vo formovaní povrchu zvaru a jeho chladení. K chladeniu príložiek sa používa voda, pričom chladiaci okruh môže byť koncipovaný ako otvorený alebo uzavretý.



Obr. 2.2. 10.1 Principiálna schéma elektrotroskového zvárania s neodtavujúcou sa hubicou

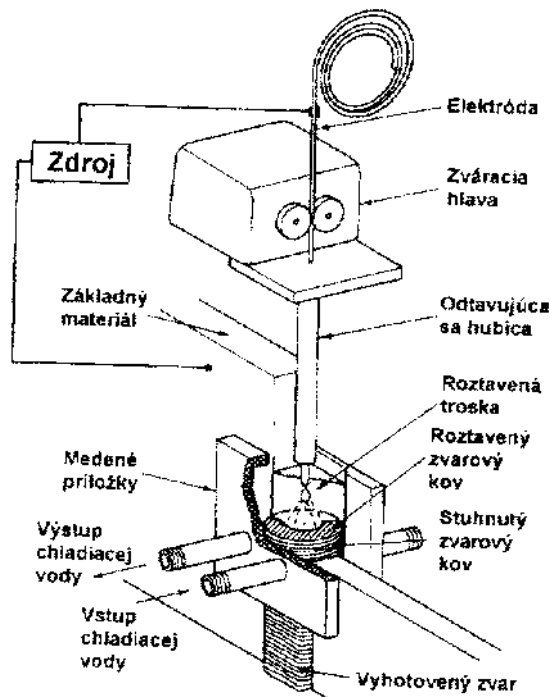
Zdroje zvaracieho prúdu musia byť dimenzované na dlhodobé zaťaženie, pretože vzhľadom na veľké objemy zvarového kovu je rýchlosť zvárania nízka. Používa sa striedavý prúd, najmä pri systéme zvárania s tromi elektródami, kedy je každý drôt pripojený na jednu fázu. Statická charakteristika zdroja musí byť plochá. Hodnoty zvaracieho prúdu sa pohybujú v rozmedzí 400 až 800 A na jednu elektródu.

Zvýšenie výkonu navarenia, požadované pri zváraní väčších hrúbok je možné dosiahnuť pridaním ďalších elektród a zavedením oscilačného pohybu v smere hrúbky zváraných materiálov (obr. 2.2. 10.2).



Obr. 2.2. 10.2 Použitie viacerých elektród u ich oscilácia

Okrem toho je možné použiť spôsob elektrotroskového zvárania s odtavujúcou sa hubicou (obr. 2.2. 10.3). Hubica je z rovnakého materiálu ako prídavný materiál a najčastejšie má tvar rúrky. Zvaracia hlava sa nepohybuje a pri zváraní sa taví prídavný materiál spolu s hubicou. Výsledkom je zvýšený výkon navarenia.



Obr. 2.2, 10.3 Schéma elektrotroskového zvarovania s odtavujúcou sa hubicou

Pri použití odtavujúcej sa hubice sa používajú jednosmerné zdroje zvaracieho prúdu a elektróda sa zapája na kladný pól zdroja.

Prídavný materiál je vo forme drôtu navinutý na cievke a podávaný do kúpeľa podávacím zariadením s nastaviteľnou rýchlosťou podávania.

**Parametre zvarovania** Hlavnými parametrami zvarovania sú zvarací prúd, napätie, priemer a rýchlosť podávania drôtu a rýchlosť zvarovania, k vedľajším patrí elektrická vodivosť trosky, výška troskového kúpeľa, počet elektród, vyloženie elektródy, vzdialenosť medzi elektródami, rýchlosť a dĺžka vľatného pohybu.

**Výhody technológie** Najväčšou výhodou je vysoký výkon navarenia (až 20 kg zvarového kovu za hodinu pre 1 elektródu). Okrem toho medzi výhody možno

počítať hladký povrch zvaru, absenciu rozstrelu a svetelného žiarenia, vysoké využitie prídavného materiálu, zvarovanie veľkých hrúbok na jeden prechod, mechanizáciu procesu a z nej vyplývajúce nižšie kvalifikačné požiadavky na obsluhu.

**Nevýhody technológie** Vzhľadom na veľké objemy roztaveného kovu je za jednu z najväčších nevýhod počítaná široká teplom ovplyvnená oblasť a hrubozrnná štruktúra zvarového kovu spoja. Za ďalšiu nevýhodu je možné považovať obmedzenie zvarovania iba na zvislú polohu a rozšírenie technológie iba na zvárame ocelí.

#### Príklady použitia

Technológia elektrotroskového zvarovania je vhodná na zvarovanie veľkých hrúbok uhlíkových, nízkolegovaných a niektorých typov nehrdzavejúcich ocelí. Maximálna zváraná hrúbka sa pohybuje v stovkách milimetrov, v literatúre sa uvádza príklad zvarovania hrúbky steny až 950 mm. Dĺžka zvaru, (pri zvaraní vo zvislej polohe reprezentovaná vlastne jeho výškou), môže byť až niekoľko metrov. Z toho dôvodu nachádza technológia uplatnenie pri zvaraní veľkorozmerných súčiastok, ako napr. rámy lisov, podzostavy ocelových konštrukcií a budov, telesá veľkých elektromotorov, reaktorové nádoby a pod. Významnú úlohu zohráva modifikácia tejto technológie vo forme elektrotroskového navárania, ktorým je možné vytvárať funkčné plochy definovaných vlastností, napT. na opotrebovaných valcoch valcovacích stolíc.

### 2.2.11 ODPOROVÉ ZVÁRANIE

Všetky časti, ktorými preteká elektrický prúd, s výnimkou supravodičov, sa ohrievajú. Takto vznikajúce teplo je často nežiadúce, pretože aby sa zabránilo poruche zariadenia, je ho potrebné chladiť, na čo sa zasa spotrebuje ďalšia energia. Druhou stranou tejto mince sú prípady, kedy vznik tepla cielene využívame, napr. v elektrických ohrievačoch, varičoch a peciach. Medzi tieto zariadenia patria i odporové zväračky.

Presný termín vyjadrujúci podstatu tejto technológie by mal byť elektrické odporové zváranie, avšak zaužíval sa skrátený termín odporové zváranie. Podstatou procesu je ohrev zváraných materiálov prechádzajúcim elektrickým prúdom za súčasného pôsobenia prítlačnej sily. Od ostatných technológií sa odporové zváranie odlišuje tromi znakmi: teplo sa neprivádza zvonku, (ako je tomu pri iných tavných technológiách, napr. zváraní plameňom a elektrickým oblúkom), ale vytvára sa priamo v spoji na vznik zvaru je nutné použiť silu pri zváraní sa nepoužíva prídavný materiál. Základné rozdelenie odporového zvárania je nasledovné:

- bodové
- švové
- výstupkové
- stykové (stlačením, odtavením)

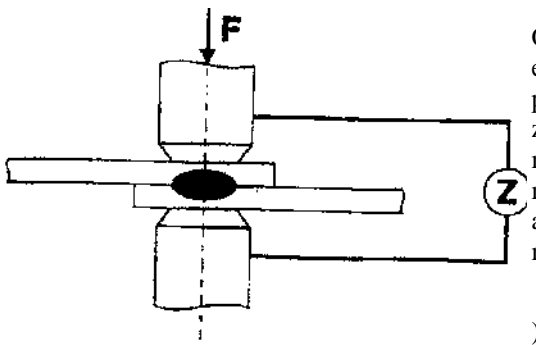
Množstvo generovaného tepla od prechádzajúceho elektrického prúdu vyjadruje známy Joule-Lencov zákon:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \text{ [J]}$$

kde R je odpor v ohmoch, I- prúd v ampéroch, t --- čas v sekundách.

