

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

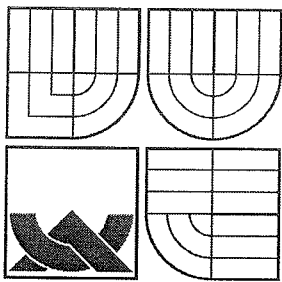
VÝROBA SEPARAČNÍHO RÁMU PRO VÁLCOVACÍ STOLICI.

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

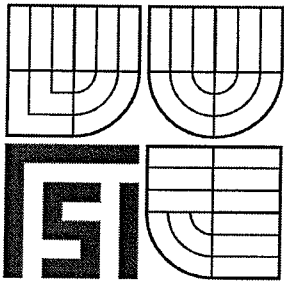
Bc. LIBOR TRČKA

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SEPARAČNÍHO RÁMU PRO VÁLCOVACÍ STOLICI.

MANUFACTURING OF SEPARATION SUBRACK FOR ROLLING STAND.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. LIBOR TRČKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV DANĚK, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Trčka Libor, Bc.

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba separačního rámu pro válcovací stolici.

v anglickém jazyce:

Manufacturing of separation subrack for rolling stand.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náhrada odlitku rámu separátoru (součásti stojanu válcovací stolice) svařencem.

Cíle diplomové práce:

- 1) Popis a zhodnocení současného stavu
- 2) Posouzení základního materiálu z hlediska svařitelnosti
- 3) Výběr vhodného přídatného materiálu a technologie
- 4) Stanovení parametrů svařování
- 5) Návrh PWPS pro jeden vybraný svar
- 6) Stručné technickoekonomické zhodnocení.

Seznam odborné literatury:

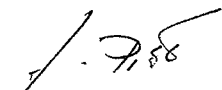
1. Kolektiv autorů. Technologie svařování a zařízení. Ostrava: ZEROSS 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0
2. ESSAB, FRONIUS, KEMPPI, firemní materiály
3. Kolektiv autorů. Materiály a jejich svařitelnost. Ostrava: ZEROSS 2001. 292 s. ISBN 80-85771-85-3
4. ASM Handbook. Welding, Brazing and Soldering. Vol. 6. USA: ASM, 2003. 1298 s. ISBN 0-87170-382-3
8. Kříž, R. a VÁVRA P. Strojírenská příručka. Praha: SCIENTIA. 1998. Svazek 8. 251 s. ISBN 80-7183-054-2

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Ladislav Daněk, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 18.11.2009 15:53





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

TRČKA Libor: VÝROBA SEPARAČNÍHO RÁMU PRO VÁLCOVACÍ STOLICI.

Projekt vypracovaný v rámci magisterského studia se zabývá návrhem výrobního postupu svařence separátoru a ekonomickým zhodnocením výroby jednoho kusu svařence a jednoho kusu odlitku. Při zpracování projektu bylo využito všech dostupných norem a odborné literatury. Literární studie shrnuje poznatky týkající se svařovaných konstrukcí, technologie svařování, tepelného zpracování a kontroly svarových spojů.

Pro svařenec separátoru byla zvolena skříňová konstrukce. Svařenec je navržen ze dvou druhů materiálu. Materiál S355J2G3, EN 10025 je určen pro nosné díly a materiál S235JR, EN 10025 je určen pro vyztužující díly. Kontrola vhodnosti dané konstrukce a materiálů byla provedena pomocí metody konečných prvků.

Po propočtení výrobních nákladů obou uvedených variant vyplývá, že náklady na výrobu jednoho kusu svařence separátoru jsou podstatně nižší, než náklady na zhotovení jednoho kusu odlitku.

Klíčová slova

Válcovací stolice, separační rám, svařování, MMA, pracovní postup.

TRČKA Libor: MANUFACTURING OF SEPARATION SUBRACK FOR ROLLING STAND

The project elaborated in terms of engineering studies concern with project of a manufactural process of separator weldment and of an economical analysis of a production calculated for one item of a weldment and one item of a casting. During elaboration this project there were used all obtainable norms and technical bibliography. In literery studies there are summarized important knowledges related to welding constructions, welding technology, heat treatment and checking fusion splices.

There was choosed box construction for this separator weldment. That is designed of two types of material. First of materials S355J2G3, EN 10025 is used for structural parts and the second material S235JR, EN 10025 is used for stiffening pars. The propriety checking of this construction and used materials was performed by Finite Element Method.

