

Svařování

1.1.1 Podstata, účel, použití, výhody, nevýhody a rozdělení svařování

Svařováním vznikají *působením tepla*, respektive *tlaku* a za případného použití *přídavného materiálu* obdobného složení jako má základní materiál nerozebiratelná spojení strojních částí i celých konstrukcí ze součástí jednoduchých tvarů, které jsou většinou z tvářených hutních polotovarů (tyče, pásy, plechy, trubky a jiné profily), někdy i z výkovků nebo z odlitků. Takto vzniklým polotovarům říkáme *svařence*, resp. *svarky*, které se ve většině případů dále zpracovávají – zejména obráběním. Technologie výroby svařenců je zejména u složitých konstrukcí z obtížně svařitelných materiálů sice náročná, ale v konečném důsledku vede často k efektivnímu řešení, kdy z většího množství jednodušších snadno vyrobitelných dílů svaříme celek, jehož výroba by jinou technologií byla daleko materiálově i časově náročnější – nákladnější, tedy cenově méně výhodná.

Výhodou tohoto spojení je velká *pevnost*, *trvanlivost* a také *těsnost*. Svařované konstrukce jsou jednoduché a v porovnání např. s odlitky umožňují až 50 % úsporu materiálu. Svařování také zvyšuje produktivitu práce, podstatně zkracuje výrobní časy a zejména v kusové a malosériové výrobě umožňuje rychlou realizaci konstrukčních návrhů. Má také nezastupitelné místo v opravárenství, neboť umožňuje renovaci funkčních částí hlavně exponovaných dílů.

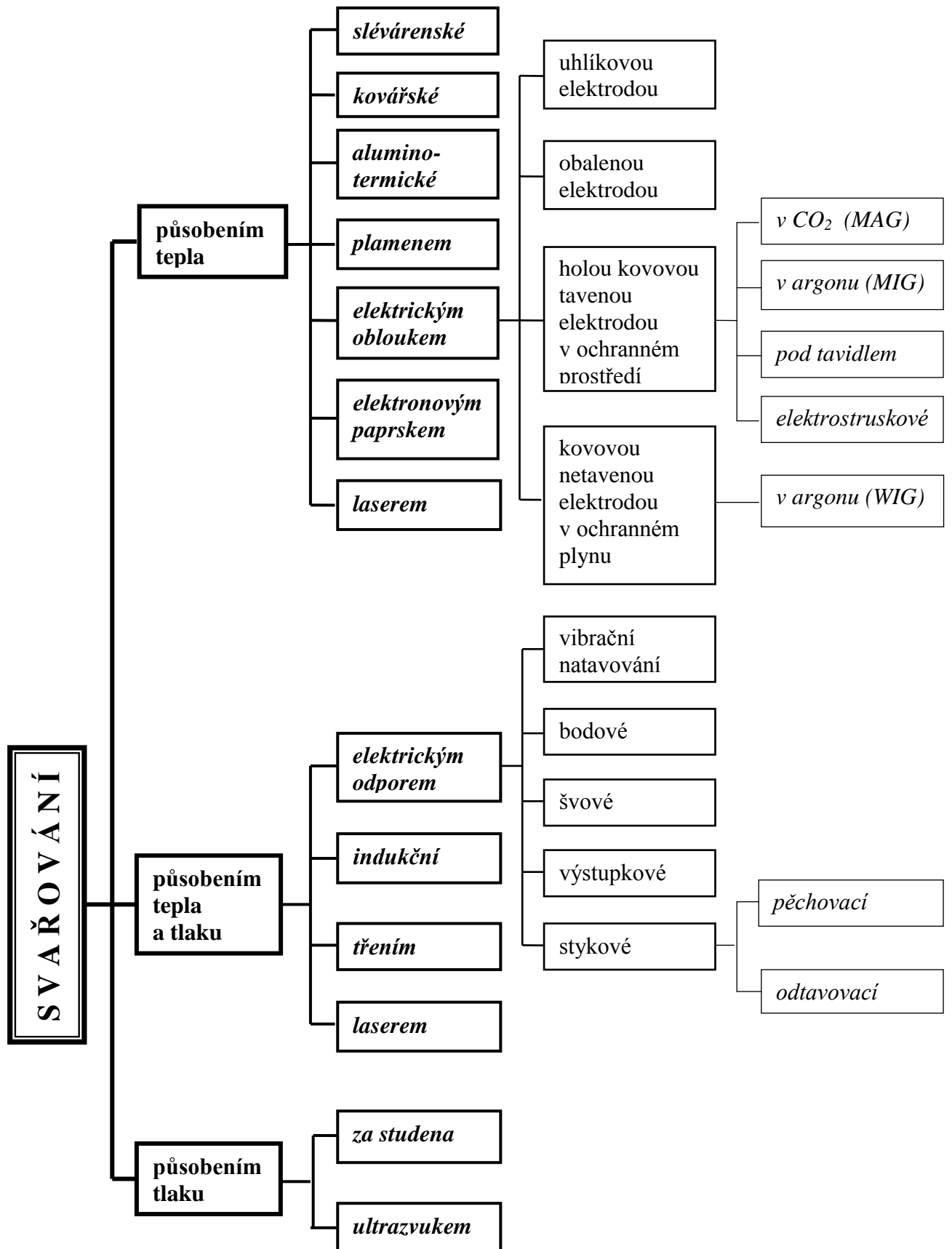
Nevýhodou je nerozebiratelnost spojů, změna struktury a tím i mechanických vlastností svarových spojů a dále vznik vnitřních pnutí a deformací popřípadě výskyt vnitřních vad materiálů. Pro realizaci je třeba kvalifikovaných pracovníků – techniků i dělníků.

Svařování se používá téměř ve všech výrobních oborech a to jak při výrobě a kompletaci nových strojů a velkých konstrukčních celků – ocelových konstrukcí, tlakových nádob, kotlů, parních generátorů, jaderných reaktorů, mostů, lodí a jiných dopravních prostředků, tak i při opravách. Jeho rychlý rozvoj zejména v minulém století umožnil realizaci řady významných projektů – mezi jinými stavby kosmických lodí a jaderných reaktorů. Postupně bylo vyvinuto velké množství metod svařování a dalších jejich modifikací, z nichž mnohé mají široké použití, jiné jsou naopak vhodné pro zcela specifické účely. Přehled a rozdělení svařování zachycuje schéma na *obr. 85*.

1.1.2 Svařování za působení tepla

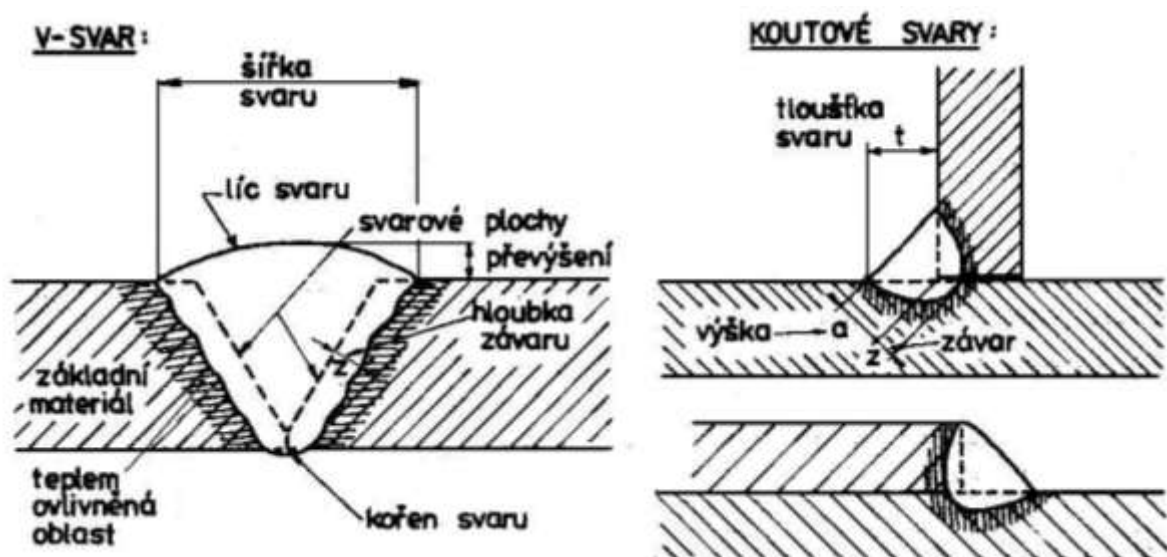
jinak říkáme také **tavné svařování**, při kterém dochází ke spojení lokálním (místním) natavením svarových ploch *základních materiálů*, aniž by se použilo tlaku nebo rázů. Obvykle se ještě používá *přídavný materiál* stejného nebo hodně podobného chemického složení jako má základní materiál. Roztavený materiál tvoří *tavnou lázeň*. Protože ohřev probíhá jen v okolí svarových ploch, liší se krystalizace kovu tavné lázně od pochodů probíhajících při tuhnutí odlitků. Krystalizace probíhá ve velmi malém objemu taveniny v těsném spojení s tuhým základním kovem, přičemž rozmezí teplot mezi *likvidem* a *solidem* je velmi úzké. Názvosloví svarového spojení dvou svařovaných dílů zachycuje *obr. 86*. Svařované díly by měly být vyrobeny pokud možno ze stejných základních materiálů – nejlépe se *zaručenou svařitelností* a před vlastním svařováním je většinou třeba provést tzv. *předsvářovou úpravu* – připravit svarové plochy – většinou mechanicky obráběním např. frézováním, úhlovou bruskou apod., aby byly zbaveny oxidů a měly kovově čistý

povrch, zejména bez rzi. Při *tavném svařování* dojde *působením tepla* k natavení takto vytvořených svarových ploch, k promísení základního kovu s roztaveným přídavným materiálem a



Obr. 85 Přehled a rozdělení svařování

vytvoří se nejprve tzv. **kořen svaru**, na který se postupně kladou další housenky až se vyplní celý průřez svaru - tzv. **svarovým kovem spoje** - tvořeným hlavně přídavným materiálem, který se na svarových plochách smísí se základním materiálem a pronikne do něj, čímž se vytvoří tzv. **závar**, charakterizovaný **hloubkou závaru**. Podle množství tepla vneseného do základních materiálů se vytvoří odpovídající **tepelně ovlivněná oblast**. Její velikosti a gradientu teploty jsou úměrná **teplotní pnutí** vedoucí ke vzniku následných **deformací** a způsobí také **změnu struktury** základního materiálu v blízkosti svaru. U ocelí se zaručenou svařitelností, tj. s obsahem uhlíku do 0,22 %, tyto změny nebudou až tak výrazné, avšak u ocelí s vyšším obsahem uhlíku – zejména pak u ocelí slitinových, může dojít v tepelně ovlivněné oblasti vlivem velkého gradientu teploty ke vzniku nevhodné **Widmannstättenovy struktury** s charakteristickými jehlicemi feritu, které budou prorůstat do perlitu, a protože bude ochlazování probíhat rychleji, vyloučí se při něm i některé nerovnovážné struktury – zejména martenzit, což způsobí křehkost, která povede k následnému praskání a ke vzniku trhlin v bezprostřední blízkosti svaru. Tomu je třeba zabránit snížením gradientu teploty – nejlépe **předehřevem** základního materiálu před svařováním – u legovaných ocelí až na 350 °C, nelegované oceli předehříváme na (100 až 250) °C.

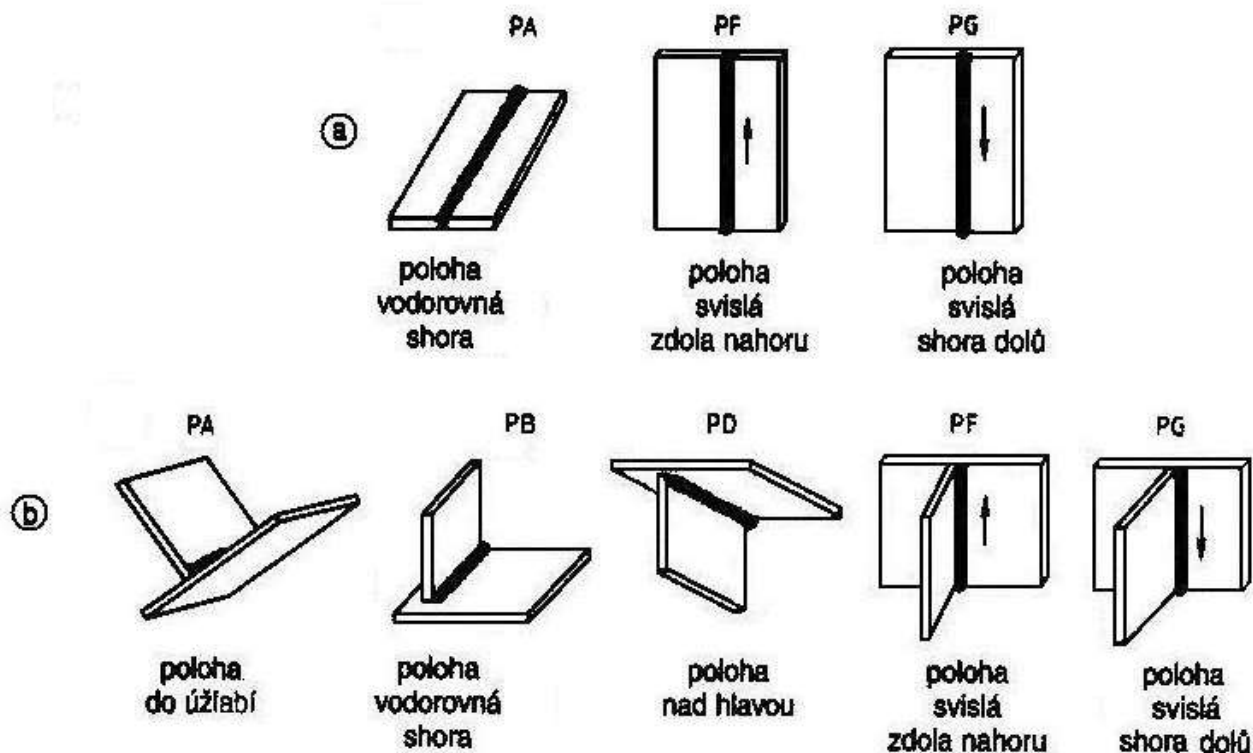


Obr. 86 Názvosloví tupého a koutového svaru

Svařování se může provádět v různých **polohách** viz obr. 87. Správná volba polohy má vliv na kvalitu svařování, produktivitu a s tím spojenou rentabilitu svařování. Pro zabezpečení správné vzájemné polohy svařovaných dílů se často používají **svařovací přípravky** – tzv. **polohovadla**. Lze svařovat **ručně, poloautomaticky i automaticky** různými metodami tavného svařování. Některé metody jsou vhodné pro automatizaci, jiné méně vhodné.

V dalších článcích se budeme zabývat nejčastěji používanými metodami tavného svařování. První tři způsoby uvedené ve schématu na obr. 85 jsou méně časté – **slévarenské svařování** se používá zejména jako **přilítí** např. bronzového věnce šnekového kola ke kotouči z jiného, obvyčejného materiálu. Způsob řeší materiálovou úsporu a také zkrácení času na obrábění, které se omezí hlavně u velkých šnekových kol, pouze na dokončení zejména předlitého ozubení. **Svařování kovářským** způsobem za tepla není vyloženě tavné svařování, neboť jsou dva spojované materiály ohřáté na kovací teplotu a k jejich spojení dojde působením rázů. Používá se spíše výjimečně při volném uměleckém kování na kováčině. Někdy se použije jednoduchých zápustek. **Aluminotermické svařování** se používá hlavně při svařování kolejnic, které se zaformují

a využitím aluminotermické exotermické reakce prášku oxidu hlinitého se železem vzniklým teplem dojde k natažení konců kolejnic a k jejich svaření.