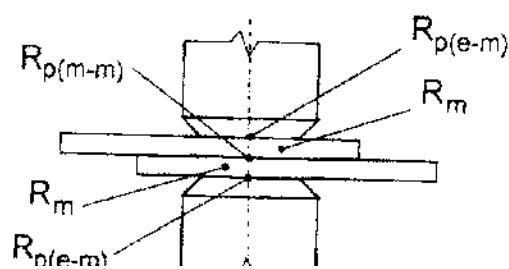
#### BODOVÉ ZVÁRANIE

Zvárané materiály (plechy) sa stlačia medenými tyčovými elektródami, ktoré sú pripojené na sekundárny obvod zväracieho transformátora. Ten pozostáva zo sekundárneho závitú zväracieho transformátora, z prívodov, z elektród a zváraných dielcov. Prechádzajúcim prúdom sa zohrievajú všetky časti obvodu, ale najviac tepla sa vytvára v mieste s najväčším odporom, ktorým sú dotýkajúce sa zvárané materiály. Pripojením transformátora na elektrickú sieť začne pretekať primárnym okruhom zväracieho transformátora elektrický prúd, ktorý indukuje zvärací prúd v sekundárnom obvode. Veľkosť zväracieho prúdu je taká veľká, že zvárané miesta sa zohrejú na zväraciu teplotu v priebehu niekoľkých desiatín sekundy. Odpojením transformátora od siete sa preruší zároveň i prívod zväracieho prúdu, v dôsledku čoho roztavený alebo vysokozohriaty základný materiál oboch spájaných dielcov za spolupôsobenia prítlačnej sily stuhne. Výsledný zvar má tvar šošovky. Princíp bodového odporového zvárania je na obr. 2.2. 11,1.



Obr. 2.2. 11.1 Princíp bodového odporového zvárania

Odpor vo vzťahu (2.2.11.1) je celkový odpor, ktorý kladú elektródy a zváraný materiál prechádzajúceho prúdu. Skladá sa z prechodových odporov (prechodové odpory medzi elektródami a zváranými materiálmi, prechodové odpory medzi zváranými materiálmi) a materiálových odporov, (odpory zváraných materiálov dané ich fyzikálnymi vlastnosťami a hrúbkou a odpory zväracích elektród). V prípade zvárania rovnakých materiálov a zanedbania



Obr. 2.2. 11.2 Druhy odporov pri bodovom zváraní

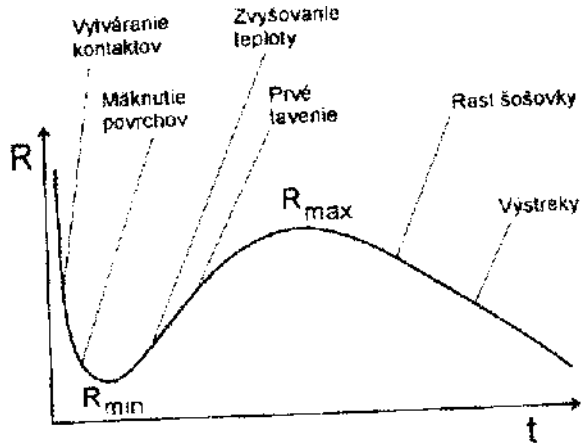
Snahou pri zváraní je maximalizovať prechodový odpor medzi e a odpor R vyjadriť vzťahom: zváranými materiálmi, (práve v tomto mieste sa požaduje maximálna tvorba tepla), minimalizovať prechodové odpory medzi elektródami a zváranými materiálmi.

Prechodové odpory závisia najmä od stavu povrchu zváraných materiálov a elektród, t. j. úrovne ich znečistenia a drsnosti povrchu.

Celkový odpor nie je počas zväracieho cyklu konštantný (obr.

2.2.11.3). Po dosadnutí elektród na zvárané materiály sa realizuje dotyk iba v miestach najväčších povrchových nerovností. S pribúdajúcou prítlačnou silou a zohrievaním miesta budúceho zvaru sa povrchové nerovnosti deformujú a dotyková plocha sa zväčšuje. Dôsledkom toho sa v prvej fáze zvárania celkový odpor znižuje, až dosiahne svoje minimum. S pribúdajúcim časom sa teplota zváraných materiálov rýchlo zvyšuje, v dôsledku čoho odpor - Po dosiahnutí svojho maxima začína z dôvodu rastu zvarovej šošovky odpor opäť klesať. Rast šošovky je sprevádzaný výraznou expanziou (odtláčaním elektród). Ak by neboli materiály navzájom prítlačené, roztavený materiál by vystrekol vo forme prúdu iskier z miesta zvaru a došlo by k vytvoreniu studeného spoja. Zvärací prúd treba prerušiť skôr, ako by došlo k pretaveniu zváraných materiálov, (zvarová šošovka by bola hrubšia

ako hrúbka zváraných materiálov).



Obr. 2.2.11.3  
Zmena odporu počas zvárania

Čas zvárania sa pri elektrickom odporovom zváraní nahrádza počtom periód striedavého prúdu (jedna perióda prúdu s frekvenciou 50 Hz trvá 0,02 s).

Okrem mechanického namáhania sú tyčové elektródy namáhané i tepelne. Z toho dôvodu je ich potrebné chlaďiť (vnútro elektród prúdi chlaďacia voda).

**Parametre zvárania** Základnými parametrami všetkých odporových technológií zvárania sú prítlačná sila, zvárací prúd a čas zvárania. Ak sa zvara nižším prúdom za pôsobenia menšej prítlačnej sily, ale po dlhší čas, hovoríme o mäkkom zváracom režime. Tieto parametre sa používajú u materiálov náchylných na zakalenie.

Zváranie vyššími prúdmi, krátkymi časmi pri vyšších prítlačných silách zodpovedá tvrdému režimu zvárania. Tento režim sa používa pri zváraní materiálov s vysokou tepelnou vodivosťou, napr. hliníka a jeho zliatin. Zvárací prúd a prítlačná sila sa môžu v priebehu zvárania podľa stanoveného programu meniť. Obr. 2.2.11.5 ukazuje niektoré prípady zmeny prúdu a prítlačnej sily počas zvárania. Účelom zvýšenia prítlačnej sily v poslednej fáze zvárania (tzv. kovacia sila) je zlepšiť mechanické vlastnosti zvaru (termomechanické spracovanie). Materiály citlivé na prudký ohrev je možné ohrievať postupne svahovým nárastom prúdu. Na vyžihanie finálneho zvaru sa v záverečnej fáze používa menší prúd, pričom materiály zostávajú ešte stále stlačené. Pre predstavu možno uviesť parametre bodového zvárania pre plech hrúbky  $I^7$  nízko uhlíkovej ocele: zvárací prúd 9 kA, prítlačná sila 2,5 kN, zvárací čas 6 periód (0,12 s) priemer dosadacieho konca elektródy 6 mm.