After calculating costs of production of both variants we can say, that the costs of production of one piece seperator weldment are considerably lower, than costs of production of one piece of casting.

Key words

Rolling Mill, Separation Subrack, Welding, MMA, Working process.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TRČKA Libor: *Výroba separačního rámu pro válcovací stolici*. Brno, 2010. 94 s., CD.
FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a
povrchových úprav. Vedoucí práce: doc. Ing. Daněk Ladislav, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Obyčtově dne 10.5.2010


.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Ladislavu Daňkovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Bibliografická citace	5
Prohlášení	6
Poděkování	7
Obsah	8
1. ÚVOD	10
2. SOUČASNÝ STAV	12
2.1 Funkce separátoru	12
2.2 Odlitek separátoru	13
2.3 Náhrada odlitku svařovanou konstrukcí	13
3. TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ	18
3.1 Charakteristika svařování	18
3.2 Technologičnost svařovaných konstrukcí	23
3.3 Základní druhy svarů	27
3.4 Vliv tavného svařování na základní materiál	30
3.5 Deformace a vnitřní napětí při svařování	34
3.6 Svařitelnost materiálů a její hodnocení	39
3.7 Svařování v ochranných atmosférách	44
3.8 Tepelné zpracování svařovaných konstrukcí	49
3.9 Kontrola svarových spojů	51
4. NÁVRH SEPARAČNÍHO RÁMU	56
4.1 Volba materiálů	56
4.2 Výpočet separačního rámu pomocí metody konečných prvků	61
4.3 Návrh technologie svařování	67
4.4 Volba tepelného zpracování svařence	72
4.5 Požadavky na jakost svařování dle ČSN EN ISO 3834-1 až 5	78

4.6	Výkresová dokumentace separačního rámu	80
5.	EKONOMICKO – TECHNICKÉ HODNOCENÍ	81
5.1	Náklady na výrobu odlitku	81
5.2	Náklady na výrobu svařence	81
6.	ZÁVĚR	90
	Seznam použitých zdrojů	91
	Seznam použitých zkratek a symbolů	92
	Seznam příloh	94

1. ÚVOD:

Tato diplomová práce se zabývá vypracováním výrobního postupu pro výrobu svařence separačního rámu (obr. 1.1), umístěného mezi dvěma stojany horizontální hrubovací stolice. Separací rám byl původně navržen jako odlitek. Úkolem této diplomové práce je zhodnotit další variantu výroby separačního rámu jako svařenec. Praxe potvrzuje, že při svařování jsou nízké náklady zejména při kusové a malosériové výrobě. K dalším výhodám svařenců oproti odlitkům patří: vyšší pevnost konstrukce, menší citlivost k nárazům, úspora hmotnosti až 50%, úspora pracnosti 20 až 50%, větší volnost při návrhu tvaru, menší přídavek na opracování (svarek 8 až 12%, odlitek až 20%).

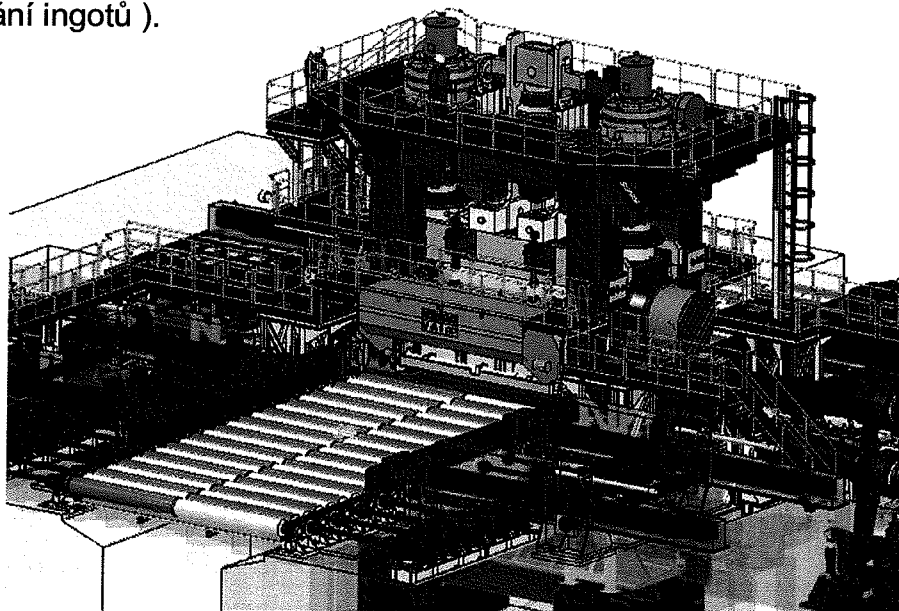
K nevýhodám svařenců patří: vyšší tepelná napětí, (vnitřního zbytková napětí zmenšujeme pomocí tepelného zpracování), menší tlumící účinek, v případě malých dílů dražší výroba. Zvolí-li se svařovaná konstrukce, musí být pro svařování přizpůsoben materiál a tvar konstrukce, aby bylo zaručeno optimální využití technických a ekonomických předností svařování.