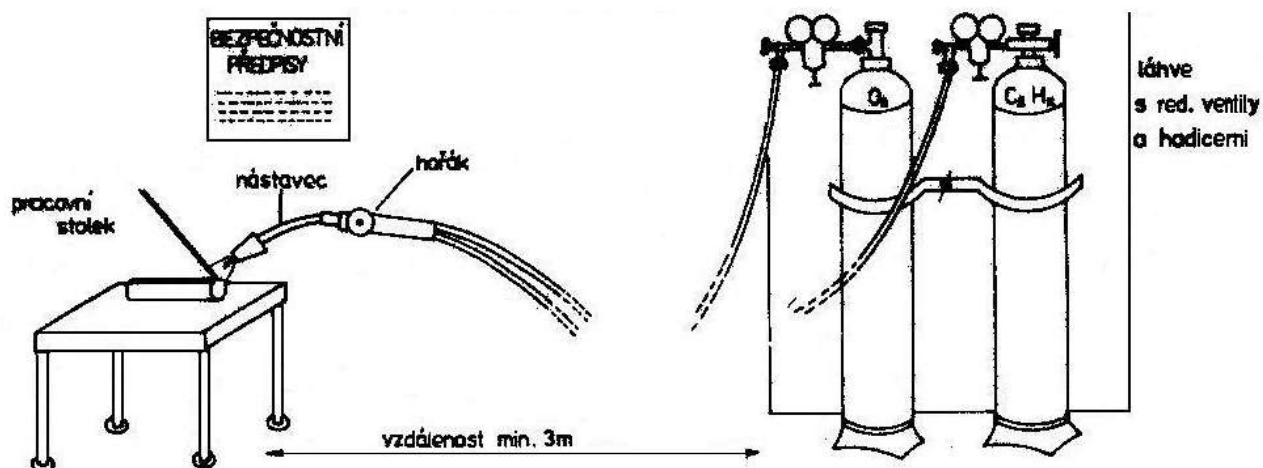


Obr. 87 Základní polohy při svařování: a) tupé svary; b) koutové svary

1.1.2.1 Svařování plamenem

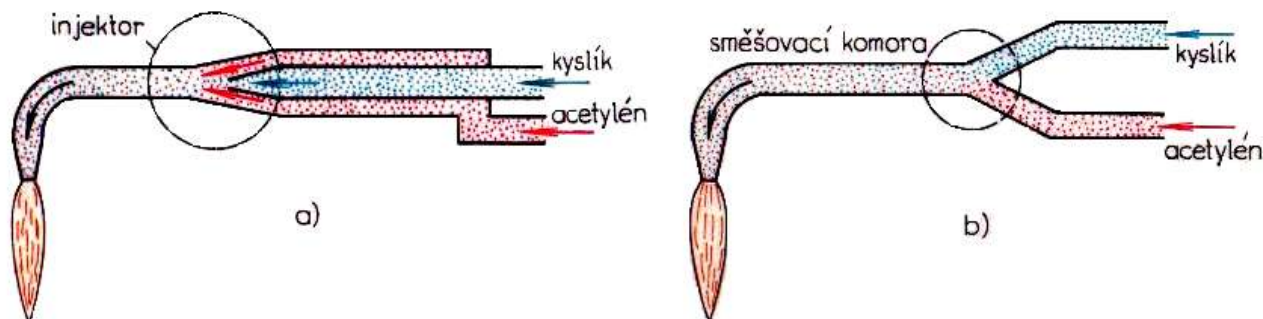
U tohoto způsobu svařování je zdrojem tepla plamen, který vzniká spalováním směsi hořlavého plynu – acetylénu, případně vodíku nebo propanu kyslíkem.

Svařovací souprava, která může být buď stabilní nebo mobilní se skládá z láhví opatřených lahvovým ventilem, redukčním ventilem s obsahovým a pracovním manometrem, hadic – pro hořlavý plyn červená, pro kyslík modrá, svařovacích hořáků a příslušenství. Při svařování je třeba dodržovat bezpečnostní předpisy. Pracoviště pro svařování plamenem je na obr. 88.



Obr. 88 Pracoviště pro svařování plamenem

Svařovací hořáky slouží k smíšení hořlavého plynu s kyslíkem v požadovaném poměru, k regulaci požadované výstupní rychlosti směsi a k vhodnému tvarování plamene pro daný způsob svařování. Používají se buď jako *nízkotlaké - injektorové*, nebo jako *vysokotlaké - směšovací*.



Obr. 89 Svařovací hořáky: a) nízkotlaký; b) vysokotlaký

Přídavný materiál – se používá pro vyplnění svarové spáry. Bývá ve formě svařovacího drátu – od průměru 1,6 do 8 [mm] v závislosti na tloušťce svařovaného materiálu. Výjimku tvoří přídavné materiály pro svařování šedé litiny a navařování, kdy se používají tyčinky nebo trubičky.

Tavidla se používají k zabránění oxidace a rozpouštění oxidů a povrchu kovů. Vyrábějí se na bázi chloridů a fluoridů alkalických prvků ve formě prášků, past a roztoků. Na přídavný materiál se nanášejí jako obal nebo jsou výplní trubičky.

Svařovací plamen – lze regulovat pomocí ventilů hořáku. Podle chemického složení rozeznáváme tyto druhy plamene:

- neutrální** – vzniká spalováním přibližně stejného množství kyslíku a acetylénu. Vnitřní kužel plamene je ostře ohraničen. Lze jím dosáhnout teplotu přes 3100 [°C];
- s přebytkem acetylénu** – vyznačuje se svítícím závojem kolem vnitřního kužele a používá se při svařování hliníku nebo při navařování některých speciálních slitin;
- s přebytkem kyslíku** – zvýšením obsahu kyslíku ve směsi se vnitřní kužel zkrátí, je ostřejší a má namodralou barvu. Plamen má oxidační charakter, není vhodný pro ocel, litinu a lehké kovy. Používá se pro svařování mosazí;

Lze regulovat rovněž výstupní rychlost plamene a podle toho rozlišujeme:

- ostrý plamen** – s vysokou výstupní rychlostí plynů má tendenci se odtrhnout od ústí hořáku, případně zhasnout;
- normální plamen** – má optimální výstupní rychlost a používá se pro většinu prací, hoří klidně a zaručuje nejlepší vzhled sváru;
- měkký plamen** – má malou výstupní rychlost, a proto má tendenci ke zpětnému šlehnutí. Používá se pro tenké plechy z lehkých kovů;

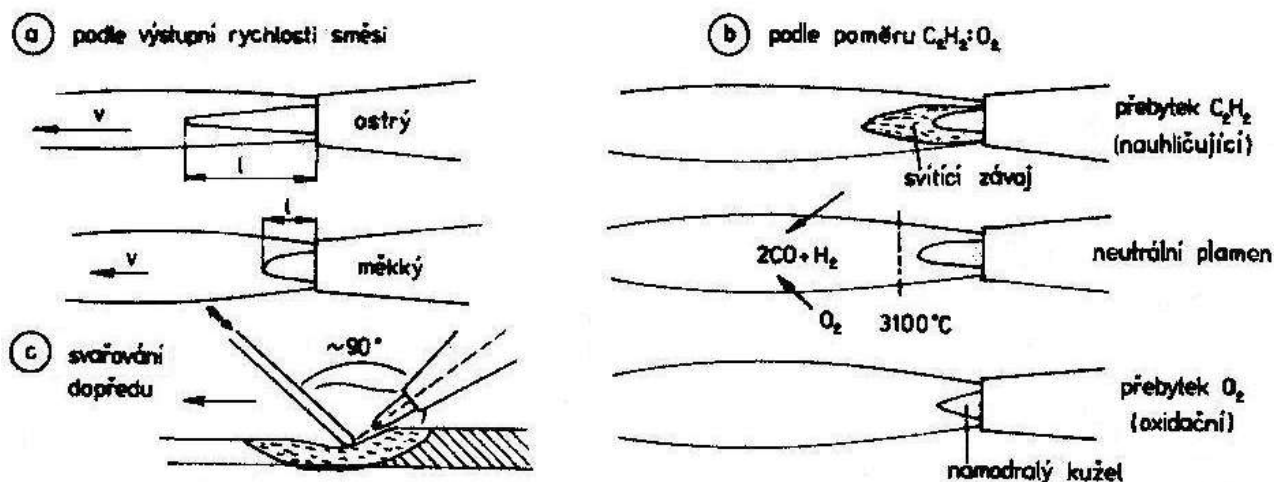
Poznámka: zpětné šlehnutí je nepříjemné a může být i nebezpečné, neboť může dojít k roztržení hadice. Proto mívají hadice pro acetylén pojistku proti zpětnému šlehnutí.

Příprava materiálu pro svařování plamenem. Aby vznikly kvalitní sváry, musí se před svařováním zbavit svarové plochy nečistot, barvy, rzi apod. Podle tloušťky materiálu se svarové plochy upravují, aby bylo zajištěno dokonalé provaření. Často se zhotovují úkosity např. hoblováním, frézováním případně řezacími nebo drážkovacími hořáky.

Technika svařování plamenem. V praxi se nejběžněji používá **svařování dopředu**. Tato technika je vhodná pro plechy tloušťky nad 3 [mm]. Plamenem se roztaví základní materiál a do tavné lázně

se přerušovaně ponořuje přídavný materiál. Svar musí mít provařený kořen, dostatečné převýšení housenky a hladký povrch s jemnou kresbou.

Svařování dozadu – hořák se pohybuje opačně než směřuje plamen. Tato technika se používala dříve pro plechy velké tloušťky; dnes se již prakticky nepoužívá. Tuto techniku vytlačila metoda svařování elektrickým obloukem, která je produktivnější a dává kvalitnější svary.



Obr. 90 Kyslíko-acetylenový svařovací plamen a technika svařování plamenem

I když význam svařování plamenem velmi poklesl, jedná se stále o důležitou technologii spojování materiálů používanou zejména při opravách, při svařování trubek menších průměrů a tlouštěk stěn apod. Předností je univerzálnost, neboť lze svařovat oceli, litinu i neželezné kovy. Plamen lze použít jako zdroj tepla i pro další práce – například pro tvrdé pájení, pro ohýbání nebo rovnání například trubek apod. Výměnou svařovacího nástavce za řezací je možno tímž zařízením i tepelně dělit ocel. Nedostatkem je nízká produktivita, a proto se svařování plamenem v průmyslové praxi již nepoužívá. Výjimkou jsou upravené hořáky, u kterých současně s plyny prochází hubicí směs kovových prášků a je možno takto nanášet tenké vrstvy o zvláštních vlastnostech. S výhodou se navařením prášku opravují opotřeбенé kluzné plochy, čepy, hřídele a podobné díly, kde návar větší tloušťky není žádoucí.

Svařování plamenem je jednou ze základních technologií svařování a i když je mu přisuzována mnohdy podřadná role, je v mnoha oborech metodou nenahraditelnou – pro zámečníky, kováře, topenáře, karosáře, v oprávenství a v jiných oborech.

1.1.2.2 Svařování elektrickým obloukem

V současnosti je to nejpoužívanější metoda tavného svařování. Zdrojem tepla je **elektrický oblouk**, který hoří mezi elektrodou a svařovaným materiálem, případně mezi dvěma elektrodami zapojenými na vhodný elektrický zdroj. Teplem elektrického oblouku dojde k lokálnímu natavení a následnému spojení – svaření součástí. Tepelný výkon Q [W] elektrického oblouku je množství tepla, které projde z oblouku do sváru.

$Q = \eta U I$, kde η ... je účinnost závislá na druhu svařování a bývá 0,7 až 0,85;

U ... elektrické napětí [V];

I ... elektrický proud [A].

Při svařování se používá stejnosměrný nebo střídavý proud o intenzitě (30 až 500) [A], i více a napětí (10 až 70) [V]. Zdrojem stejnosměrného proudu jsou točivé svařovací agregáty a zdrojem střídavého proudu jsou svařovací transformátory.

Elektrody

Nejčastěji používáme **tavné elektrody**, které mohou být buď **obalené** – používané jak pro stejnosměrný tak pro střídavý proud. Polarita elektrody je závislá na druhu obalu. Úkolem obalu je stabilizovat oblouk, chránit svarový kov před účinky atmosféry, zpomalit chladnutí svaru vytvořenou struskou a dodat do tavné lázně některé přídavné prvky (Cr, Ni, Mo, W a jiné). Používají se tyto druhy obalů:

A – kyselé, B – bazické, C – organické, R – rutilové, a kombinace RA, RB, RC.

Nebo se používají **holé tavné elektrody** – svařovací dráty pouze pro svařování v ochranné atmosféře nebo pod tavidlem.

Poslední možností jsou **netavné elektrody** – uhlíkové nebo wolframové, které slouží jen jako prostředek k vytvoření oblouku a neslouží k vytvoření svarového kovu.

Podle účelu a použití rozdělujeme tavné obalené elektrody na **konstrukční**, které se používají pro spojovací svary a musí mít určité mechanické vlastnosti. Elektrodám určeným pro navařování říkáme **návarové** elektrody. Speciálními elektrodami jsou elektrody **hlubokozávarové** a **vysokovýkonné** (vysokovýtěžkové elektrody) vyvinuté pro zvýšení produktivity ručního svařování.

Při volbě obalené elektrody musíme brát v úvahu:

- základní svařovaný materiál – chemické složení, mechanické vlastnosti, technologické vlastnosti, tloušťku materiálu;
- druh a velikost namáhání svarku – tah, tlak, ohyb, statické či dynamické namáhání apod.
- prostředí, kterému bude svarek vystaven;
- poloha při svařování.

Rozhodující vliv na jakost svaru při ručním svařování má průměr elektrody, svařovací proud, délka oblouku a rychlost svařování.

Průměr jádra elektrody se volí podle tloušťky svařovaného materiálu, tvaru, rozměru a polohy svaru a druhu obalu. Svařovací proud se určuje podle průměru elektrody. Lze použít následující empirické vzorce určující intenzitu proudu I [A] v závislosti na průměru jádra elektrody d [mm]:

$I \approx (40 \text{ až } 55) d$ - pro elektrody s kyselým obalem,

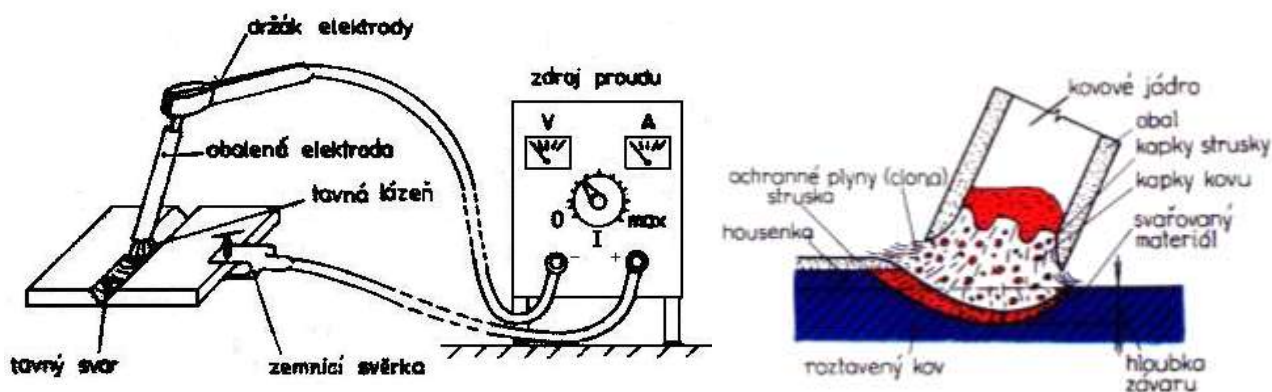
$I \approx (35 \text{ až } 50) d$ - pro elektrody s bazickým obalem.

Tavidla – pro obloukové svařování jsou synteticky připravované anorganické látky – nejčastěji křemičitany a mangan. Po dobu svařovacího procesu zakrývají svařovací oblouk a chrání svařovací lázeň před přístupem vzduchu a zúčastňují se metalurgického procesu svařování. Elektrody i tavidla dodává náš největší výrobce ESAB Vamberk, který ve svém katalogu nabízí uživatelům širokou škálu svých výrobků.

1.1.2.2.1 Svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou

Teplem elektrického oblouku se taví svařovaný materiál, kovové jádro elektrody i její obal. Struska vytvořená z obalu chrání odtavované kapky kovu před škodlivými účinky vzduchu tím, že jednak kapky kovu obaluje, a jednak vytvoří plynovou clonu, která zabraňuje přístupu

vzduchu ke kapkám kovu. Struska také zpomaluje rychlost ochlazování, eliminuje vznik teplotních pnutí a s tím spojených deformací materiálu. Svařuje se nejčastěji ručně ve všech polohách, protože oblouk má na tavnou část přímý vliv.



a) Zařízení pro ruční svařování

b) Tavení elektrody a základního materiálu

Obr. 91 Svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou

1.1.2.2.2 Svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře

Oblouk i svařový kov chrání před účinky okolní atmosféry **umělá atmosféra** – vytvořená vhodným ochranným plynem. Podle použitého ochranného plynu a podle elektrody rozlišujeme i způsoby obloukového svařování v ochranném plynu:

a) Svařování v ochranné atmosféře oxidu uhličitého tavnou elektrodou – metoda MAG – Metal Aktiv Gas.