Zariadenia na bodové zváranie sa nazývajú bodové zváracíky (obr. 2.2.11.6). Na vyvodenie prítlačnej sily sa používa pneumatický mechanizmus, hydraulický mechanizmus, alebo je možné dosiahnuť potrebnú prítlačnú silu cez systém pák zatlačením na nožný pedál. Špeciálnym prípadom bodových zváracíkov sú zváracie kliešte, ktoré sa používajú napr. na zváranie karosérií osobných automobilov.

#### Výhody technológie bodového odporového zvárania

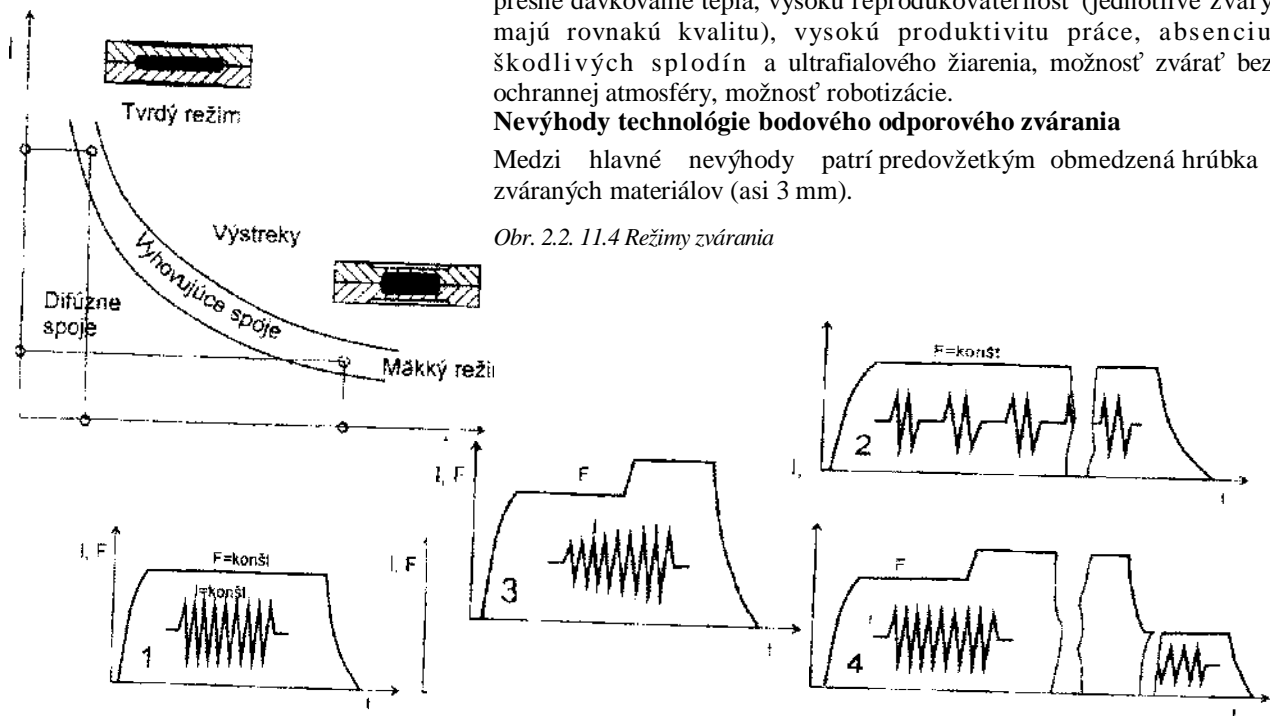
Ako výhody je možné uviesť

presné dávkovanie tepla, vysokú reprodukovateľnosť (jednotlivé zvary majú rovnakú kvalitu), vysokú produktivitu práce, absenciu škodlivých splodín a ultrafialového žiarenia, možnosť zvarať bez ochrannej atmosféry, možnosť robotizácie.

#### Nevýhody technológie bodového odporového zvárania

Medzi hlavné nevýhody patrí predovšetkým obmedzená hrúbka zváraných materiálov (asi 3 mm).

Obr. 2.2.11.4 Režimy zvárania

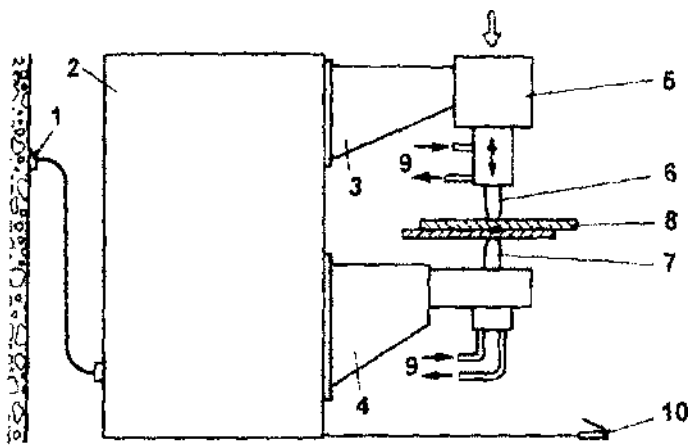


Obr. 2.2.11.5 Programové riadenie parametrov zvárania

1 - zváranie s konštantným prúdom, 2 - zváranie s prentšovaným pulzom, 3 - zváranie so svahovým nárastom prúdu a kovacou silou, 4 - zváranie s kovacou silou a dohrevom

á  
m po zváraní

Obr. 2.2.11.6 Princiipiálne znázornenie hadovej odporovej zváracíky



1- pripojenie k elektrickej sieti, 2-zdroj zvaracieho prúdu, 3- pohyblivé rameno, 4- pevné rameno, 5-prítlačný mechanizmus, 6- horná pohyblivá elektróda, 7 - spodná pevná elektróda, 8- zvarané materiály, 9-privoda odvod chladiacej vody, 10- ovládanie

**Použitie technológie** Bodové zvaranie sa uplatňuje pri zvaraní oceľových plechov do hrúbky 2 až 3 mm s nízkouhlíkovej ocele. Ide najmä o karosérie osobných áut, kabíny nákladných áut, výrobu železničných vagónov, plášťov a dielcov chladničiek, pračiek, výrobu kuchynského riadu, výrobu hračiek a pod. Okrem oceľových plechov sa v leteckom priemysle zvarajú plechy z ľahkých i žiarupevných zliatin.