Separací rám je součástí horizontální hrubovací stolice obr. 1.2, která je určena k rozválcování bram popřípadě ingotů. Tato stolice je navržena jako reverzní stolice. V reverzní stolici se může válcovat v obou směrech a to až do finální požadované tloušťky plechu.

Výhodou reverzní stolice je to, že můžeme pro zhotovení požadované tloušťky plechu použít pouze jedno zařízení. Brama je válcována stolicí v jednom i druhém směru až do požadované tloušťky. Další výhodou je zmenšení potřebné plochy pro válcovací stolicí oproti standardní válcovací trati, která se skládá z více válcovacích stolic seřazených za sebou.

Nevýhodou tohoto zařízení je nižší přesnost, která je způsobena vlivem vymezením vůlí mezi plochami kluzných lišt pracovního válce a stojanu. Tyto vůle se mění v závislosti na směru válcování a mají vliv na přesnost válcování. Dále u tohoto zařízení je nižší produktivita oproti válcovací trati.

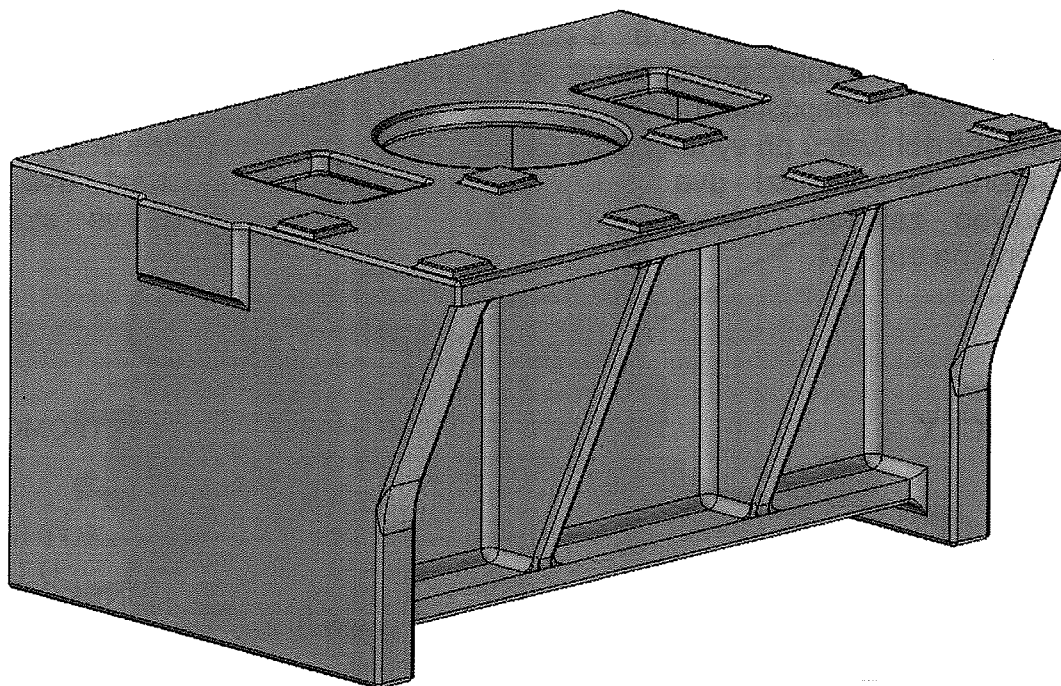
Tato hrubovací stolice je určena pro válcování bram o maximální šířce 5000 mm. Maximální pracovní výška mezi pracovními válci je 1000 mm (určeno zejména pro válcování ingotů).