Elektrický oblouk hoří mezi kovovou elektrodou – holým drátem o průměru (0,8 až 2,4) [mm] a svařovaným materiálem v aktivní atmosféře oxidu uhličitého nebo směsi oxidu uhličitého, argonu a kyslíku. Tento způsob je v průmyslu používán nejčastěji - zejména v poloautomatickém nebo automatickém režimu. Svařuje se výhradně stejnosměrným proudem při kladné polaritě elektrody. Hluboký závar a úzký svar umožňuje svařovat plechy do tloušťky 12 [mm] bez úkosů. Pro svařování tenkých plechů – do tloušťky 3 [mm] je vhodné používat magnetické tavidlo, čímž je lépe stabilizován oblouk. Metoda MAG se používá ke svařování nelegovaných, nízkolegovaných i vysokolegovaných ocelí a k navařování oceli.



Obr. 92 Svařování metodou MAG

b) Svařování v ochranné atmosféře argonu tavnou elektrodou – metoda MIG - Metal Inert Gas.

Elektrický oblouk hoří mezi kovovou tavnou elektrodou – holým drátem o průměru (0,8 až 2,4) [mm] a svařovaným materiálem v proudu netečného plynu argonu nebo hélia, případně jejich směsi. Elektroda je plynule dodávána do místa svaru podávacím zařízením; rychlost podávání lze regulovat. Výhoda směsného plynu je v zajištění rychlého ohřevu, dostatečné tekutosti a náležitém odplynění roztaveného kovu. Svařuje se opět stejnosměrným proudem při kladné polaritě elektrody poloautomatickým nebo automatickým režimem. Lze svařovat materiály tloušťky 30 až 50 [mm] z hliníku, mědi, titanu a dalších neželezných kovů.



Obr. 93 Poloautomatický systém PSM 506 firmy SELCO pro svařování metodami MIG/MAG

Poznámka:

1. Svařovací zařízení pro metodu MIG a MAG je stejné – mění se jen ochranný plyn popřípadě svařovací drát. Proto se často uvádí označení svařování MIG/MAG. K hlavním výhodám výše uvedených metod patří:

- ✓ nízká cena plynu
- ✓ čistota pracovního prostředí
- ✓ velká odtavovací rychlost elektrody
- ✓ možnost automatizace v procesu svařování a s tím spojená vysoká produktivita.



Obr. 94 Portálové robotické pracoviště ROMAT 56 pro svařování kontejnerových podlah firmy Cloos

2. Zvláštní variantou svařování MIG/MAG je tzv. **svařování s pulzujícím obloukem - MIGp/MAGp**, při kterém se v průběhu svařování mění hodnota svařovacího proudu – pulzuje. Tyristorová regulace umožňuje dosáhnout rozsahu (10 až 400) [impulz . s⁻¹]. K výhodám patří:

- ✓ velká stabilita svařovacího oblouku
- ✓ možnost svařovat tenké plechy
- ✓ úspora přídavného materiálu
- ✓ minimální rozstřík
- ✓ proměnná hloubka závaru.

3. Dalším pokrokem je **metoda rotujícího oblouku – TIME** (Transferred Ionized Molten Energy). Elektromagnetické síly, které vznikají v důsledku vysoké proudové hustoty, způsobují odklon oblouku od nataveného konce elektrody ze směru pohybu drátu a uvádějí ho do rotačního pohybu.

Největší výhody jsou:

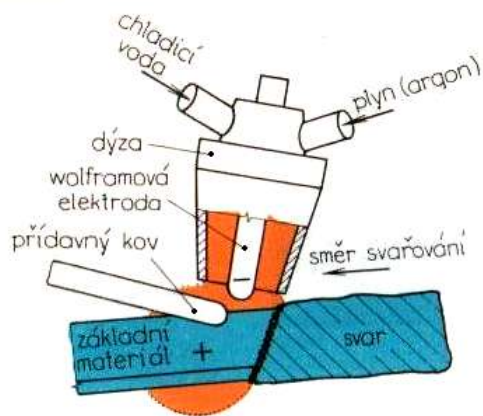
- ✓ ještě vyšší stabilita svařovacího oblouku
- ✓ vysoký odtavovací výkon – až 450 [g . min⁻¹] a s tím spojená velká rychlost svařování
- ✓ téměř žádný rozstřík
- ✓ možnost svařovat ve všech polohách s dobrými mechanickými vlastnostmi svarů.

- c) **Svařování v ochranné atmosféře argonu netavnou elektrodou – metoda WIG – Wolfram Inert Gas**; v anglosaských zemích je tato metoda označována **TIG – Tungsten Inert Gas**.

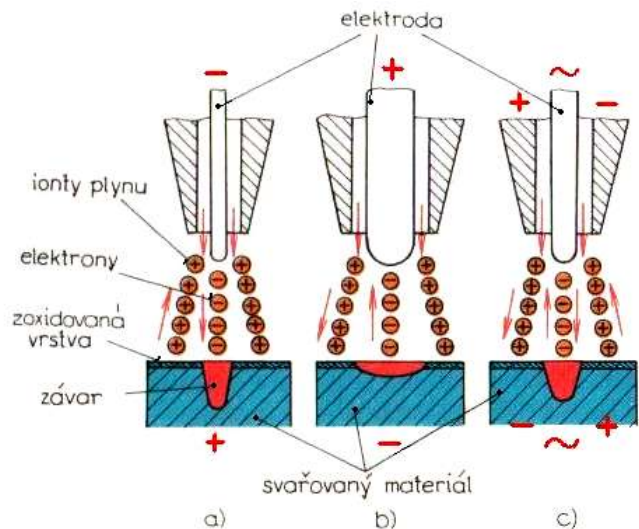
Elektrický oblouk hoří mezi netavnou wolframovou elektrodou a svařovaným materiálem v proudu netečného plynu – nejčastěji argonu případně hélia nebo jejich směsí. Netečný plyn chrání svarový kov před přístupem vzduchu a zvyšuje stabilitu svařovacího oblouku. Svařuje se zpravidla ručně, střídavým napětím – hliník, hořčík a jejich slitiny nebo stejnosměrným proudem – ocel, měď, titan a jejich slitiny. Tenké plechy lze svařovat bez přídavného materiálu, materiály větší tloušťky je nutno svařovat s přídavným materiálem stejného složení jako je základní materiál. Do svařovacího oblouku se přivádí ručně nebo podavačem drátu. Netavná elektroda je buď z čistého wolframu nebo s přísadou oxidu thoria.

Při tomto způsobu svařování je důležitá také polarita:

1. **Obrácená polarita** – nutno použít tlustou elektrodu zapojenou na plus pól zdroje – dochází k čistícímu účinku, neboť kladně nabití ionty argonu rozrušují povrchovou vrstvu oxidů. Svar je mělký a široký.
2. **Přímá polarita** – použijeme tenkou elektrodu zapojenou na mínus pól zdroje – nedochází k čistícímu účinku. Svar je úzký a hluboký.
3. **Svařování střídavým proudem** – využije se kladné půlperiody k čistícímu účinku argonu.



Obr. 95 Svařování metodou WIG - princip



Obr. 96 Vliv polarity na závar při svařování metodou WIG:
a) Přímá polarita; b) Nepřímá polarita;
c) Svařování střídavým proudem

Metoda WIG se používá s úspěchem pro svařování korozivzdorných a žárovevných ocelí, lehkých kovů a jejich slitin, mosazi, niklu a titanu.



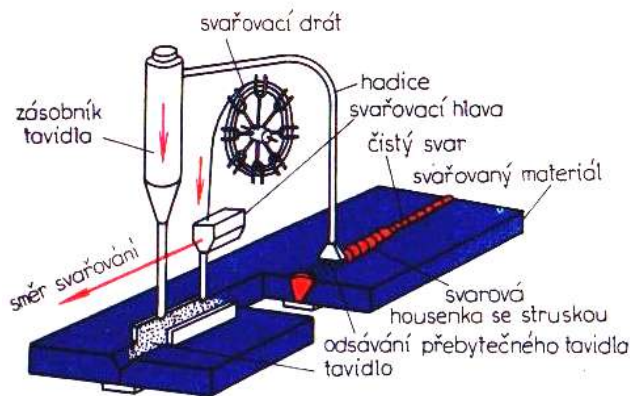
Obr. 97 Svařovací zařízení LDH 160H pro metodu WIG s vysokofrekvenčním zapalováním firmy MIGATRONIC



Obr. 98 Svařování nerezavějící oceli metodou WIG svařovacím zařízením GL 200 T firmy CLOOS

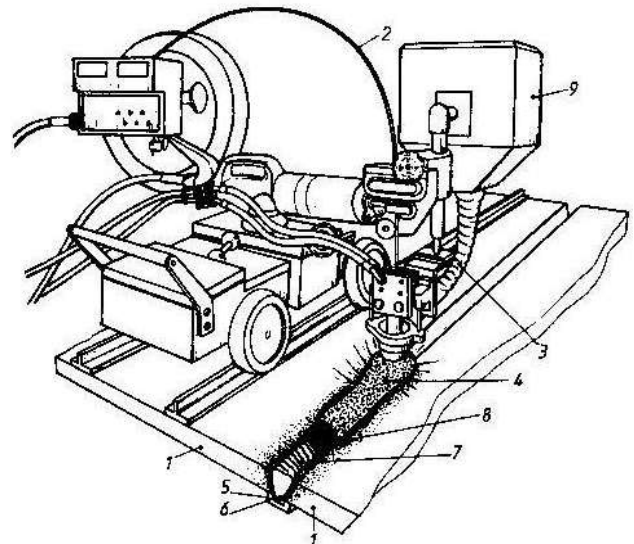
1.1.2.2.3 Svařování elektrickým obloukem v ochranném prostředí

a) Svařování pod tavidlem



Obr. 99 Princip svařování pod tavidlem

zajišťující provaření kořene svaru. Metoda je až 5 krát produktivnější proti ručnímu svařování, oblouk nezařazuje okolí a metalurgické reakce mezi svarovým kovem a aktivní – natavenou částí tavidla příznivě ovlivňují jakost svaru. Metodu lze snadno automatizovat – použitím tzv. **svařovacího traktoru**. Lze použít i tzv. **tandemového** způsobu automatického svařování za použití dvojité svařovací hlavy pro realizaci svařování symetrických svařovaných konstrukcí např. mostů, velkými tupými nebo koutovými svary, na které jsou kladeny nejvyšší požadavky mechanických vlastností, vzhledu a kvality. Tloušťka svařovaných dílů může být od (2 do 200) [mm].



Legenda:

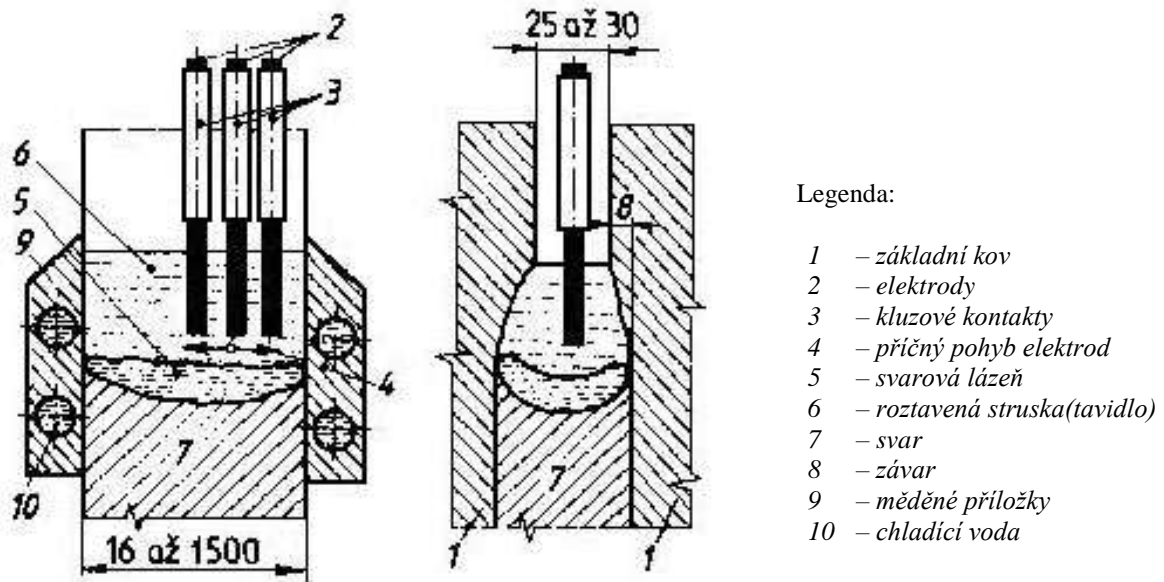
1 – základní materiál; 2 – elektroda (drát);
3 – přívod tavidla; 4 – tavidlo; 5 – podložka;
6 – kořen svaru; 7 svar; 8 – struska (natavené tavidlo); 9 – zásobník tavidla.

Obr. 100 Svařovací traktor

b) Elektrostruskové svařování

Holá drátová tavná elektroda, případně skupina elektrod - zasahuje do tavidla, které je v pevném skupenství nevodivé. Po zažehnutí oblouku začne tavidlo měnit své skupenství a stává se postupně vodivým. Po určité době oblouk zanikne, tekuté tavidlo je dále ohříváno odporově. Teplem strusky se odtavují konce elektrody a natavuje se svařovaný materiál. Svařuje se směrem zdola nahoru a v celém průřezu svaru najednou. Formování a ochlazování svarového kovu obstarávají měděné vodou chlazené příložky, které se posouvají současně s vlastním zařízením. Je-li tloušťka svařovaného materiálu větší než průřez tavné lázně, koná skupina elektrod přímočarý vratný pohyb v příčném směru s určitou výdrží v úvratích.

Svařují se materiály tloušťky (16 až 1500) [mm] tupými svary. Svařuje se výhradně automaticky střídavým nebo stejnosměrným proudem. Výhodou je vysoká tepelná účinnost - až 80 [%] a značná produktivita, která roste s tloušťkou svařovaných součástí. Svařují se hlavně kotlové pláště, velké celky z odlitých nebo vykovaných dílů apod.



Obr. 101 Elektrostruskové svařování

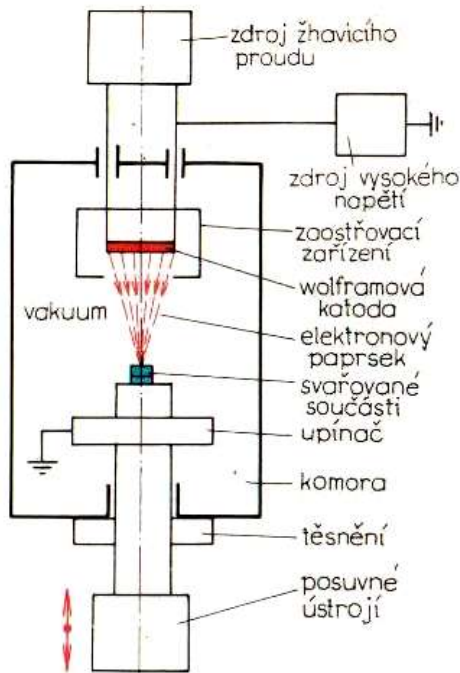
1.1.2.3 Svařování elektronovým paprskem

Svazek elektronů emitovaný rozžhavenou wolframovou katodou je urychlován napětím až 150 [kV] směrem k cloně – anodě. Rychlost elektronů je až 165 000 [km . s⁻¹]. Svazek paprsků dále prochází zaostřovacími elektromagnetickými čočkami, které jej soustředí do místa svaru. Kinetická energie elektronů, dopadajících na svařovaný materiál, se mění na tepelnou, čímž teplota může dosáhnout (5 000 až 6 000) [°C]. Pohybem svařovaného předmětu se vytvoří potřebný svar. Zařízení bylo dříve umísťováno do vakuové komory, dnešní moderní zařízení umožňuje svařování bez vakuové komory, což značně rozšiřuje uplatnění této metody. Tato moderní zařízení umožňují programování svařovacího procesu a jeho sledování na televizní obrazovce.