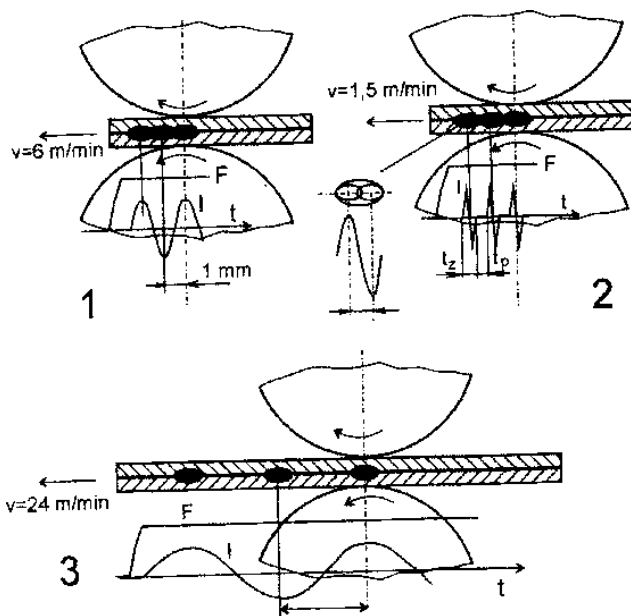
## ŠVOVÉ ZVÁRANIE

Pri švovom odporovom zváraní sú tyčové elektródy nahradené kotúčmi. Ich otáčaním dochádza k posuvu zváraných plechov a v pravidelných časových intervaloch ku vzniku zvarových šošoviek. Ak ale budú kotúče stáť a zapne sa zvárací prúd, vznikne bodový zvar. Zjednodušene je teda možné povedať, že bodové zváranie sa podobá švovému zváraní s nulovou rýchlosťou pohybu kotúčov. Principiálna schéma Švového zvárania je na obr. 2.2. 11.7.

Ak sa budú pri švovom zváraní jednotlivé zvarové šošovky čiastočne prekrývať, vznikne tesný švový zvar. Preto je i hlavnou oblasťou využitia švového odporového zvárania výroba predmetov vyžadujúcich nepriepustnosť plynov alebo kvapalín. Pri frekvencii siete 50 Hz je požadovaná rýchlosť zvárania 6 m/min. Rýchlosť zvárania je rovnaká ako obvodová rýchlosťou kotúčov. Ak bude rýchlosť zvárania väčšia, šošovky sa prestanú prekrývať a zvar nebude tesný. Pri znížení rýchlosti zvárania bude prekrývanie šošoviek hustejšie, čím sa do miesta zvaru vnesie viac tepla, dôsledkom čoho sa materiály prehrejú a následne sa prepália. Z uvedeného vyplýva, že pri nižších rýchlostiach zvárania je potrebné periodicky prerušovať prívod prúdu. Tomuto prerušovaniu hovoríme modulácia prúdu a je ju možné definovať ako pomer medzi časom zapnutia zváracieho prúdu a časom prerušenia zváracieho prúdu. Naopak, pri vyšších rýchlostiach zvárania ako 6 m/min a požiadavke na dosiahnutie tesného zvaru je potrebné zvýšiť frekvenciu zváracieho prúdu. Princíp modulácie zváracieho prúdu je znázornený na obr. 2.2. 11.8.

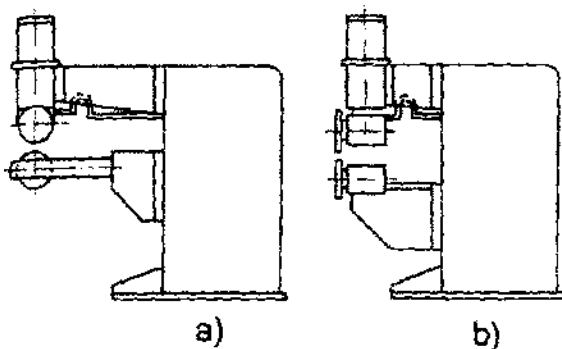
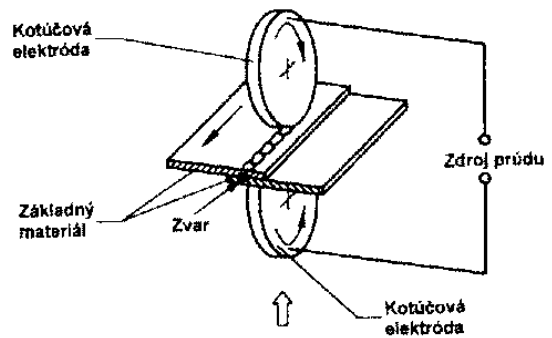
I pri švovom zváraní sú kotúče chladené vodou.

Obr. 2.2. 11.7 Principiálna schéma Švového odporového zvárania



4 mm

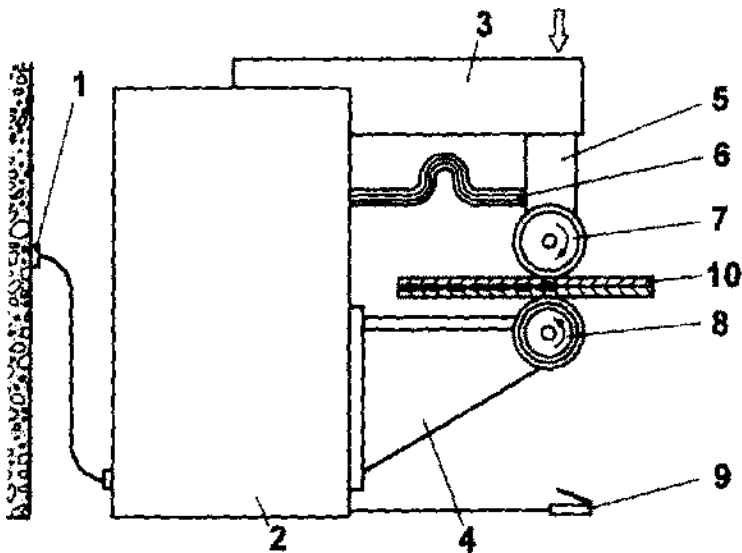
Zariadenia na zváranie sa nazývajú švové zväračky, ktoré sa podľa konštrukcie posuvu zváraných dielcov rozdeľujú na švové zväračky s priečnym a pozdĺžnym posuvom



Obr. 2.2.11.9 Švové zväračky

a) s pozdĺžnym pohybom kotúčov, b) s priečnym pohybom kotúčov





Obr. 2.2.11.10 Schéma švovej zväračky s pozdĺžnym posuvom

1-pripojenie k elektrickej sieti, 2-zároj zväracieho prúdu, 3 - pohyblivé rameno, 4-pevné rameno, 5- prítlačný mechanizmus, 6-prívodprúdu, 7-hnacia elektróda, 8- hnaná elektróda, 9- ovládanie, 10- zvárané materiály

**Parametre zvárania** Hlavnými parametrami sú zvärací prúd, prítlačná sila, rýchlosť zvárania a modulácia prúdu. Vzhľadom na tesné usporiadanie šošoviek dochádza k čiastočnému odvodu zväracieho prúdu cez už hotovú šošovku, z čoho vyplýva nutnosť použiť vyššie hodnoty zväracích parametrov v porovnaní s bodovým odporovým zváraním.

**Výhody technológie švového odporového zvárania** Výhody švového zvárania sú podobné ako výhody bodového zvárania. Z nich je možné vyzdvihnúť možnosť vytvárania tesných zvarov, vysokú produktivitu práce a možnosť automatizácie.