Obr. 1.1 Horizontální hrubovací stolice včetně dopravníků a plošin

2.2 ODLITEK SEPARÁTORU

Stávající separátor je vyroben jako odlitek obr. 2. 2. Nevýhodou výroby odlitku jsou velké pořizovací náklady na výrobu formy. Tutu formu lze použít však pouze jednou z důvodu kusové výroby. Dále zde musíme počítat s dlouhými výrobními časy. Takto velký odlitek se může vyrábět pouze ve specializovaných firmách, které jsou na takovýto druh výroby vybaveny a mají potřebné znalosti a zkušenosti. Jsou zde také problémy s vnitřními vadami, proto se musí provádět nedestruktivní zkoušky ultrazvukem, které by odhalily případné skryté vnitřní vady. Pokud by tyto vady nebyly včas odhaleny, mohlo by dojít k destrukci celého zařízení.



Obr. 2.2 Odlitek separátoru

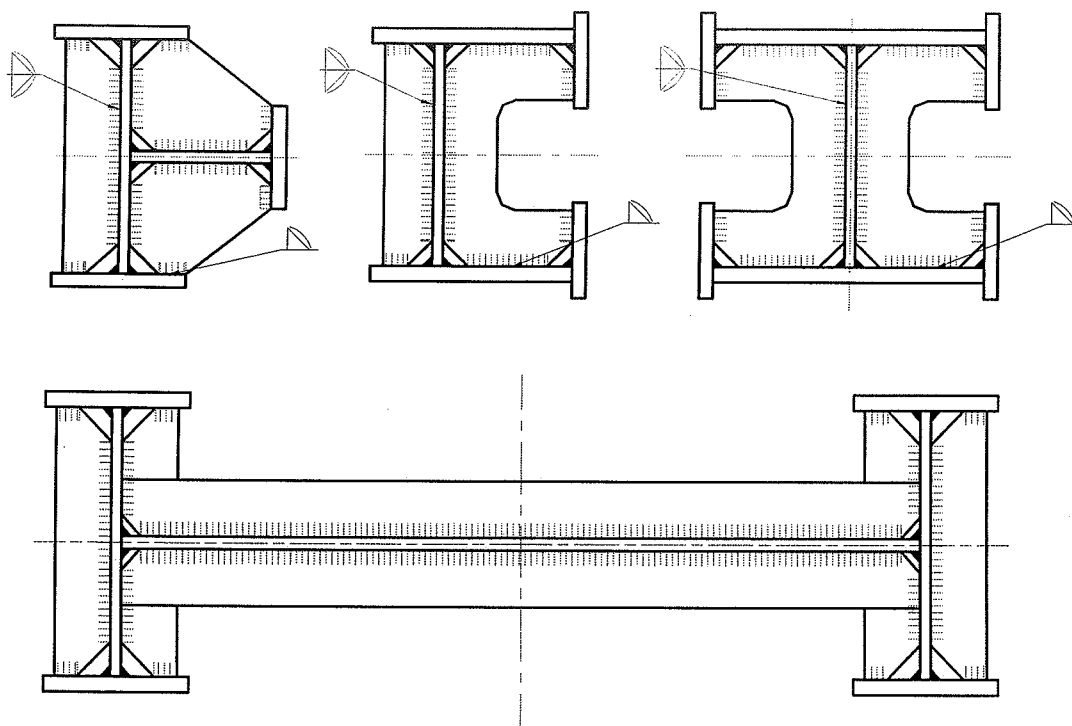
2.3 NÁHRADA ODLITKU SVAŘOVANOU KONSTRUKCÍ

Svařované konstrukce můžeme rozdělit na :

- Deskové
- Plnostěnné
- Skříňové
- Komůrkové
- Skořepinové
- Příhradové
- Plášťové