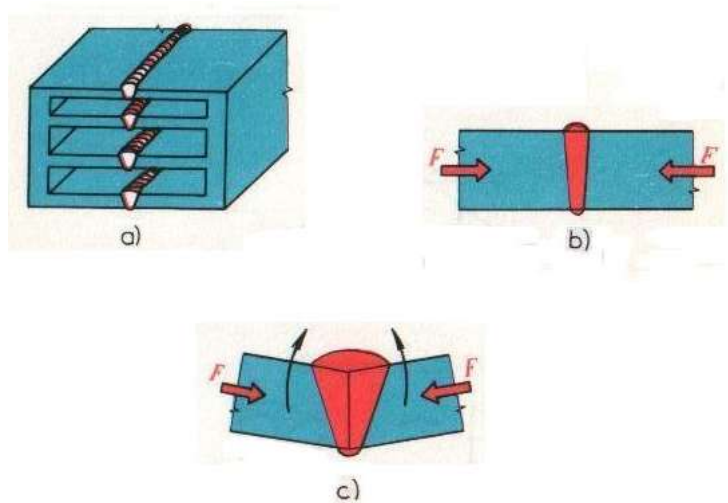
K výhodám patří:

- ✓ vysoká produktivita – rychlost svařování je 10x větší než u svařování metodou WIG;
- ✓ možnost regulace hloubky svaru;
- ✓ svařování se provádí bez přídavného materiálu, až na výjimky;
- ✓ Vzniká svar s malou šířkou i u velmi tlustých materiálů, které nevyžadují zvláštní předsvarovou úpravu. Vzniká tak minimální tepelně ovlivněná oblast prakticky bez deformací a bez změny struktury.
- ✓ Lze svařovat několik součástí nad sebou jedním průchodem svazku elektronů, tzv. *přes stěnu*.
- ✓ Proces lze snadno automatizovat, což zajišťuje svary nejvyšší kvality splňující nejnáročnější požadavky – realizace kosmických programů a programů jaderné techniky.

Nevýhodou je nutnost ochrany obsluhy před vzniklým rentgenovým zářením, které je nutno odclonit.



Obr. 102 Princip svařování elektronovým paprskem



Obr. 103 Výhody svařování elektronovým paprskem:
 a) Svařování jedním průchodem svazku elektronů;
 b) Deformace při svařování elektronovým paprskem;
 c) Deformace při svařování WIG

1.1.2.4 Svařování laserem

Podstatou je *soustředění energie elektromagnetického záření viditelného světla na malou plochu* do místa svaru. Generátorem paprsků vysoké intenzity je **laser**. Z vysílače – xenonové výbojky a rubínového krystalu vychází mnohonásobně zesílený světelný paprsek, který je do místa svaru *fokusován*. Přeměnou energie záření na tepelnou energii se místo dopadu – svaru ohřeje na teplotu svařování – až na několik desítek tisíc [°C]. Svařovací parametry lze přesně nastavit. Charakter svaru je podobný jako u svařování elektronovým paprskem. Uplatňuje se hlavně při svařování malých součástí s vysokým bodem tání - dříve hlavně pouze pro vědecké účely. Dnes se využívá i průmyslově – např. při svařování dílů karoserií z tenkých plechů. Svar není prakticky okem rozpoznatelný.

K výhodám patří:

- ✓ svařování neprobíhá ve vakuové komoře a lze uplatnit metodu průchozího paprsku přes *stěnu*;
- ✓ lze svařovat materiály, které jsou jinými způsoby nesvařitelné;
- ✓ Metoda je vhodná pro svařování velmi tenkých materiálů – řádově několik mikrometrů;
- ✓ Laseru lze využít pro medicínské účely a také pro dělení kovových i nekovových materiálů.

1.1.2.5 Svařování plazmou

Zdrojem tepla pro natavení vzájemně spojovaných součástí je úzký svazek vysokotlakého plazma o teplotě řádově 10^4 [°C] vystupující nadzvukovou rychlostí z trysky plazmového hořáku. Plazmový oblouk je stabilní a mimořádně dlouhý (až 300 [mm]), úzký, takže svarová lázeň je malá. Jako plazmový plyn se pro ocel používá čistý dusík, pro neželezné kovy argon a vodík. Plazmový hořák je chlazen vodou. Svařování se provádí střídavým i stejnosměrným proudem. Svařovat lze všechny druhy materiálů, které se jinak běžně svařují metodou WIG. Do tloušťky 12 [mm] je však možno svařovat materiály bez úkosů a bez přídavného materiálu. Při větších tloušťkách nutno provést minimální zkosení.

Mezi výhody svařování plazmou patří:

- ✓ malá tepelně ovlivněná oblast, malé deformace svařovaných dílů a dobrý vzhled svarů;
- ✓ svařování těžko tavitelných kovů;
- ✓ svařování široké škály tloušťek materiálů – od několika setin až po řádově desítky mm;
- ✓ zařízením lze navařovat slitiny se speciálními vlastnostmi a provádět nástřiky kovových prášků, čímž lze vytvářet povlaky s dobrou odolností proti korozi, erozi, a které jsou například odolné proti otěru, nebo jsou i žáruvzdorné;
- ✓ využití plazmového zdroje pro dělení široké škály materiálů.

1.1.3 Svařování působením tepla a tlaku

Patří sem metody, při kterých dochází k natavení stykových ploch a vyvození potřebného tlaku, kterým nastane svaření. Nezáleží jaký zdroj tepla se použije. Volí se takový, který nejlépe vyhovuje praktickým požadavkům.

1.1.3.1 Svařování elektrickým odporem

Svařovanými díly protéká elektrický proud, přičemž v místě spoje je největší přechodový odpor. Materiál se zde zahřeje na teplotu svařování a tlakem se spojí – svaří. Teplo Q [J], které vzniká je dáno Joulovým zákonem:

$$Q = I^2 R t, \quad \text{kde } I \dots \text{intenzita elektrického proudu [A],}$$
$$R \dots \text{celkový elektrický odpor v místě svaru } [\Omega]$$
$$t \dots \text{svařovací čas [s].}$$

Vzhledem k nízkým hodnotám pracovního napětí (0,5 až 20) [V] se musí použít vysokých proudů řádově 10^5 [A]. Potřebné teplo se získá u moderních svařovacích přístrojů **tvrdým režimem** – působením vysokých proudů v krátkém čase. Druhou možností je **měkký režim** – působením nižších proudů po delší dobu, který je méně častý.

Svařování elektrickým odporem se používá v kusové i sériové výrobě, neboť lze tuto metodu snadno mechanizovat a automatizovat. Každá **odporová svářečka** má dvě části – **mechanickou a elektrickou**. Mechanická část je tvořena upínacím a přitlačovacím zařízením, a elektrická část je tvořena svařovacím transformátorem, který zabezpečuje ohřev materiálu na

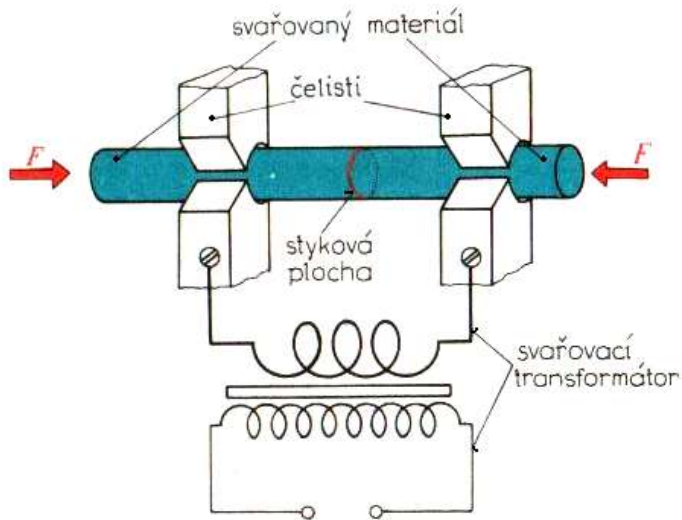
teplotu svařování. Nejprve dojde k *sevření* svařovaných dílů dosedacím tlakem, potom se do elektrod vpustí krátkodobě svařovací proud. Po *natavení* se nejprve přeruší přívod svařovacího proudu a teprve potom přestane působit dosedací tlak, čímž vznikne kvalitní *svarový spoj*. Podle získaného druhu spoje může být **svařování odporem**:

1. stykové – na tupo;
2. bodové, švové a výstupkové.

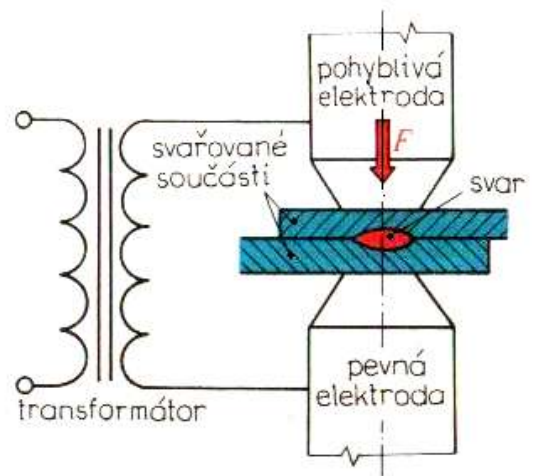
1.1.3.1.1 Stykové svařování

Střídavý proud se přivádí ze sítě na svorky primárního vinutí transformátoru, čímž se na sekundáru indukuje proud o napětí (1 až 12) [V]. Svařování probíhá *odtavovacím způsobem*, takže stykové plochy není třeba před svařením pečlivě čistit ani upravovat. Po přivedení dílů do elektrického kontaktu dojde k ohřevu stykových ploch na odtavovací teplotu. Po zažehnutí oblouku nastává vlastní *odtavení* – ze svarových ploch srší jiskry. Protože materiál ubývá, musí se součásti k sobě přibližovat. V další fázi se vypne elektrický proud, díly se k sobě přitlačí a svaří. Natavený materiál tuhne ve tvaru čochky. Přitlačením se odstraní zbylé nečistoty, které jsou vytlačeny do otřepu. Způsob je vhodný např. k přivařování svorníků k ocelovým konstrukcím.

V poslední době se používá i ručních přístrojů, pracujících na principu kondenzátorového výboje. Zařízení je malé, vhodné i pro montážní účely. Lze svařovat i různé, avšak vodivé materiály – např. ocel a měď apod. Materiály mohou mít dokonce i povrchovou úpravu – mohou být například pozinkované.



Obr. 104 Princip stykového svařování



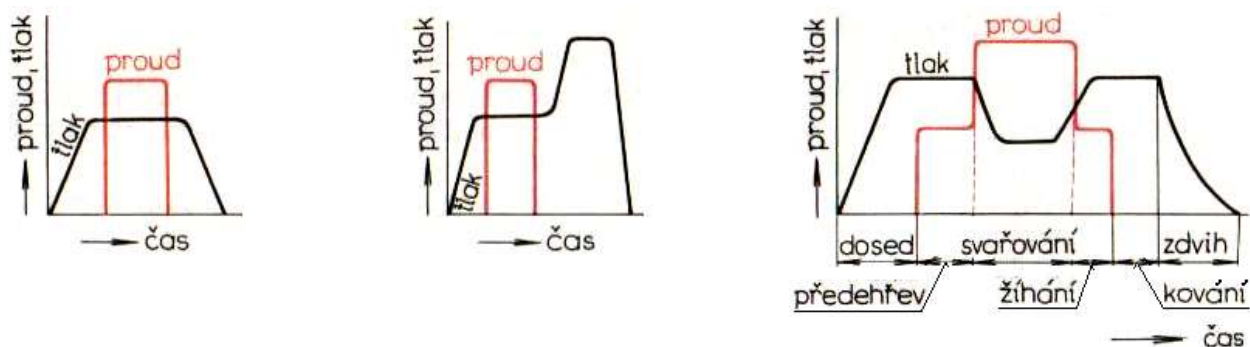
Obr. 105 Bodové svařování

1.1.3.1.2 Bodové svařování

Svařované díly – nejčastěji plechy se přeplátují, sevrou mezi dvě elektrody a zapne se elektrický proud. Ve stykových plochách – v místě největšího přechodového odporu, dojde k roztavení a svaření. Jakmile je svar proveden, vypne se nezávisle na obsluze svařovací okruh a svar dále tuhne pod tlakem, takže nehrozí nebezpečí vzniku staženin. Používají se měděné elektrody, které jsou uvnitř chlazeny vodou. Vlivem chladícího účinku má svar jemnozrnnou strukturu.

Moderní svařovací stroje jsou vybaveny **programovým řízením**, které umožňuje realizaci i složitých svařovacích cyklů – časových průběhů tlaku a proudu.

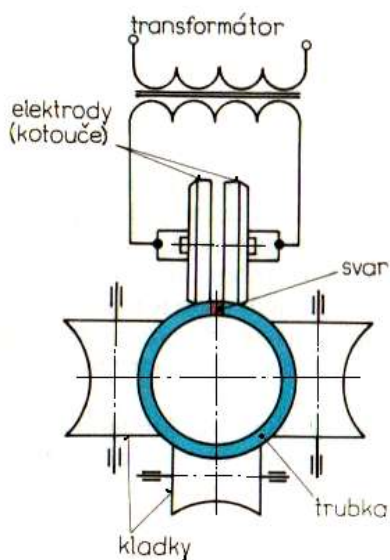
Nejčastěji se používají stabilní svářečky a to buď **mechanické** nebo **rychlobodovací – automatické**. Rozměrné díly se bodují pomocí **mnohobodových svářeček** – např. při výrobě karoserií, kde na jeden pracovní zdvih se zhotoví současně větší počet bodových svarů.



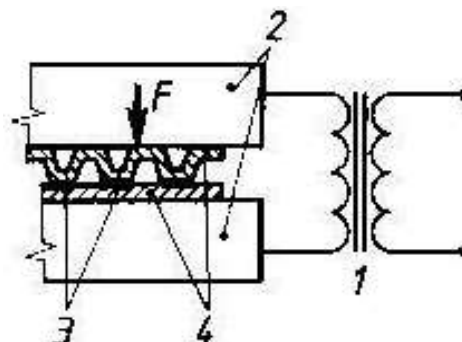
Obr. 106 Svařovací cykly při bodovém svařování – od jednoduchých až po programově řízené

1.1.3.1.3 Švové svařování

Je obdobou bodového svařování, avšak vodou chlazené elektrody mají tvar kotouče. Lze jimi zhotovit průběžné svary překládaných plechů. Způsob lze použít i ke zhotovení tupých svarů. Nejznámější použití je pro výrobu **švově svařovaných trub**.



Obr. 107 Švové svařování trub



Legenda:

- 1 – svařovací transformátor;
- 2 – elektrody;
- 3 – svary;
- 4 – svařované díly

Obr. 108 Výstupkové svařování

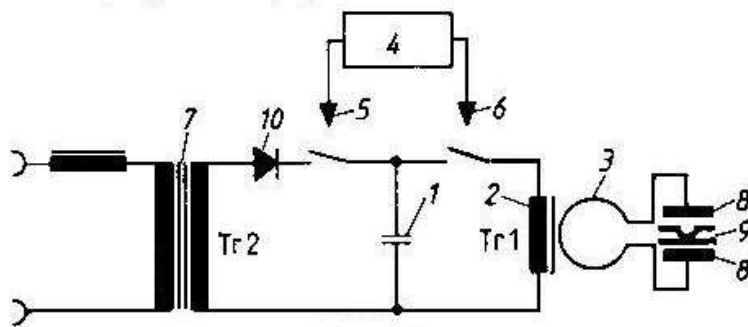
1.1.3.1.4 Výstupkové svařování

Ke koncentraci svařovacího proudu a tlaku do místa svaru slouží **výstupky** vhodného tvaru, které se zhotoví nejčastěji **lisováním**. Tato metoda patří mezi nejproduktivnější a pro její realizaci se používají **svařovací lisy**. Deskové elektrody nejprve stisknou svařované díly a po dosednutí výstupků se zapne svařovací proud. Tím dojde v místě styku obou dílů k **natavení** a ke

svaření. Svařovací lisy pracují většinou automaticky, a proto mají uplatnění hlavně v hromadné výrobě.