**Nevýhody technológie švového odporového zvárania** Podobne ako pri bodovom zváraní je hlavnou nevýhodou švového odporového zvárania obmedzená hrúbka zváraných materiálov.

**Použitie technológie** Švovým zváraním sa vytvárajú predovšetkým hermetické spoje v takých výrobkoch, ako sú radiátory, automobilové nádrže, rôzne druhy nádob (vedrá, sudy) a pod. Touto metódou je možné zväčšovať základné formáty plechu na výrobu striech vagónov, privárať rebrá na výmenníky tepla, prípadne zvärať kryty raketových alebo prúdových motorov.

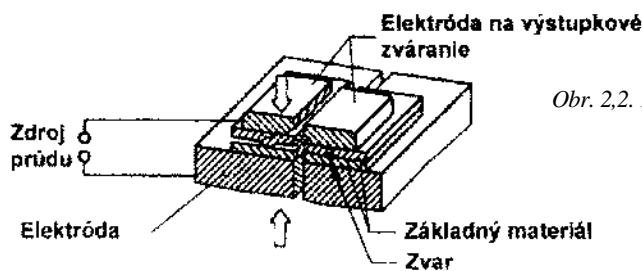
## VÝSTUPKOVÉ ZVÁRANIE

Pri bodovom a švovom zváraní sa zvar vytvára prechodom prúdu medzi zváranými materiálmi, ktoré sú stlačené zváracími elektródami. Pri výstupkovom zváraní zvar alebo zvary vznikajú v miestach vopred pripraveného výstupku alebo výstupkov (obr. 2.2. 11.11), ktoré sú väčšinou vyhotovené iba na jednom zo zváraných materiálov.

Podľa typu výstupku poznáme dva základné spôsoby výstupkového zvárania:

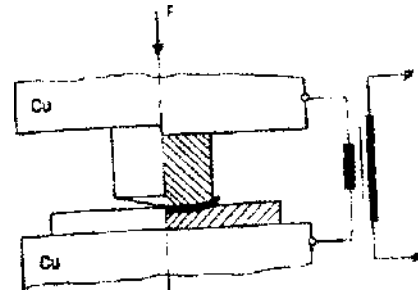
- pomocou prelisovaných výstupkov
- pomocou masívnych výstupkov

Zváranie pomocou prelisovaných výstupkov sa využíva v podstate ako mnohobodové odporové zváranie, najčastejšie pri zváraní preplátovaných spojov z plechov, zvary vyhotovené výstupkovým zváraním s masívnym výstupkom (obr. 2.2. 11.12) nachádzajú svoje uplatnenie pri vytváraní tupých a krížových spojov (tyče, rúrky, profily a pod.). Pri zváraní pomocou masívnych výstupkov dochádza v dôsledku pôsobenia prítlačnej sily k čiastočnému vytlačeniu vysokoohriateho plastického materiálu zo zvaru, čím sa vytvára tzv. výronok, v niektorých prípadoch je ho nutné z finálneho zvarového spoja odstrániť, niekedy nevadí.



Obr. 2.2. 11. U Princíp výstupkového zvárania s prelisovanými výstupkami

Zariadenia na zváranie sa nazývajú zváracie lisy. Vzhľadom na veľký počet súčasne zváraných bodov sa prítlačná sila generuje takmer výhradne hydraulicky. Zvara sa v prípravku upevnenom medzi čeľuste lisu.



Obr. 2.2. 11.12 Princíp výstupkového zvárania s masívnym výstupkom

**Parametre zvárania** Zváracími parametrami sú rovnaké veličiny ako pri bodovom zváraní: zvárací prúd, zvárací čas a prítlačná sila. Na rozdiel bodového a švového zvárania sa zváracie parametre nevzťahujú na hrúbku zváraných materiálov, ale na veľkosť pôdorysu zvárannej plochy. Veľkosť zvárannej plochy sa pohybuje rádovo v stovkách mm. Okrem týchto parametrov sú dôležitými parametrami veľkosť, tvar a rozmiestnenie výstupkov.

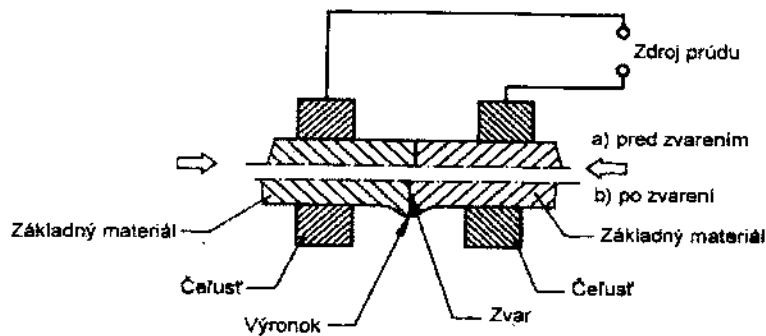
**Výhody technológie** V porovnaní s bodovým zváraním je hlavnou výhodou väčšia zváraná plocha, resp. väčší počet zvarových šošoviek na jeden cyklus stroja a z toho vyplývajúca vyššia produktivita práce a možnosť vyhotovovania i iných typov spojov, ako sú preplátované spoje. Ostatné výhody sú podobné ako pri bodovom odporovom zváraní.

**Nevýhody technológie** Za nevýhody technológie je možné považovať finančnú náročnosť zváracích zariadení, pri veľkých zváraných plochách vysoké nároky na rozvodnú sieť (veľké prúdové odbery) a nutnosť úpravy zvarových plôch (vyhotovovanie výstupkov).

**Použitie technológie** Výstupkovým zváraním sa zvárajú polotovary pre ozubené kolesá, výstredníky, variátory, unášacie kotúče, ktoré sú náhradou za výkovky, odliatky alebo obrobky pri kusovej alebo malosériovej výrobe. Podobne sa zhotovujú polotovary pre nástroje vyhotovené z kombinácie dvoch materiálov. Okrem polotovarov sa výstupkovým zváraním zvárajú napr. remenice, dverové, alebo okenné závesy, brzdné čeľuste pre automobily, zdvíhacie páky pre textilné stroje, stĺpy pre lešenie HAKI a pod.

## STYKOVÉ STLÁČACIE ZVÁRANIE

Stykové stláčacie zvaranie (obr. 2.2. 11.13) je podobné výstupkovému zvaraniu tupých spojov. Horizontálne situované zvarané dielce najčastejšie vo forme drôtov alebo tyčí sa upnúdo čeľustí, ktoré okrem funkcie prívodu prúdu i mechanicky upínajú dielce, prenášajú zvaraciu silu a zabraňujú preklznutiu materiálov pri ich vzájomnom stláčaní. Po pritlačení zvaraných materiálov k sebe čelnými plochami sa zapne elektrický prúd. Prechodom prúdu sa prednostne ohrievajú dotýkajúce sa čelné plochy, pretože toto miesto vykazuje najväčší odpor. Po stanovenom Čase sa vypne zvarací prúd. Uvoľnenie prítlačnej sily nasleduje s určitým časovým oneskorením za vypnutím zvaracieho prúdu. V niektorých prípadoch sa používa po fáze zvarania odporový ohrev vyhotoveného zvarového spoja za účelom prežihania zvaní a zlepšenia jeho výsledných mechanických vlastností.