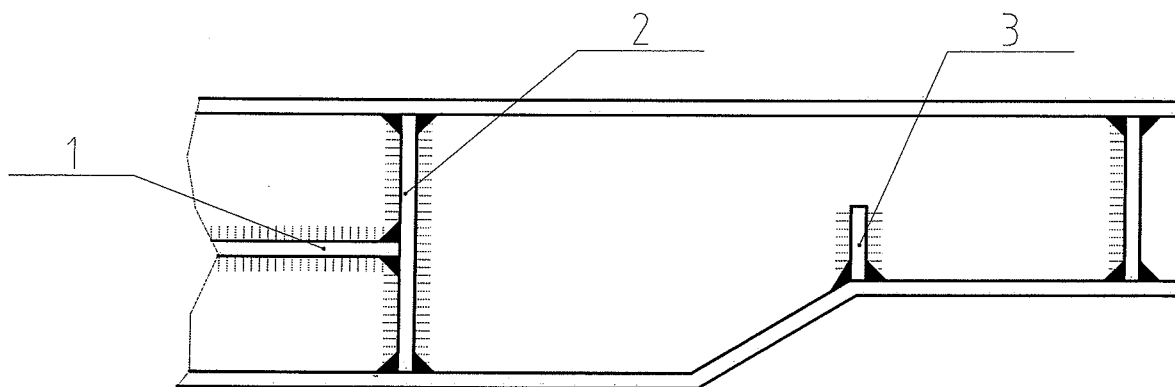
Desková konstrukce

Příklady provedení:



Plnostěnná konstrukce

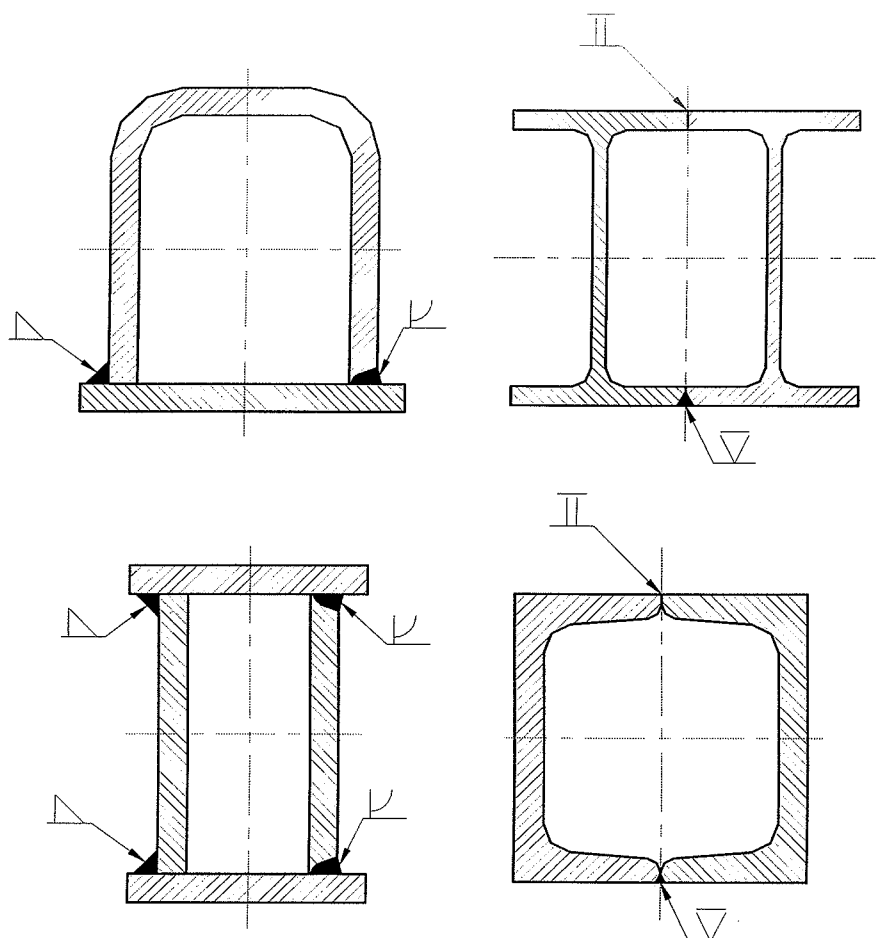
Konstrukce mohou být složeny z pásů, plechů nebo válcovaných profilů tak, že profil nosné části má otevřený tvar písmena „H“, „U“ nebo „I“. Jako příklad je na obr. 2.3. znázorněn plnostěnný nosník.