1.1.3.1.5 Impulzní odporové svařování

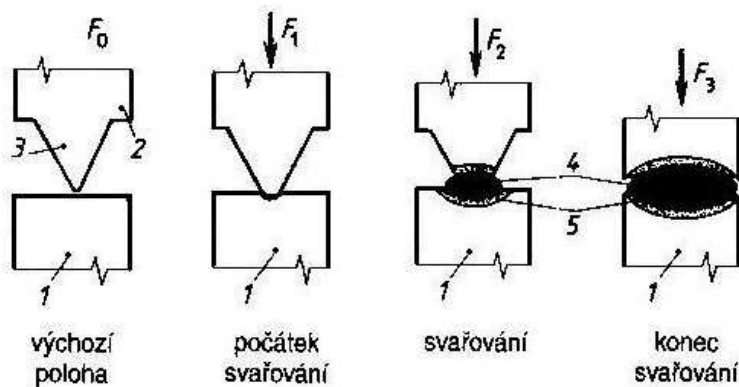
Potřebná energie se akumuluje v **kondenzátorové baterii** a během svařování se vybíjí krátkým impulzem přes primární vinutí **impulzního transformátoru**. Na sekundárním vinutí se indukuje **proudový pulz** o velikosti (3 až 300) [kA], působící po dobu (1,2 až 14) $\cdot 10^{-3}$ [s], s energií v rozsahu (50 až 24 000) [J]. Opakovací cyklus je (1 až 3) [s]. Celý proces je programově řízen. Svarový průřez musí být předem konstrukčně vymezen – předlisováním výstupků, vytvořením prolisů apod.



Legenda:

- 1 – kondenzátorová baterie;
- 2 – primární vinutí impulzního transformátoru;
- 3 – sekundární vinutí sekundárního transformátoru;
- 4 – řídicí a regulační systém;
- 5, 6 – spínače; 7 – transformátory;
- 8 – elektrody;
- 9 – svařované dílce;
- 10 – usměrňovač

Obr. 109 Impulzní odporové svařování



Legenda:

- 1 – svařovaný dílec 1- při svařování nepohyblivý;
- 2 – svařovaný dílec 2 – při svařování pohyblivý;
- 3 – předlisovaný výstupek;
- 4 – svar;
- 5 – závar

Obr. 110 Schéma vzniku svaru při impulzním odporovém svařování

Jde o novou progresivní a velmi produktivní metodu svařování, která se rychle rozšiřuje hlavně v podmínkách hromadné výroby v podmínkách automobilového průmyslu při spojování čepů, svorníků a podobných součástí s tenkostěnnými díly, navařování matic na výlisky z plechu apod. K hlavním výhodám dále patří:

- ❖ zkrácení svařovacího cyklu a snížení spotřeby energie;
- ❖ zmenšení tepelného ovlivnění okolí svaru, které je prakticky téměř bez pnutí a deformací;
- ❖ přenos tepla na elektrody je minimální a nevyžaduje jejich chlazení.

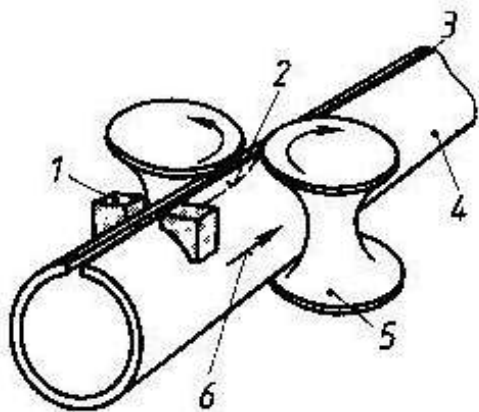
1.1.3.1.6 Impulzní odporové navařování

Je perspektivní **opravářenskou technologií** aplikovanou zejména při **renovaci válcových ploch**. Princip tkví v odporovém navařování přídavného materiálu – drátu na otáčející se válcovou plochu ze základního materiálu silnými **impulzy** elektronicky modulovaného a přerušovaného elektrického proudu. *V okamžiku impulsu proudu dochází v místech styku základního a přídavného materiálu k lokálnímu natavení jejich povrchů, přičemž drát je v polotekutém plastickém stavu. Drát je navařovací kladkou odporově navařen a další kladkou je rozválečkován na základní materiál – tj. opravovanou válcovou součást.* Celý cyklus se nepřetržitě opakuje s frekvencí danou celkovým svařovacím postupem. Výsledkem je vytvoření rovnoměrné, poměrně hladké nové povrchové vrstvy. Dokončení renovace se provede buď soustružením nebo broušením na požadovaný rozměr a jakost povrchu.

Způsob je vhodný jak pro navařování nelegovaných, tak i vysoce legovaných ocelí. Metoda je vysoce produktivní a efektivní - prakticky beze ztrát přídavného materiálu, při dodržování vysoké hygieny práce – bez exhalací a záření do okolí.

1.1.3.2 Indukční svařování

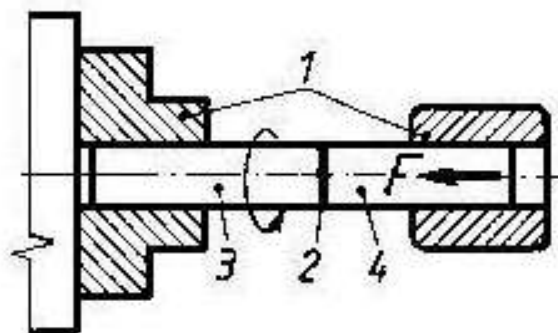
Ohřev na teplotu svařování – asi 150° [C] pod teplotu tavení materiálu je realizován **tepelným účinkem indukovaného střídavého proudu**. Ohřívací cívka – **induktor**, konstruovaný podle tvaru svařovaných dílů, provede lokální ohřev a tlakové zařízení dokončí svaření. Metoda je velmi rychlá s velmi úzkou tepelně ovlivněnou oblastí svaru. Používá se při automatizované výrobě trubek.



Legenda:

1 - elektroda; 2 - cesta proudu; 3 - svar;
4 - svařená trubka; 5 - tlačné válce;
6 - pohyb trubky

Obr. 111 Indukční svařování trubek



Legenda:

1 - upínače;
2 - svar; 3 - rotující svařovaná součást;
4 - svařovaná součást v klidu

Obr. 112 Svařování třením - Čudikovova metoda

1.1.3.3 Svařování třením

Podstatou tzv. **Čudikovovy metody svařování třením** je přímá přeměna mechanické energie v tepelnou. Svařované součásti se upnou do svařovacího zařízení tak, aby se vzájemně dotýkaly svarovými plochami. Otáčením jedné součásti rychlostí (2 až 4) [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] a za současného působení tlaku (30 až 80) [MPa] se vlivem tření svarové plochy rychle ohřejí na teplotu svařování. Ke svaření dojde následně vyvozením pýchovacího tlaku (80 až 100) [MPa] po zastavení stroje. Třením lze svařovat nelegované i legované konstrukční oceli, neželezné kovy – měď, mosaz i ve vzájemné kombinaci kruhového i mezikruhového průřezu.

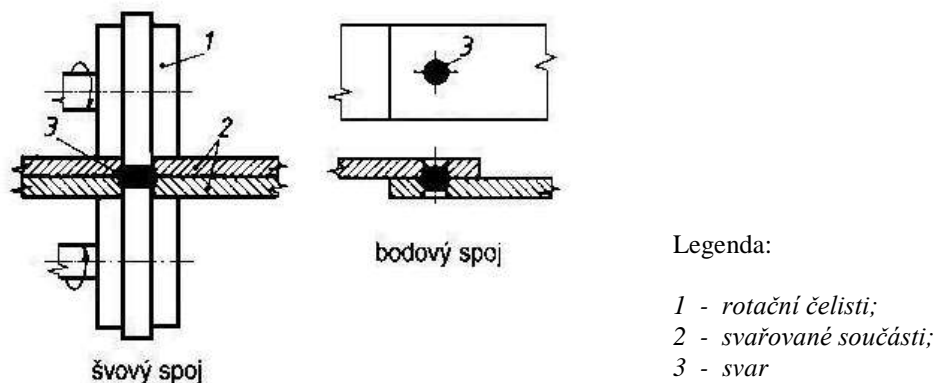
1.1.4 Svařování působením tlaku

Podstata těchto metod záleží ve vzájemném přiblížení svařovaných dílů na vzdálenost odpovídající řádově **parametru** krystalové mřížky jejich materiálů. Ke svaření dojde vlivem **difúze**, kdy se ve stykových plochách vytvoří **vazby mezi hraničními mřížkami**.

1.1.4.1 Svařování tlakem za studena

Stykové plochy svařovaných součástí se zbaví oxidů a přitisknou se pomocí čelistí k sobě tak, aby ve stykových plochách vznikl **tlak** vyšší než je **mez plasticity základního materiálu**. Podle druhu základního materiálu se tato hodnota pohybuje mezi (300 až 3800) [MPa]. Nejlepších výsledků této metody bylo dosaženo u **hliníku a jeho slitin**, které však neobsahují více jak 3% Si nebo Mg. Dobře se také svařují další neželezné kovy – **Ni, Pb, Cu a Ag**.

Metoda je vhodná např. při výrobě konzerv, nádrží, trubek apod. Tloušťka svařovaných plechů by však neměla přesahovat 5 [mm]. Spoje se dělají jako **překlátované, bodové** nebo **stykové**.



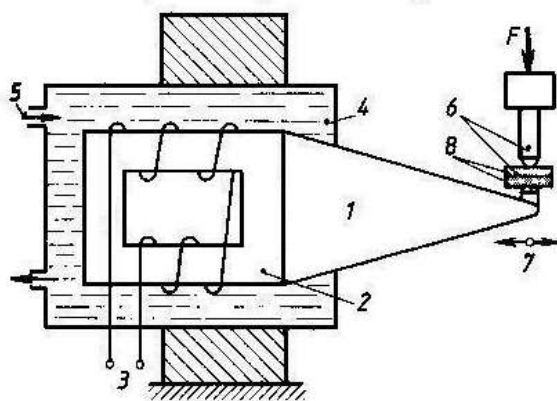
Obr. 113 Svařování tlakem za studena

1.1.4.2 Svařování ultrazvukem

Spojované díly jsou vystaveny účinkům **ultrazvuku** za současného působení **tlaku**. Svařovací zařízení vytváří **mechanické kmity** (14 až 20) [kHz] a ty jsou přenášeny **vlnovcem** na

tzv. *sonotrody*, které soustředí tlakovou sílu a mechanické kmity do místa svaru. Při svařování kovů působí tlaková síla a mechanické kmity ve vzájemně kolmých směrech.

Metoda je vhodná pro svařování kovů – i různého druhu a velmi malé tloušťky jedné ze součástí – od fólií 0,005 [mm] až po plechy do 3 [mm]. Omezená je jen jedna tloušťka svařované součásti, druhá může být libovolně tlustá. Touto metodou lze svařovat i plasty. Svarové spoje mohou být *překlátované*, *bodové* nebo *švové*.



Legenda:

- 1 - vlnovec;
- 2 - magnetostrikční měnič;
- 3 - zdroj vysokofrekvenčního proudu;
- 4 - chladič;
- 5 - chladičí voda;
- 6 - sonotrody;
- 7 - kmitání;
- 8 - svařované díly

Obr. 114 Zařízení pro svařování ultrazvukem

1.1.5 Svařování plastů

Svařovat lze jen **termoplasty**, neboť se teplem taví. Ke svařování se používá horký plyn – vzduch nebo dusík, který se ohřeje ve svařovací pistolí. Přídavný materiál – nejčastěji ve formě drátu, je z téhož plastu jako svařované díly. Způsoby svařování i druhy svarů jsou obdobné jako u kovů. Vždy však záleží na vlastnostech a tloušťce svařovaných plastových dílů.

U materiálů tlustších než 2 [mm] se nemůže svařit celá tloušťka najednou, ale postupným přivařováním jednotlivých housenek.



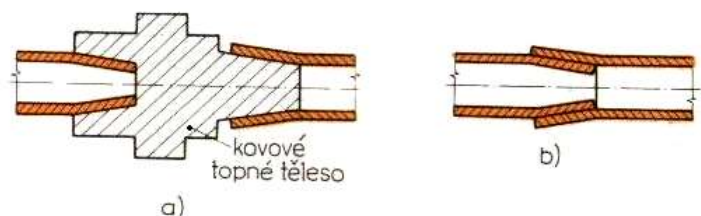
Legenda:

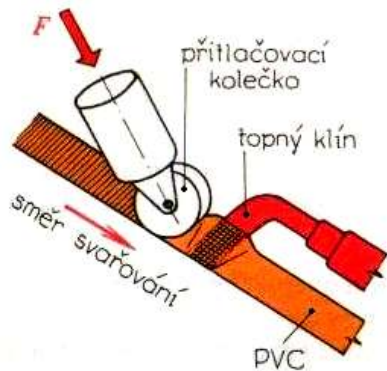
- a) Svar V
- b) Svar X

čísla označují postup kladení housenek při svařování

Obr. 115 Postup při svařování tlustých materiálů

Svařování kovovým topným tělesem se používá u svarů překlátovaných nebo u svatů na tupo. Tvarování spojovaných konců a následující svaření nebo slepení zachycuje *obr. 117*.





Obr. 116 Svařování plastů topným tělesem

Kromě těchto výše uvedených způsobů lze plasty svařovat ještě **třením**, **vysokofrekvenčně** a **ultrazvukem**.

Obr. 117 Tvarování a spojování trubek:

- a) Ohřátí a tvarování trubek topným tělesem
- b) Spojení trubek svařením pokud jsou horké nebo slepením po vychladnutí

1.1.6 Hlavní technologické zásady svařování

Svařování jako výrobní technologie je ve strojírenství hned po obrábění nejdůležitější, a proto je třeba konstruování a technologii svarků věnovat zvláštní pozornost.

1.1.6.1 Svařitelnost kovových materiálů

Svařitelnost je technologická vlastnost vyjadřující komplexní charakteristiku materiálu určující vhodnost kovu pro požadované svařované spoje předepsané jakosti a konstrukční spolehlivosti.

Vhodnost kovu ke svařování je charakteristika, která vyjadřuje změnu vlastností kovu v důsledku svařování. Je podmíněna těmito základními činiteli:

- chemickým složením,
- metalurgickým způsobem výroby,
- způsobem lití a sváření,
- tepelným zpracováním.

Technologická možnost svařování kovu je charakteristika vyjadřující vliv použitého druhu svařování na vlastnosti svarového spoje.

Hodnocením svařitelnosti se určuje:

- vhodnost materiálu na svařování za určitých technologických, případně konstrukčních podmínek,
- jaké jsou technologické podmínky svařování určitého materiálu na dosažení funkčně vyhovujícího spoje.

Svařitelnost jednotlivých kovových materiálů a jejich slitin je velmi rozdílná a je uváděna v příslušných normách jakosti a v materiálových listech. Rozlišujeme svařitelnost tavnou a tlakovou.

Tavná svařitelnost závisí na chemickém složení, způsobu výroby, tepelném zpracování a dále vzhledem k těmto činitelům i na tloušťce svařovaných materiálů. Vyjadřujeme ji následovně těmito čtyřmi stupni:

- 1a svařitelnost zaručená,**
- 1b svařitelnost podmíněná,**
- 2 svařitelnost dobrá,**
- 3 svařitelnost obtížná.**

U **nelegovaných (uhlíkových) ocelí** je tavná svařitelnost ovlivněna především obsahem uhlíku, i když je třeba vzít v úvahu i obsah ostatních prvků a nečistot. Platí však zásada, že tyto oceli do obsahu $C < 0,22$ [%] jsou dobře svařitelné do tloušťky 25 [mm] bez jakéhokoliv předehřevu, avšak pro větší tloušťky než 25 [mm] musí být předehřáty. Čím je větší obsah uhlíku, tím větší potíže při svařování vznikají, neboť rychlým ochlazením po svaření se může v tepelně ovlivněné oblasti svaru vyloučit tvrdý a křehký martenzit. Vzniká i vnitřní pnutí v jehož důsledku se mohou objevit trhliny a může dojít k praskání svaru. Proto dobře kalitelné oceli jsou současně obtížně svařitelné. Oceli s obsahem $C > 0,5$ [%] se nedoporučují pro svařování vůbec – zejména v sériové výrobě.

U **legovaných ocelí** se tavná svařitelnost posuzuje především podle jejich prokalitelnosti. Vliv jednotlivých prvků, které zvyšují prokalitelnost a působí na vznik martenzitu podobně jako uhlík se vyjadřuje tzv. **uhlíkovým ekvivalentem**, který má být $C_e \leq 0,5$ [%] a stanoví se pro oceli ze vztahu:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024t,$$

kde t je tloušťka materiálu mm.