Princíp stykového stláčacieho zvarania

Podobne ako pri výstupkovom zvaraní s masívnym výstupkom i pri stykovom stláčacom zvaraní vzniká výronok.

Zariadenia na zvaranie sa nazývajú stykové stláčacie zvaračky.

### Parametre zvarania

Parametre zvarania sú rovnaké ako pri bodovom a výstupkovom zvaraní: zvarací prúd, prítlačná sila a zvarací čas. Podobné sú aj ich špecifické hodnoty, vzťahujúce sa na 1 mm zvaru. Pri niektorých jednoduchších zvaracích zariadeniach sa namiesto zvaracieho času nastavuje dĺžka stlačenia.

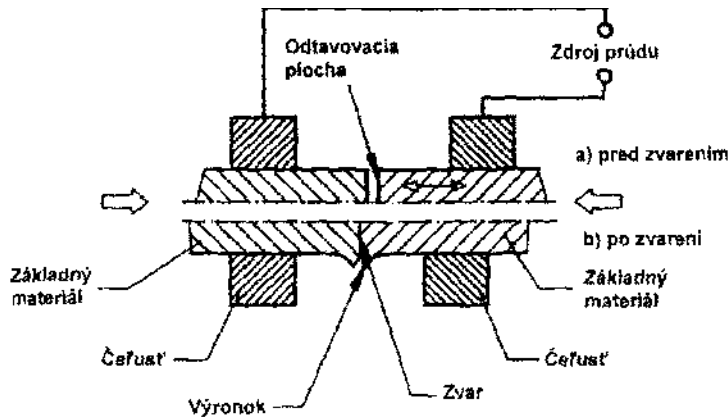
**Výhody technológie** V porovnaní s výstupkovým zvaraním s masívnym výstupkom nieje dĺžka zvaraných dielcov obmedzená (horizontálne situovania dielcov), inak sú výhody technológie podobné ako pri výstupkovom zvaraní s masívnym výstupkom. Najmenšie zvaračky sú schopné zvarať drôty priemeru 0,2 mm, maximálna hranica zvaraných prierezov sa pohybuje okolo 600 mm.

**Nevýhody technológie** Na rozdiel od výstupkového zvarania s masívnym výstupkom sa používajú predovšetkým tupé spoje.

**Použitie technológie** Technológia stykového stláčacieho zvarania sa používa pri výrobe bicyklových i automobilových ráfikov, pri zvaraní koncov pílových pásov okružných píľ, pri napájaní drôtov v drôtoťahoch, pri výrobe reťazí a v ďalších výrobkoch.

## STYKOVÉ ODTAVOVACIE ZVÁRANIE

Princíp stykového odtavovacieho zvarovania (obr. 2.2. 11.14) je napriek podobnému názvu so stykovým stláčacím zvarovaním odlišný. Rozdiel je v tom, že na začiatku procesu sa čelá zvarovaných dielcov nestláčia, ale iba približujú. Odtavovacie zvarovanie potom prebieha buď ako priame, alebo nepriame (s predhrevom).

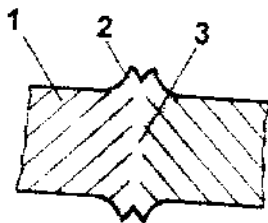


Obr. 2.2. 11.14 Principiálna schéma stykového odtavovacieho zvarovania

Priame zvarovanie pozostáva z dvoch fáz: fázy odtavovania a fázy stlačenia.

Pri priamom zvarovaní sa po zapojení elektrického prúdu začnú zvarované dielce veľmi pomaly navzájom približovať. Elektrický oblúk nemôže vzniknúť, pretože napätie medzi dielcami je nízke. Odtavovacia fáza procesu začne v okamihu, keď sa čelá dielcov navzájom dotknú v miestach s najväčšími povrchovými nerovnosťami. Materiál sa v

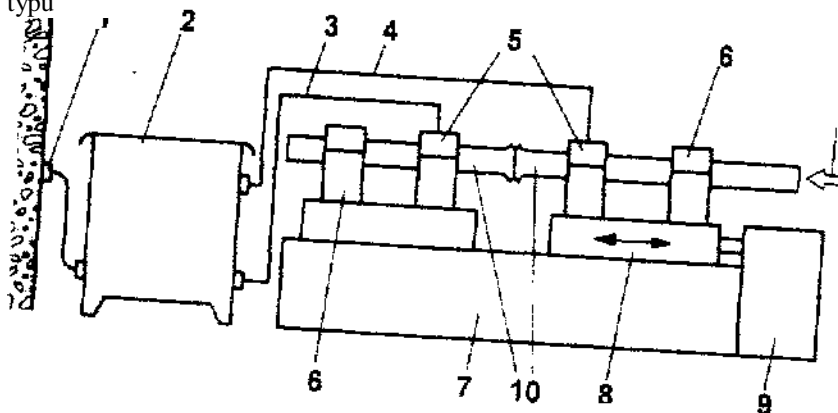
miestach dotyku prudko zohreje, roztaví a časť roztaveného kovu vystrekne. Tým v mieste pôvodného dotyku vznikne kráter s tenkou vrstvou roztaveného kovu na jeho dne. Približovanie dielcov naďalej pokračuje, takže postupne vznikajú nové dotyky, v ktorých dochádza k nataveniu. Takto sa postupne nataví celá čelná plocha oboch zvarovaných materiálov, čím fáza odtavovania skončí. V následnej fáze stlačenia dôjde k prudkému stlačeniu zvarovaných dielcov a vypnutiu prúdu. Roztavený kov oboch čelných plôch za spolupôsobenia sily vytvorí zvar, pričom časť vysoko zohriateho kovu sa vytlačí zo zvaru a vytvorí výronok (obr. 2.2. 11.15). Nepriame zvarovanie sa od priameho líši tým, že fáza odtavenia predchádza fázou predhrevu. Predhrev sa môže realizovať napr. plameňom, alebo častejšie sa využíva postupné pritláčanie a oddialovanie zvarovaných materiálov. Proces nepriameho odtavovacieho zvarovania má teda tri fázy: fázu predhrevu, odtavenia a stlačenia. V porovnaní so stykovým stláčacím zvarovaním pri odtavovacom zvarovaní pretekajú obvodom výrazne nižšie prúdy (približne 20x). Je tomu tak preto, lebo ku kontaktu dochádza nie naraz v celej ploche, ale len v jednotlivých miestach. Prechodový odpor je tak mnohonásobne vyšší, z čoho vyplýva i nižší prúd. Pri danom výkone zdroja je možné technológiou odtavovacieho zvarovania zvariť väčšie prierezy v porovnaní so stykovým stláčacím zvarovaním.