U **korozivzdorných ocelí** se pro spolehlivost svaru provádí většinou tzv. **Schäfflerův výpočet ekvivalentu chromu a niklu** a na základě jejich velikosti se kontrolují strukturní složky v tepelně ovlivněné oblasti podle **Schäfflerova diagramu**.

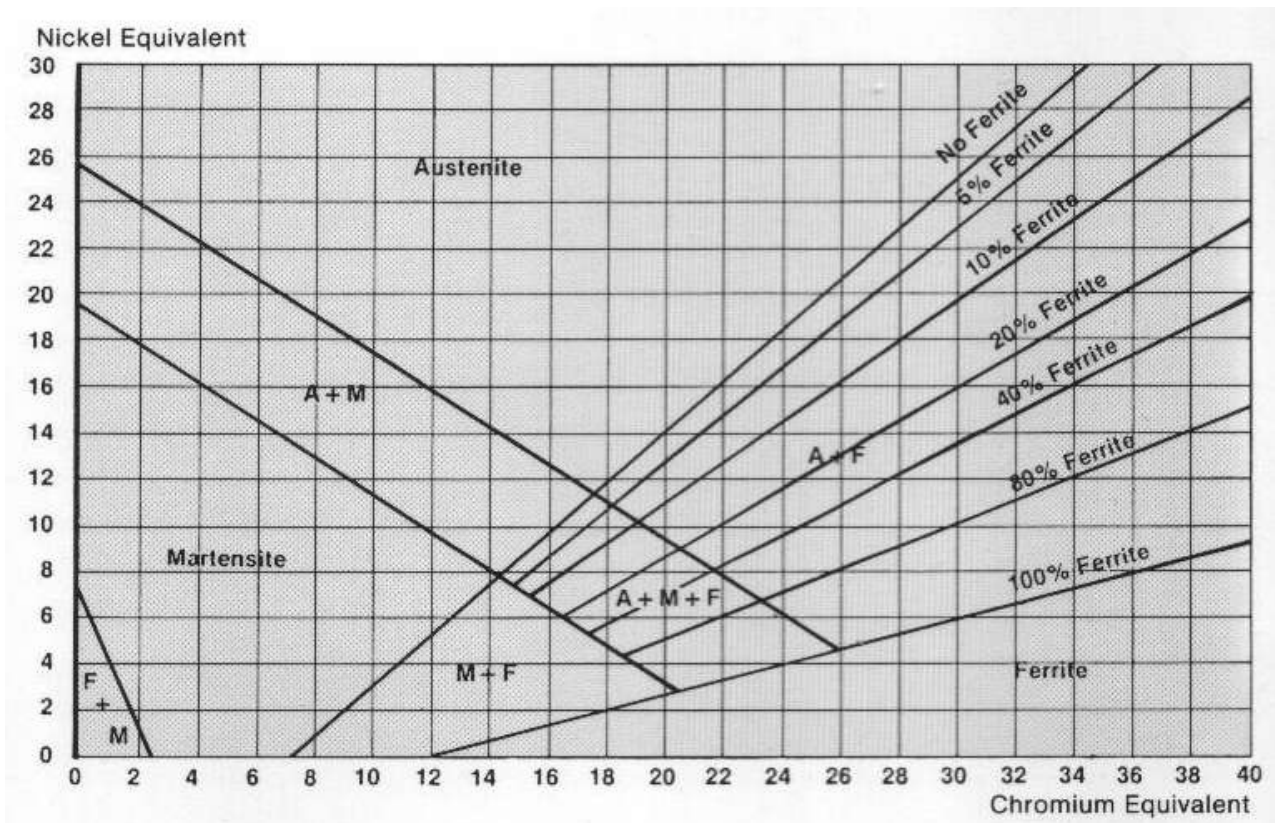
Ekvivalent chromu stanovíme ze vztahu:

$$Cr_e = [\%] Cr + [\%] Mn + 1,5 \cdot [\%] Si + 0,5 \cdot [\%] Nb,$$

ekvivalent niklu ze vztahu:

$$Ni_e = [\%] Ni + 30 \cdot [\%] C + 0,5 \cdot [\%] Mn$$

Pro spolehlivost svarového spoje by se neměl v tepelně ovlivněné oblasti svaru vyskytovat martenzit. Pokud podle kontroly toto nebezpečí hrozí, je třeba ocel před svařením předehřát. Teploty předehřevu se určují podle výše uvedených ekvivalentů výpočtem, případně podle dalších diagramů uvedených v odborné literatuře.



Obr. 118 Schäfflerův diagram

U ocelí nelegovaných, nízkolegovaných a středně legovaných, tvářených a ocelí na odlitky se *uhlíkový ekvivalent* stanoví ze vztahu:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Odporová (tlaková) svařitelnost je vlastnost materiálů, vyjadřující schopnost vytvořit pomocí odporového tepla a působení tlaku pevné spojení požadovaných vlastností. Měřítkem odporové svařitelnosti je komplexní působení jednotlivých prvků na její prokalitelnost. Opět je vyjádřena *ekvivalentem uhlíku* ze vztahu, který má tentokrát tvar:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{6} + \frac{V}{4}$$

Svařitelnost litiny je obtížná, neboť obsahuje hodně uhlíku. Navíc litina přechází z pevného přímo do tekutého stavu bez jakéhokoliv přechodu, tj. těstovitého stavu. Je špatným vodičem tepla – svar je náchylný k praskání. Před svařováním je nutné předehřívání, po svařování žihání.

Neželezné kovy a jejich slitiny lze svařovat téměř všemi způsoby tavného a odporového svařování. Tvářené materiály mají většinou dobrou svařitelnost, lité materiály obtížnou, a proto vyžadují předehřev, popřípadě zvláštní pracovní postupy. Při svařování plamenem je nutné používat tavidlo. Bez tavidla lze aplikovat pouze svařování v ochranné atmosféře.

Svařitelnost mědi a jejich slitin ovlivňuje hlavně kyslík – maximální obsah 0,02 %. Měď lze svařovat téměř všemi způsoby tavného svařování. Pro dosažení stejných mechanických

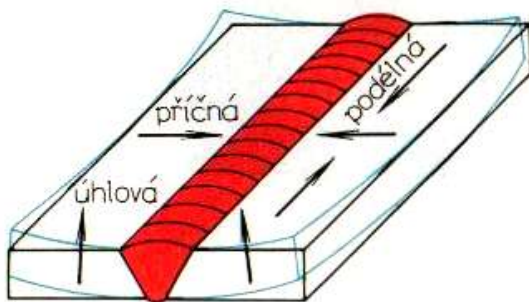
vlastností jako měl základní materiál se měď prokovává – teplota musí být vyšší než 800 [°C]. Při svařování některých bronzů a mosazí nejsou všechny způsoby svařování vhodné. Je proto třeba ověřit vhodnost metody z norem jakosti nebo z odborné literatury. Při nesprávné volbě metody může dojít k praskání svarů, odpařování zinku apod.

Svařitelnost hliníku a jeho slitin velmi ovlivňuje tenká vrstva oxidu hlinitého, jehož teplota tavení je asi 2050 [°C]. Odstraňuje se různými tavidly na bázi chloridů. Nevýhodou je také tavení hliníku bez změny barvy. Při svařování tvářených materiálů se mění původní struktura v litou. Zlepšení mechanických vlastností lze provést tepelným zpracováním. Hliník a jeho slitiny se svařují všemi běžnými způsoby tavného svařování. Uplatňuje se i svařování za studena, zejména v elektrotechnice při spojování hliníkových a měděných vodičů.

1.1.6.2 Svarová pnutí a deformace

Při svařování dochází vlivem nerovnoměrného ohřevu ke vzniku **vnitřního pnutí**, a tím k **deformacím** – smrštění svarku. Rozlišujeme tyto **deformace**:

- **podélné** – vznikají podélným smrštěním svarového kovu a u tupých i koutových svarů se projevují zkrácením délky svarku;
- **příčné** – vznikají příčným smrštěním svarového kovu a projevují se zkrácením šířky svarku;
- **úhlové** – vznikají různým příčným smršťováním, neboť horní části svaru mají větší rozměr, a proto se smrští víc než dolní.



Obr. 119 Deformace při svařování

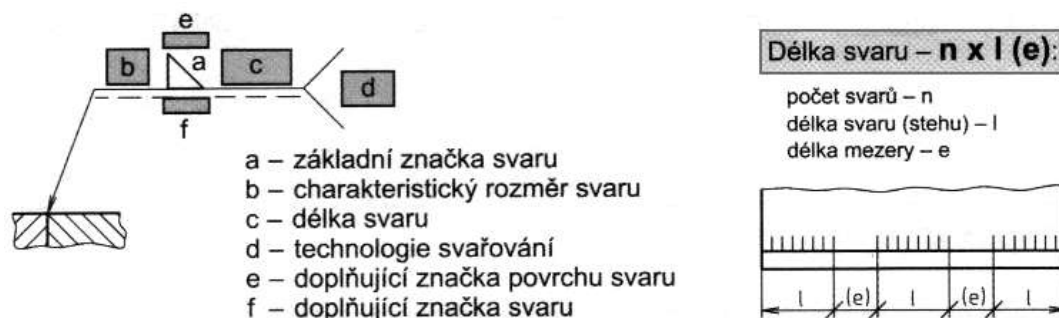
Pnutí a deformace spolu úzce souvisí. Jejich velikost je úměrná množství tepla vnesenému do materiálu při svařování. Proto je důležitý konstrukční návrh svarů u svařence – správné rozmístění svarů – nehromadit svary na jednom místě, dodržovat pravidla symetrie, volit optimální velikosti svarů, správný postup a vhodnou metodu svařování. Důležité je také tepelné zpracování polotovaru před svařováním a svařence po svařování. Cílem je dosažení minimálních hodnot deformací po svaření, aby odpadly vícepráce spojené s rovnáním a bylo

možno počítat s menšími přídávky na obrábění po svaření. Proto je vhodné svařovanou konstrukci nejprve tzv. nastehovat a potom podle správného postupu, který navrhne svařovací technolog, odborně svařit. Svarům velkých průřezů je lépe se vyhnout a jsou-li z pevnostního hlediska nutné, pak se doporučuje provést výplň svarovým kovem raději na více housenek. Vneseme tím méně tepla do materiálu a navíc každá následující housenka tu předcházející vyžihá, čímž dojde ke snížení vnitřních pnutí přímo při procesu svařování. U složitých svařovaných konstrukcí se doporučuje svaření nejprve jednodušších podsestav, ze kterých se sestaví celek - nastehováním např. ve svařovacím přípravku s následným svařením. Po svaření se doporučuje provést po nezbytném rovnání žihání ke snížení vnitřních pnutí, aby byl svařenec dokonale připraven pro realizaci dalších operací – většinou obráběním. Pokud by vnitřní pnutí ve svařenci zůstalo, došlo by vlivem obrábění k jeho uvolnění a tím by mohlo dojít k nežádoucí změně rozměrů konečného výrobku, který by se mohl stát v krajním případě i zmetkem.

1.1.6.3 Druhy svarů a jejich značení na výkresech

Jednotlivé druhy svarů se rozeznávají podle polohy svařovaných částí proti sobě a podle tvaru a úpravy svarových ploch. Jsou normalizovány a jejich výběr je uveden ve strojnických tabulkách. Svary na výkrese předepisuje konstruktér, technolog rozhoduje spíše o metodě svařování a stanoví správný postup výroby svařence. Z obecných zásad vyplývá povinnost pro konstruktéra, který odpovídá za úplnost, správnost a jednoznačnost výkresu svařence, na kterém musí být uvedeno:

- charakteristický rozměr jednotlivých svarů,
- značky svarů,
- tvar povrchu svarů,
- počet svarů,
- délka jednotlivých svarů,
- mezera mezi sousedními svary – u bodových a děrových svarů,
- označení drsnosti povrchu,
- další údaje potřebné při výrobě svařence – označení přídavného materiálu, uvedení celkové délky všech použitých svarů apod.



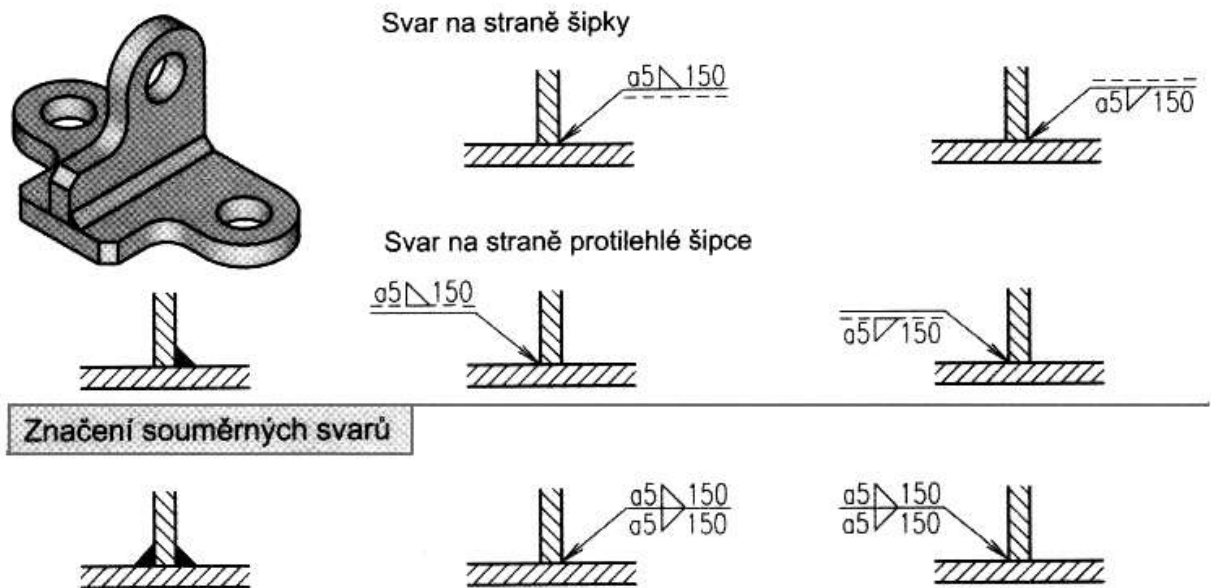
Obr. 120 Komplexní označování svarů na výkresech dle ČSN EN 22553 (01 3155)

Tab. 5: Základní značky svarů

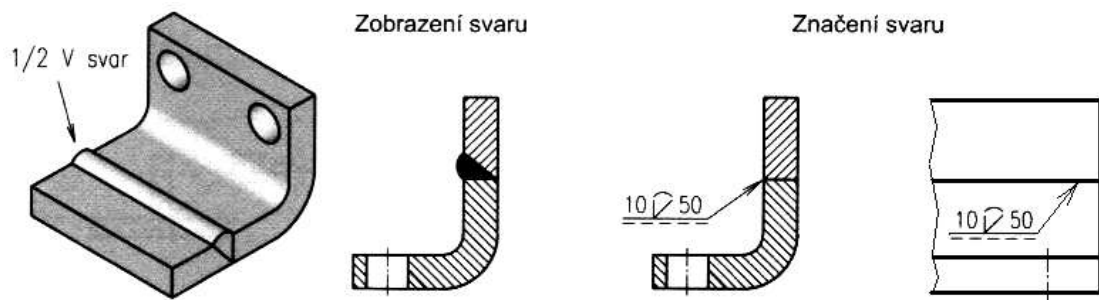
Svar	Zobrazení	Značka	Svar	Zobrazení	Značka	Svar	Zobrazení	Značka
I			W		∩	švový		⊕
V		∇	U		∪	bodový		○
1/2 V		∇	1/2 U		∪	děrový		□
Y		∪	lemový		∩	oblý V		∪
1/2 Y		∪	koutový		∇	oblý 1/2 V		∪

Tab.6: Doplňkové značky

Název	Značka
Plochý svar	—
Převýšený svar	⌒
Vydutý svar	⌒



Obr. 121 Možnosti kótování svaru s ohledem na jeho polohu vzhledem k šípce

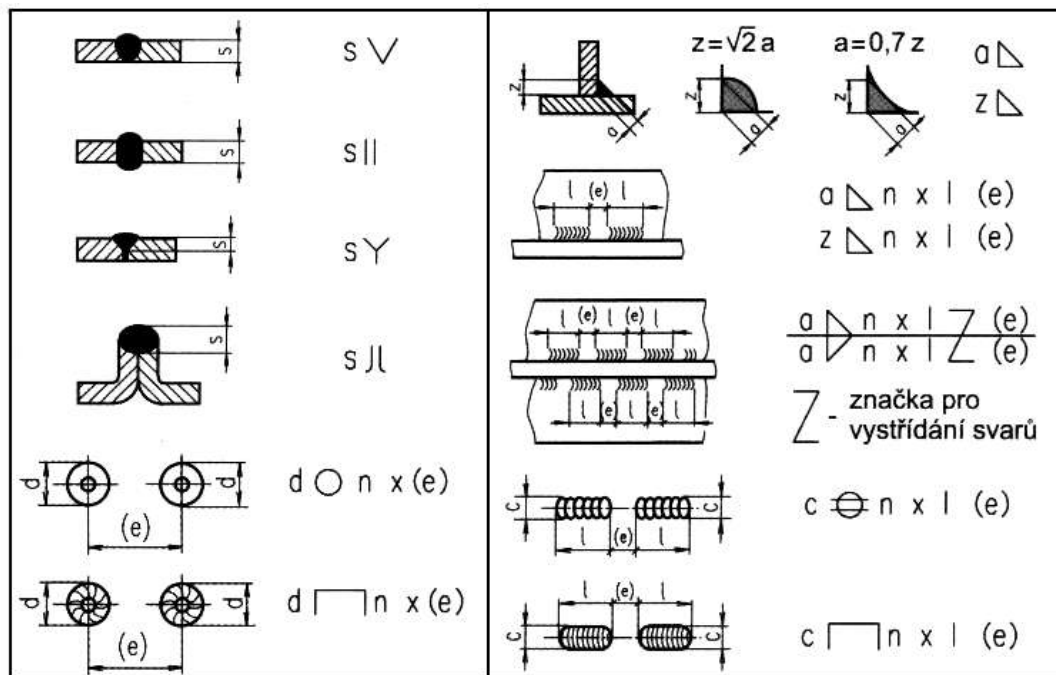


Obr. 122 Značení svaru s upravenou stykovou plochou před svařením

Poznámky:

1. Z výše uvedeného obr. 121 vyplývá, že **základní značka i text** mohou být uvedeny jak nad čarou, tak pod čarou, ale vždy v poloze přilehlé k čáře (souvislá čára), nebo protilehlé (čárkovaná čára) straně umístění svaru. Výjimkou jsou **oboustranné - souměrné svary**, u nichž se čárkovaná čára, označující protilehlou stranu svařované součásti, nekreslí a značky obou svarů se umísťují na společnou odkazovou čáru.
2. Z obr. 122 je zřejmé značení svaru, kde jedna ze součástí má předsvárovou úpravu, pak šipka odkazové čáry vždy směřuje proti upravené ploše.
3. Na skutečných výkresech, je-li součást zobrazena více pohledy, značí se svar vždy pouze jednou, tj. pouze v jednom z pohledů.
4. Rozměry svarů se uvádí na praporku odkazové čáry v pořadí:
 - Příčný rozměr svaru se uvádí před základní značkou.
 - Délkové rozměry se uvádí za základní značkou, jak uvádí následující tabulka:

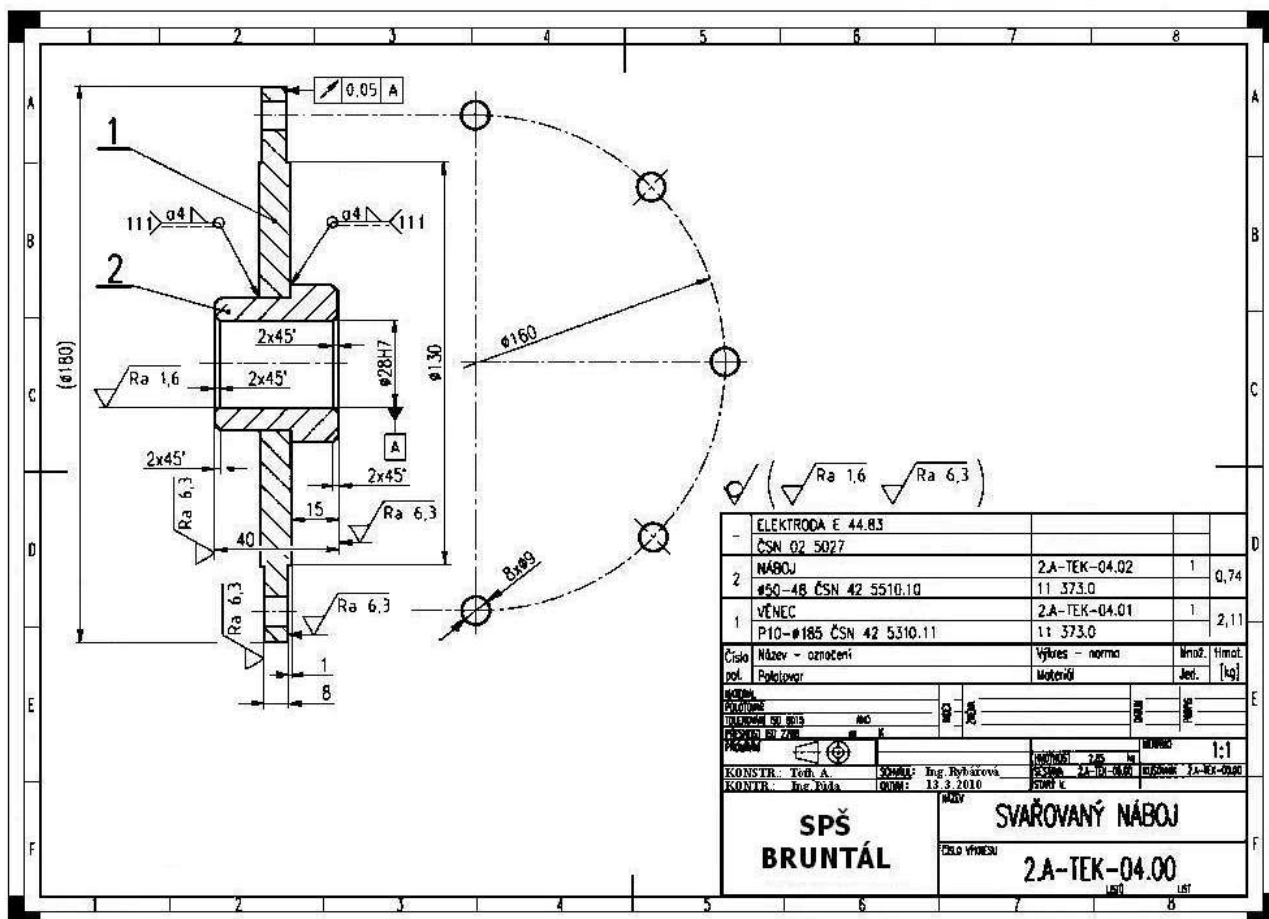
Tab. 7: Předepisování rozměrů svarů na výkresech



5. Požadovaná metoda svařování se připojuje za vidlici odkazové čáry a to číselným značením – viz tab. 8.

Tab. 8: Vybrané metody svařování a jejich číselné značení

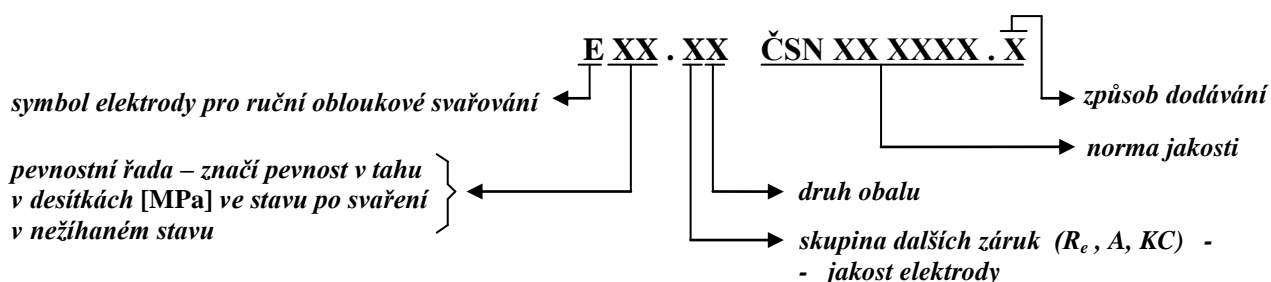
Číslo	Svařovací metoda
111	Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou
131	Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním ochranném plynu MIG
135	Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním ochranném plynu MAG
141	Obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním ochranném plynu WIG
21	Odporové svařování bodové
23	Odporové svařování švové
311	Svařování kyslíko-acetylenovým plamenem
42	Tlakové svařování třením
751	Svařování laserem



Obr. 123 Svařovací a opracovací sestava – ukázka výkresu se všemi náležitostmi

1.1.6.4 Označování přídavných materiálů

Na výkresech se uvádějí přídavné materiály a elektrody, popřípadě další údaje potřebné ke svařování – např. hmotnost navrženého kovu, počet elektrod aj. Nejčastěji se elektrody pro ruční obloukové svařování a navařování označují dle ČSN:



Pevnostní řada elektrod je rozlišena barevně – vyznačeno na čele upínacího konce elektrody (bíle, červeně, modře, zeleně, žlutě).

Příklad: obalená elektroda pro ruční obloukové svařování o pevnosti $R_m = 440$ MPa se zaručenou mezí kluzu R_e za vyšších teplot s kyselým obalem se označí:

E 44.72

Obdobná pravidla platí i pro označení drátů pro svařování a navařování v ochranné atmosféře. Existují ještě označení elektrod a svařovacích drátů podle výrobců (např. ESAP apod.), které jsou odlišné, a proto při volbě přídavného materiálu je třeba se řídit podle katalogů výrobce, ze kterého bývají zřejmé jak hlavní parametry, tak i doporučení pro jejich použití.

1.1.6.5 Tepelné zpracování svarových spojů

Účelem je dosažení co nejlepších vlastností u svarového kovu i u vrstvy základního materiálu u níž došlo vlivem ohřevu k nežádoucím změnám struktury. Jak již výše bylo uvedeno rozlišujeme tepelné zpracování svarových spojů:

1. Tepelné zpracování před svařováním:

Normalizační žihání – provádí se u nelegovaných ocelí, zejména u svařenců větší tloušťky. Cílem je dosažení rovnoměrné a jemné struktury, aby měl materiál rovnoměrně rozložené mechanické vlastnosti po celém průřezu.

Zušlechťování – účelem je dosažení nejvýhodnějších plastických vlastností – zejména tažnosti a houževnatosti, aby svar lépe odolával pnutím.

Žihání na měkko – provádí se u ocelí již tepelně zpracovaných kalením, aby se odstranil jeho nepříznivý vliv před svařováním.

Předehřívání – provádí se před svařováním – nejčastěji na teplotu (100 až 400) [°C], výjimečně až 700 [°C] a jeho účelem je zmenšení teplotního spádu při svařování, a tím i zamezení praskání svarů.

2. Tepelné zpracování po svařování:

Normalizační žihání – na teploty (820 až 950) [°C] podle obsahu uhlíku. Jeho účelem je odstranění hrubého zrna – zjemnění struktury ve svarovém spoji a tepelně ovlivněné oblasti a dosažení dobré tažnosti a houževnatosti.

Žihání ke snížení vnitřního pnutí – zejména u ocelí nelegovaných na teplotu (500 až 650) [°C].

Popouštění – u legovaných ocelí na teploty (650 až 750) [°C] a jeho účelem je odstranění vnitřního pnutí při současném změkčení svaru a tepelně ovlivněné oblasti za účelem dosažení dobrých plastických vlastností.

Druh tepelného zpracování se musí předepsat na výkrese svařence a doporučené teploty jsou uvedeny v ČSN 42 0285.

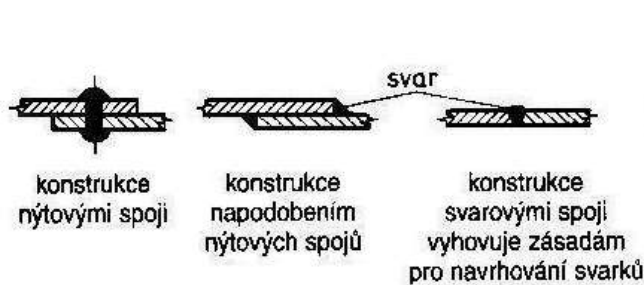
1.1.6.6 Technologičnost svařovaných konstrukcí

Při volně vhodného způsobu výroby svarků je třeba zvážit:

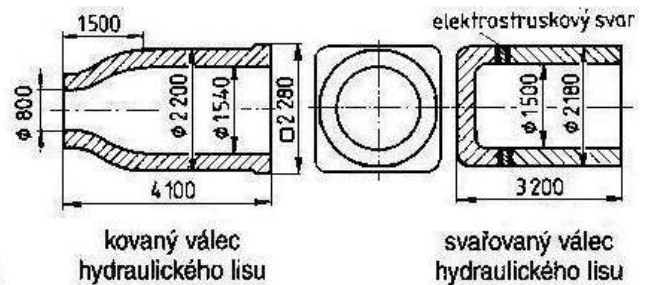
- technologii výroby svarku,
- podmínky svarku v provozu,
- svařitelnost materiálů,
- výrobní možnosti závodu – svařovací technika, možnost kooperací apod.,
- sériovost výroby a s tím spojená nutnost hospodaření s materiálem – úspora hmotnosti,
- nahrazování jiných technologií výroby – odlévání, kování apod. svařováním,
- nahrazování válcovaných polotovarů konstrukcemi z lehkých tenkostěnných profilů nebo z ohraňovaných plechů

- způsob kontroly svarků z hlediska jakosti svaru,
- ekonomické hledisko - výrobní cenu.

Způsob výroby svarků má podstatný vliv na konstrukci, protože jejich tvar závisí na tvaru a počtu dílů, z nichž se svarek skládá, na materiálu a na způsobu výroby těchto částí. Napodobování tvarů, polotovarů, které jsou typické pro jiné způsoby výroby – např. odlitky, výkovky apod., není vhodné. Vede to ke zmenšení pevnosti, tuhosti, zvětšení hmotnosti a zejména zvýšení pracnosti a tím i ke zvýšení výrobních nákladů a ke zvýšení ceny konečného výrobku. Konstruktor musí svarek navrhnout tak, aby jeho konstrukce byla dílem technického pokroku, vysoké jakosti a hospodárnosti. Proto musí být svařovaná konstrukce navržena tak, aby obsahovala co nejméně svarů.



Obr. 124 Náhrada nýtových spojů svarovými spoji

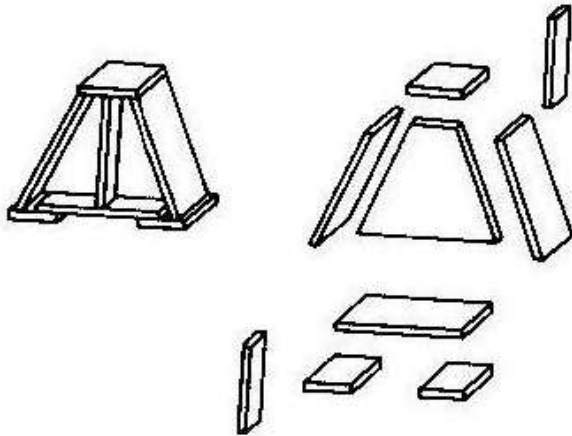


Obr. 125 Náhrada výkovku jedno-duššími svařovanými výkovky

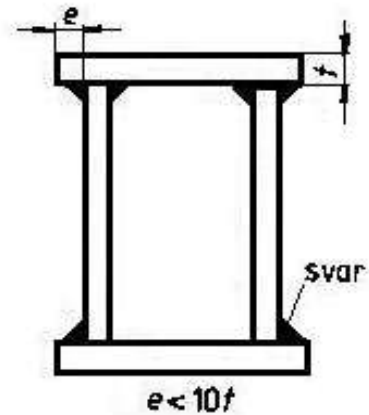
Při volbě mezi odlitkem a svarkem musíme vycházet z komplexních požadavků na konstrukci – tj. z hlediska tuhosti a pevnosti, hmotnosti, odolnosti proti opotřebení, korozi a tepelným účinkům, z výrobně-technického a ekonomického hlediska. Proto musíme mít na zřeteli tyto skutečnosti:

- nutnost dodržení přibližně stejné tloušťky stěny odlitků (technologické hledisko) vede ke značnému plýtvání materiálem a ke zvýšení hmotnosti výrobku;
- šedá litina má v porovnání s ocelí větší odolnost proti opotřebení a korozi, lépe tlumí také chvění. Je však méně vhodná pro použití za vyšších teplot;
- pnutí a deformace u odlitků a svarků jsou v podstatě stejné;
- při návrhu svarku musí být použito jiné koncepce než u odlitku – je třeba plně využít tvářených polotovarů a spojit je vzájemně pomocí co nejmenšího počtu svarů;
- uzly – zesílená místa např. pro umístění ložisek a pod. je vhodné odlévat, protože jejich výroba svařováním je pracná a vedlo by to ke koncentraci svarových spojů a jejich shluky by byly zdrojem zvýšeného vnitřního pnutí a následných deformací.