Zariadenia na zvarovanie sa nazývajú stykové odtavovacie zváranky,

**Parametre zvarovania** Parametre zvarovania sú podobné ako pri ostatných technológiách odporového zvarovania. V prvom rade je to zvárací prúd a pritlačná sila, ktorá je vo fáze odtavovania minimálna. Až v záverečnej fáze dosahuje hodnotu obdobnú pri iných technológiách odporového zvarovania. Ako tretí parameter sa pri odporových spôsoboch zvarovania

udával čas zvarovania. Ten je však pri stykovom odtavovacom zvarovaní nahradený dvoma parametrami: dĺžkou odtavenia a rýchlosťou odtavenia. Ďalšími parametrami sú rýchlosť a dĺžka stlačenia, prípadne v závislosti od typu



Obr. 2.2. 11.16 Schéma stykovej odtavovacej zváranky  
1 - pripojenie k elektrickej sieti, 2 - zdroj zváracieho prúdu, 3, 4 - privod elektrického prúdu, 5 - upínacie čeľuste, 6 - prídavné

11 - upevňovacie čeľuste, 7 - rám, 8 - pritlačný mechanizmus, 9 - pohon pritlačného mechanizmu, 10 - zvarok, 11 - pritlačná sila

### Výhody technológie

Medzi hlavné výhody technológie patria nižšie prúdové nároky pre zvarovanie rovnakých

prierezov a z toho vyplývajúce väčšie zvarované prierezy v porovnaní s technológiou stykového stláčacieho zvarovania, možnosť zvarovať materiály s veľkou dĺžkou a možnosť automatizácie. Ďalšie výhody sú obdobné ako pri iných technológiách odporového zvarovania.

**Nevýhody technológie** vznik výronku a nutnosť jeho odstránenia. **Použitie technológie** Technológia sa používa na výrobu nástrojov z kombinovaných materiálov, rezačích veľkých rozmerov, zárubní dverí z ocele

### 2.2.12 SPÁJKOVANIE

Spájkovanie patri k najstarším spôsobom spájania materiálov. Na rozdiel od technológie tavného zvárania sa pri spájkovaní netavia stykové plochy základných materiálov, ale iba prídavný materiál, nazývaný spájka-spájkovanie je teda metalurgický spôsob spájania kovových a nekovových materiálov roztavenou spájkou. Povrchové atómy základného materiálu a tekutej spájky sa dostanú do takej blízkosti, že umožnia vznik adhézných a kohéznych síl. Rozdiel medzi adhéznymi a kohézными silami je v tom, že zatiaľ čo spájka drží pohromade vďaka kohéznym silám, väzba medzi spájkou a základným materiálom je možná vďaka pôsobeniu adhézných síl. Najčastejšie dochádza pri spájkovaní k rozpúšťaniu základného materiálu v tekutej spájke a k vzájomnej difúzii niektorých prvkov.

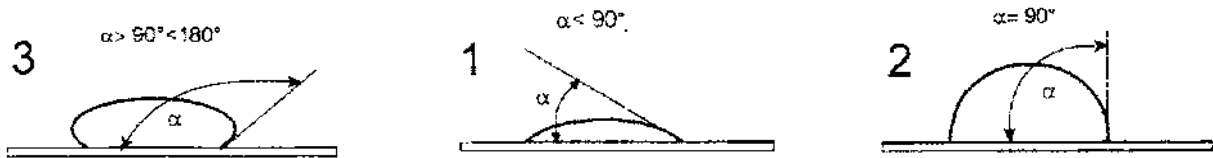
Základné pojmy spájkovania definuje norma STN 05 0040. Pri spájkovaní majú kľúčový význam tri fyzikálne charakteristiky:

- zmáčavosť
- roztekavosť
- kapilarita

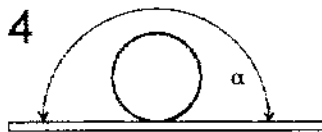
**Zmäčavosť** je schopnosť tekutej spájky priľnúť k čistému povrchu spájaného materiálu pri určitej teplote.

Zjednodušene si je to možné predstaviť na príklade zmáčania tkaniny dažďovou vodou. Ak dôjde k zmáčaniu, kvapka vody priľne na povrch textílie a jej povrch zmáča. Špeciálnou povrchovou úpravou tkaniny je možné zabrániť k priľnutiu kvapky na jej povrchu. Kvapka vody sa iba sklzne a povrch tkaniny nezmáča-zostane suchý. Aby spájka na spájkovanom povrchu držala, musí ho preto zmáčať. Kvalitatívnym ukazovateľom zmáčavosti je stykový uhol!

zmáčania, ktorý zvierajú dotýčnica k povrchu spájky s povrchom základného materiálu. Čím je tento uhol menší, tým je zmáčavosť spájky lepšia



$\alpha = 180^\circ$



Obr. 2.2. 12. J Tvar kvapky spájky v závislosti od uhla zmáčania

**Roztekavosť** je na rozdiel od zmáčavosti schopnosť tekutej spájky roztečiť sa pri určitej teplote po vodorovnom povrchu spájkovaného materiálu. Táto vlastnosť spájky je dôležitá z hľadiska vytvorenia rovnomernej vrstvy spájky

na základnom materiáli. V prípade nedostatočného roztečenia by sa vyskytli v spájkovanom spoji miesta s chýbajúcou spájkou. Kvalitatívnym kritériom roztekavosti je veľkosť plochy po ktorej sa definované množstvo spájky pri skúške roztečie.

• **Kapilarita** je schopnosť tekutej spájky vyplniť pri určitej teplote úzku medzeru spoja (<0,5 mm) pôsobením kapilárnych síl. Kapilarita spájky sa využíva pri spájkovaní všade tam, kde by bol problém naniesť spájku na základné materiály (malé rozmery, úzka medzera a pod.). Spájka sa naniesie na začiatok spoja a vplyvom kapilárnych síl pri danej teplote vyplní celú medzeru. Spájkovanie je možné rozdeliť podľa viacerých hľadísk, z ktorých niektoré uvedieme: >

• podľa výšky spájkovacej teploty: mäkké spájkovanie do 450°C

tvrdé spájkovanie 450 až 950°C

vysokoteplotné spájkovanie nad 950°C (vyžaduje sa použitie ochrannej atmosféry alebo vákuu)

• podľa spôsobu ohrevu:

s lokálnym ohrevom, s ohrevom v celom objeme súčiastky podľa tepelného zdroja: dotykovou spájkovačkou, plameňom v peci elektrickým odporom indukčným ohrevom ponorom v kúpeli Špeciálnym zdrojom (horúcim vzduchom, infračervenými lúčmi a pod.)

• podľa okolitého prostredia:

na vzduchu pod ochrannou vrstvou taviva v ochrannej atmosfére v redukčnej atmosfére vo vákuu

Pod pojmom spájka sa rozumie prídavný materiál na spájkovanie. Technologické požiadavky na spájky sú nasledovné:

• spájka musí mať požadovanú zmáčavosť, roztekavosť a kapilaritu

• spájka musí mať nižšiu teplotu tavenia ako základný materiál

• interval tavenia spájky určenej pre kapilárne spájkovanie musí byť úzky (do 100°C),

ideálne sú eutektické typy spájok

• prvky spájky a základného materiálu nesmú tvoriť krehké intermediárne fázy

• prvky spájky so základným materiálom nesmú tvoriť galvanický článok (hrozí elektrochemická korózia)

• spájka musí mať požadované mechanické vlastnosti

• spájka musí byť dostupná vo vhodnej forme (rúrka, drôt a pod.)

Mäkké spájky sa vyznačujú nízkou spájkovacou teplotou a pevnosťou. Základné skupiny mäkkých spájok sú:

- cínové spájky
- spájky na báze zinku a kadmia
- spájky na báze bizmutu a ďalších nízkotavitelných kovov (india, gália)

Okrem kadmia býva podstatnou zložkou mäkkých spájok i olovo. V súčasnosti je tendencia z ekologických dôvodov ustupovať od používania spájok na báze olova i kadmia a orientovať sa na typy spájok bez obsahu týchto zdraviu škodlivých prvkov.

Tvrde spájky sa používajú na spoje, ktoré sú v prevádzke vystavené väčšiemu mechanickému namáhaniu, alebo spájkovaná súčiastka pracuje za zvýšených, resp. kryogénnych teplôt.

Z tvrdých spájok je možné uviesť:

tvrdé spájky na spájkovanie hliníka sú založené na báze Al-Si

- tvrdé spájky na horčíkové zliatiny—sú založené na báze Mg-Al-Zn-Cd-Be
- tvrdé spájky na báze medi, založené na báze Cu-Zn, Cu-P, sú vhodné na spájkovanie železných a neželezných kovov s teplotou tavenia nad 900°C

• tvrdé strieborné spájky—založené na báze Ag-Cu, Ag-Cu-Zn, Ag-Cu-Zn-Ni-Mn, ktoré sú vhodné na spájkovanie železných i neželezných kovov, spekaných karbidov, austenitických ocelí, niklu a jeho zliatin, pričom sa môže spájkovať vo vákuu, alebo š použitím taviva.

• spájky z drahých kovov, najmä na báze zlata a platiny, sa uplatňujú v priemyselnej výrobe, v umeleckej výrobe a pri výrobe šperkov a v zubnom lekárstve.

Vysoko teplotné spájky sa používajú pre prevádzkové teploty nad 600°C pre spájkovanie v ochrannej atmosfére alebo vo vákuu. Sú založené na báze Ni-Cr-Si a Ni-Cr-Si-B, prípadne spájkami tvorenými čistými kovmi (Ni, Pt, Zr, Nb).

Pri spájkovaní je treba z povrchu spájkovaného materiálu odstraňovať povrchové oxidy a chrániť ho pred ďalšou oxidáciou. Chemické prostriedky používané na tento účel sa nazývajú tavivá. Príslušný typ taviva sa volí podľa základného materiálu, použitej spájky a podľa spájkovacej teploty.

**Požiadavky na tavivá, určené na spájkovanie, sú nasledovné:**

- tavivo musí dobre zmáčať základný materiál a spájku
- reakčná teplota taviva musí byť minimálne o 50°C nižšia, ako je teplota solidu spájky, (to znamená, že tavivo musí začať účinkovať skôr, ako sa spájka roztaví)
- reakčná rýchlosť pôsobenia taviva musí byť vysoká
- viskozita taviva v rozsahu reakčných teplôt musí byť minimálna
- hustota taviva musí byť nižšia ako hustota spájky
- chemická účinnosť taviva sa pri skladovaní nesmie meniť
- zvyšky taviva sa musia dať po spájkovaní ľahko odstrániť
- tavivo musí byť zdravotne bezchybné

Podľa spôsobu spájkovania rozoznávame tavivá na mäkké spájkovanie a na tvrdé spájkovanie. Podľa účinku je možné rozdeliť tavivá na tavivá s lepiacim účinkom a tavivá bez leptacieho účinku.

**Parametre spájkovania** Za hlavné parametre spájkovania je možné považovať druh spájky a taviva, spájkovaciu teplotu a čas spájkovania, pri kapilárnom spájkovaní hrúbku medzery spoja. Okrem týchto parametrov treba zohľadniť i druh ochrannej atmosféry, jej rosny bod, resp. výšku vákuu.

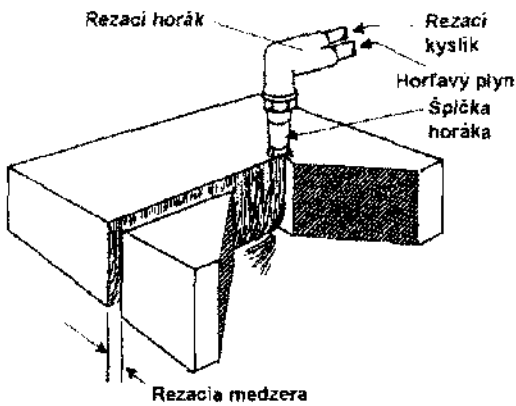
**Výhody technológie** Výhody a nevýhody technológie je možné porovnať vzhľadom na technológiu zvarovania.

Hlavnou výhodou je netavenie spájaných materiálov, z čoho vyplýva, že pri mäkkom spájkovaní sa nevyskytuje tepelne ovplyvnená oblasť. Z ďalších výhod je možné spomenúť nižšie vnútorné napätia v spoji, vyplývajúce z nižšej spájkovacej teploty, absenciu rozstreku, pri kapilárnom spájkovaní ľahšiu automatizovateľnosť výroby a menšie požiadavky na kvalifikáciu pracovníka.

Ako vidieť z uvedených podmienok, nie všetky kovy je možné rezať kyslíkom. Kyslíkom sa nedá rezať napr. hliník, meď, vysokolegované ocele a sivá liatina. Najčastejšie sa kyslíkom režu nízkouhlíkové ocele.

## REZANIE

Na rezanie je možné použiť zváraciu súpravu na zváranie kyslíkovo-acetylénovým plameňom. Zvárací horák sa vymení za rezací horák, ktorý sa od neho odlišuje tým, že do trysky horáka je separátne privedený rezací kyslík. Zmes kyslíka s acetylénom sa využíva na vytvorenie predhrie-vacieho plameňa. Na začiatku procesu sa zapáli zmes acetylénu a kyslíka. Týmto predhrievacím plameňom sa začne nahnevať delený materiál na zápalnú teplotu. Po jej dosiahnutí sa otvorí ventil rezacieho kyslíka, čím sa začne exotermická reakcia



**Parametre rezania** Medzi parametre rezania zaraďujeme veľkosť rezacej dýzy, tlak rezacieho kyslíka, rýchlosť rezania, vzdialenosť rezacej dýzy od materiálu a čistotu rezacieho kyslíka.

**Výhody technológie** Ako hlavnú výhodu je možné uviesť rezanie veľkých hrúbok (500 mm i viac), možnosť využiť zariadenie na zváranie plameňom, možnosť vyhotovovať tvarové rezy, možnosť mechanizácie a automatizácie rezania.

**Nevýhody technológie** Z nevýhod je možné spomenúť nižšiu kvalitu rezu v porovnaní s mechanickými technológiami rezania, tepelné ovplyvnenie rezaných materiálov a nemožnosť rezať všetky typy kovových materiálov.

### Použitie technológie

Technológia rezania kyslíkom sa používa na prípravu zvarových plôch pri materiáloch väčších hrúbok, delenie

rôznych typov profilov, vyhotovovanie tvarových polotovarov / hrubých plechov a deštrukčné práce rôzneho druhu (dokonca i pod vodou).