Příkladem technologického řešení je desková svařovaná konstrukce stojanu z válcovaných plechů a pásů složená do I profilu.



Obr. 126 Stojan deskové konstrukce



Obr. 127 Skříňová svařovaná konstrukce

Skříňová konstrukce dle obr. 127 je vhodná pro namáhání krutem. Může mít čtvercový nebo obdélníkový průřez. Opět je svařena z válcovaných plechů a pásů. Z ekonomického hlediska vyhovuje nejlépe řešení s minimálními náklady, přitom je třeba zvážit:

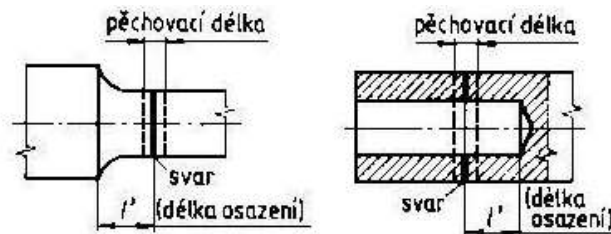
- náklady na zhotovení odlitku,
- počet vyráběných součástí,
- složitost a velikost součástí.

Výroba menšího počtu odlitků se prodražuje stejně jako výroba většího počtu drobných a složitějších svarků, protože vzniká mnoho odpadu při přípravě jednotlivých částí svarků.

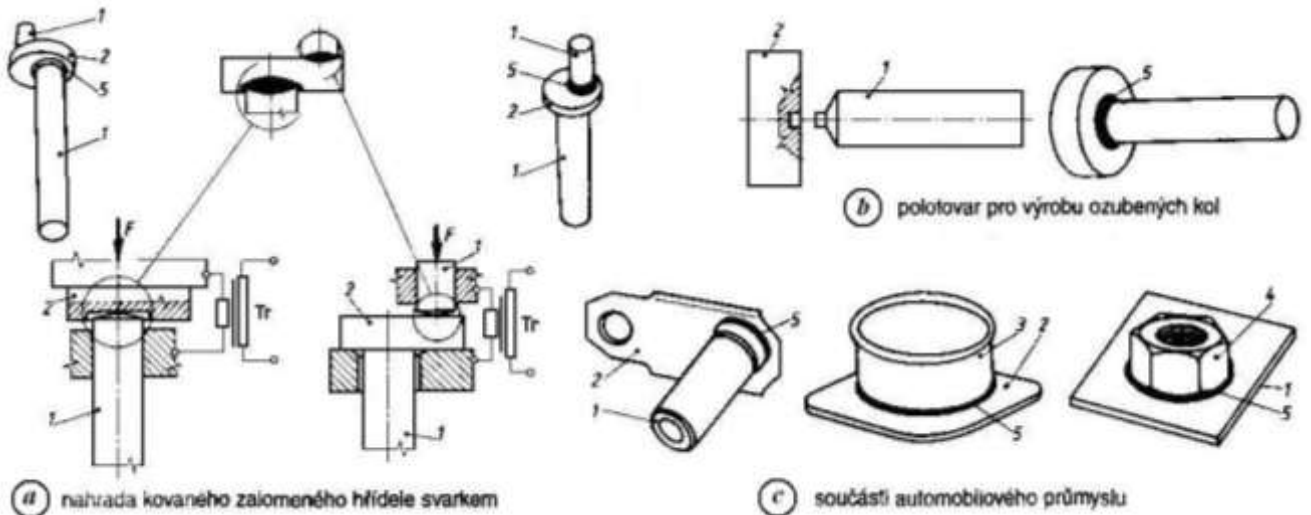
Pro nahrazování velkých odlitků a výkovek svařencem je těchto několik důvodů:

- možnost výroby na dosavadním zařízení – omezená velikost pecí, bucharů, lisů apod.,
- snížení spotřeby legujících prvků – pouze namáhané části budou vyrobeny z kvalitnějších materiálů,
- snížení pravděpodobnosti vzniku zmetků,
- snížení výrobních nákladů – základní předpoklad dosažení nižší ceny výrobku.

Nahrazování výkovek dílčími výkovky, výlisky nebo obrobky spojenými svarem je vhodné hlavně u složitých součástí, které vyžadují předkování a kování v postupových zápustkách. Přitom je potřeba, aby svar nebyl umístěn v místě vrubu a svařované průřezy musí být tvarově i rozměrově shodné. Délka osazení l' musí být zakončena dostatečně velkým poloměrem – viz obr. 128.



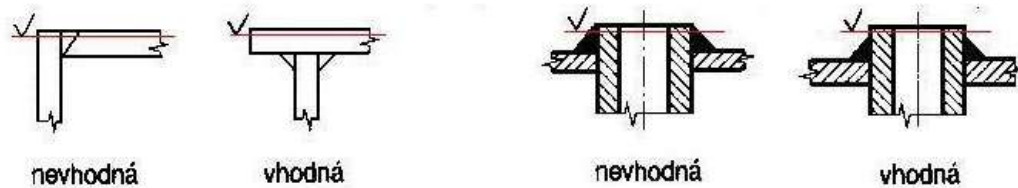
Obr. 128 Stykové svařování strojních součástí



Legenda: 1 – čep, deska; 2 – příruba, plech; 3 – miska; 4 – matice; 5 – svar; Tr - transformátor

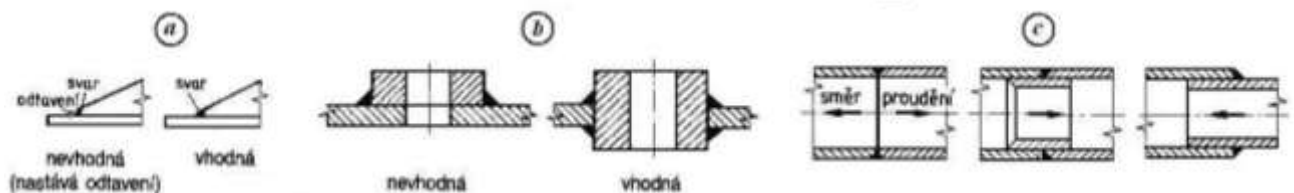
Obr. 129 Svařování typických strojních součástí za účelem náhrad:
 a), b) tlustých součástí výstupkovým stykovým odporovým svařováním
 c) tenkých součástí indukčním odporovým svařováním

Bude-li se svarek ještě po svaření obrábět, musí být svary umístěny tak, aby se po obrobení jejich pevnost nezmensila. Velikosti přídaveků na obrábění v závislosti na stupni přesnosti svarků, mezní úchytky polohy a tvarů svarků jsou ve strojnických tabulkách.



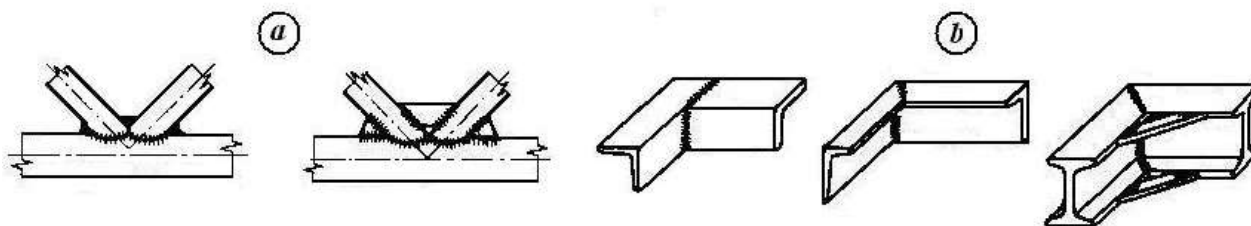
Obr. 130 Vhodnost konstrukce svarků se zřetelem na obrábění po svařování

Ostré rohy žebér se musí před svařením odstranit, aby se při svaření neodtavily. Náboje pro ložiska a jiná zesílení stěn se nemají přivařovat na vnější stranu svarku, ale mají procházet stěnou.



Obr. 131 Technologičnost svarových spojů:
 a) Úprava konstrukce žebér – odstranění „ špičky“ před svařováním;
 b) Úprava zesílení stěny – například vytvoření náboje pro ložisko nebo u nádrže apod.;
 c) Spojení dvou trubek svarovými spoji s ohledem na směr proudění média.

Z obrázků je patrné svařování trubek a jsou patrna konstrukční řešení styčnicků např. příhradových konstrukcí.

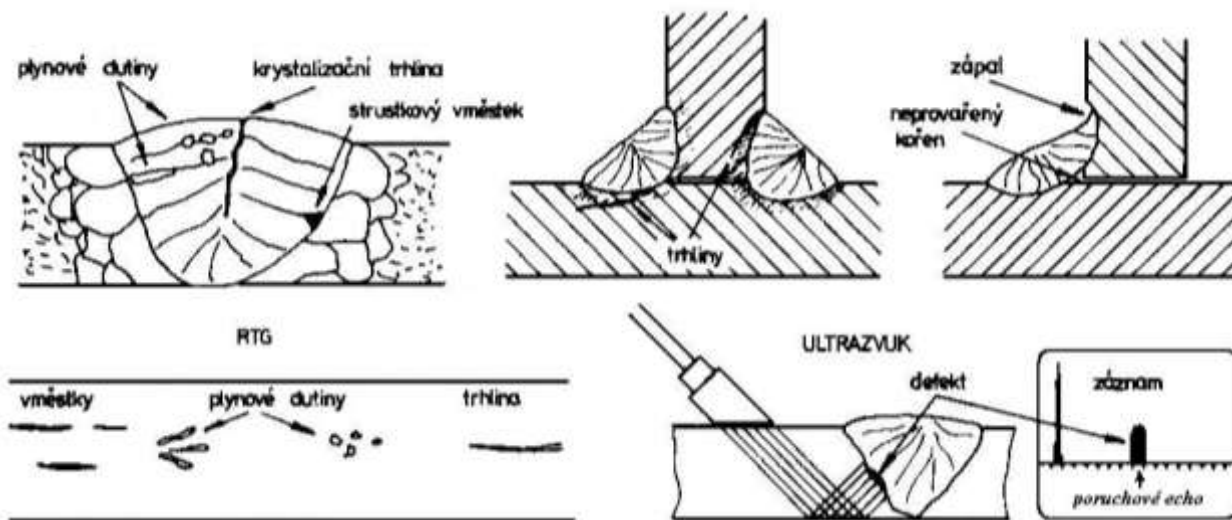


Obr. 132 Konstrukční řešení styčníků příhradových konstrukcí:
 a) Svaření trubek ve styčniku – bez zpevnění a se zpevněním pomocí výztuh;
 b) Svaření válcovaných profilů ve styčniku – bez zpevnění a zpevněný výztuhami.

1.1.6.7 Kontrola a zkoušení jakosti svarových spojů

Ověřování jakosti svarů je důležitou činností, často na ní závisí i lidské životy. Některé konstrukce např. vyhrazených technických zařízení vyžadují 100 [%] kontrolu svarů. Provádí se proto tyto kontroly:

- **před svařováním** – nutno provést posouzení konstrukčního návrhu a technických podkladů svařované konstrukce, svařitelnosti základního materiálu, volbu přídatného materiálu nebo elektrod, kontrolu přípravy svaru – úkosy, slícování apod.;
- **během svařování** - nutno provést odborný dílenský dozor zaměřený na dodržení předehřevu, svařovacích parametrů – průměru elektrod, svařovacího proudu, provedení namátkové kontroly svarů apod.;
- **po svařování** - rozměrová a vizuální kontrola svarů, čistota svarů – odstranění rozstříku, zkoušky mechanických vlastností svarů, metalografické, technologické a defektoskopické zkoušky svarů.



Obr. 133 Vady svarových spojů a jejich zjišťování

1.1.7 Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

Svařování patří mezi práce se zvýšeným nebezpečím, to znamená, že při nich hrozí větší nebezpečí úrazu – popálením, elektrickým proudem, otravou, zadušením, poškozením zraku a vůbec trvalého poškození zdraví, požáru, výbuchu a jiná nebezpečí než při jiných činnostech.

Obecné zásady bezpečnosti jsou uvedeny v první kapitole tohoto učebního textu, přesto však je vhodné poukázat na některé důležité aspekty:

- **při svařování plamenem** kyslík sice sám nehoří, ale hoření podporuje, a proto může pomoci vznícení jiných látek. Také jeho účinek - např. při explozi kyslíkové láhve, která se plní na 15, nebo dnes již častěji na 20 [MPa], může způsobit velkou škodu a také újmu na zdraví. Proto je zakázáno mazat ventily jakoukoliv mastnotou, aby nevznikly výbušné sloučeniny. Také acetylén je nebezpečný a může ohrozit zdraví, neboť se vzduchem tvoří třaskavou směs. Prouděním přes měděné potrubí rozkládá měď na tzv. acetylit, čímž vzniká prudká výbušnina. Proto není dovoleno používat měděných trubek a nástavců pro vedení acetylénu, k čemuž se z tohoto důvodu smějí používat pouze ocelové trubky. Rovněž směs acetylénu a kyslíku tvoří třaskavou směs. Proto jsou hadice acetylénu a kyslíku barevně i průměrově rozlišeny, aby nemohlo dojít k jejich záměně. Totéž platí o konstrukci ventilů – jejich záměna je tak vyloučena.



- **při svařování elektrickým proudem** je úrazovost sice menší než při svařování plamenem, přesto je třeba se chránit před účinky elektrického oblouku (jeho teplotou, zářením, oslňováním, zplodinami, prachem, popálením odstříkujícím žhavým kovem apod.). Při svařování elektrickým obloukem musí proto svářeč používat odpovídající osobní ochranné pracovní pomůcky – pracovní oděv, svářečské rukavice, pracovní obuv, ochrannou masku. Tyto prostředky musí odpovídat podmínkám, ve kterých svařování

probíhá. Jde-li o nevětrané prostory, musí mít ochranná svařovací maska také nucený přívod filtrovaného vzduchu z respirační jednotky, aby byla zabezpečena komplexní a kontinuální ochrana jak zraku, tak i dýchacích cest svářeče. Pro tyto účely je vhodná např. svařovací samostmívací maska SPEEDGLAS 9000 např. s dýchací jednotkou CLEAN-AIR BASIC nebo s filtračním motorovým dýchacím respirátorem ADOLFO.

Obr. 134 Komplexní ochrana svářeče při svařování

- **povinností zaměstnavatele** je zajistit, aby svářečská pracoviště vyhovovala po všech stránkách bezpečnostním a hygienickým předpisům, tj. musí zabezpečit dobré klimatické podmínky svářečských pracovišť, oddělení svářečských boxů pevnými nebo přenosnými ochrannými kryty, vybavení svářečských boxů odsáváním exhalátů, správné osvětlení, pravidelné prohlídky, údržbu a opravy svařovacích agregátů, bezpečnostní označení pracovišť, poskytnout svářečům odpovídající OOPP a periodické preventivní lékařské prohlídky.



Obr. 135 Centrální odsávání exhalátů vzniklých při svařování z jednotlivých svářečských míst - svařovacích boxů

- **svařovat může jen osoba způsobilá** pro tuto práci, to znamená, že má platný **průkaz svářeče**. Pro získání průkazu svářeče platí norma ČSN EN 287-1,2 (05 0705):1995. Zaměstnavatel je povinen vést evidenci osob s platným svářečským oprávněním v rámci své organizace a na požádání kontrolních orgánů státní správy – zejména inspektorátu bezpečnosti práce tento seznam včetně oprávnění předložit ke kontrole. Průkazy svářeče jsou celostátně evidovány.