1 – Výztuha podélná 2 – Výztuha příčná 3 – Výztuha pro zvýšení únosnosti ve
vzpěru

Skříňová konstrukce

Příklady provedení:

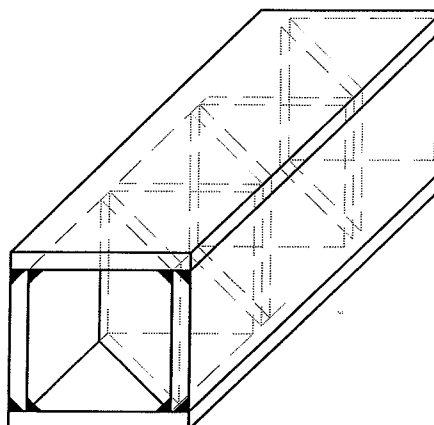


Komůrková konstrukce

Komůrkové konstrukce mohou být svařeny z :

- Čtyřstěnů
- Kvádrů
- Trojúhelníků

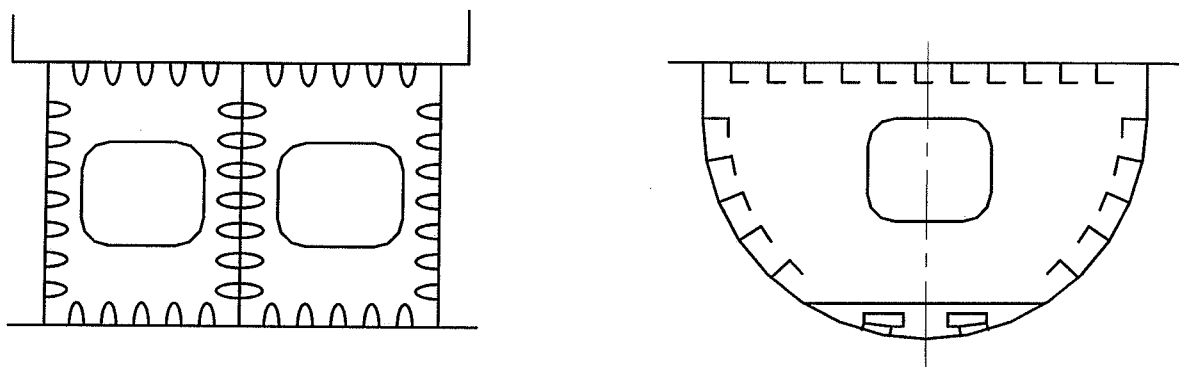
Příklady provedení:



Skořepinová konstrukce

Výhodou této konstrukce je malá hmotnost při zachování dobré tuhosti. Jako základ této konstrukce je volen rám typu skříňové konstrukce s přivařenými bočnicemi skříňových profilů. Krycí plechy jsou tenké, vyztužené výztuhami. Jako materiál se mohou volit například hliníkové slitiny.

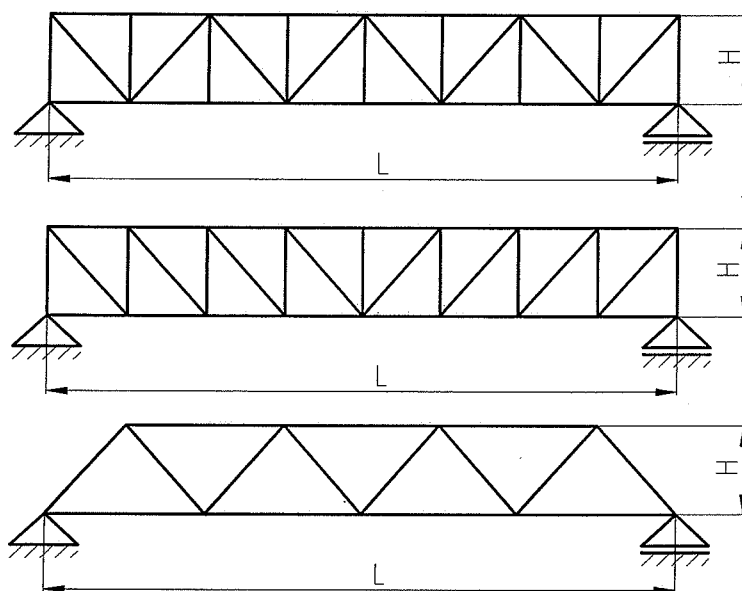
Příklady provedení:



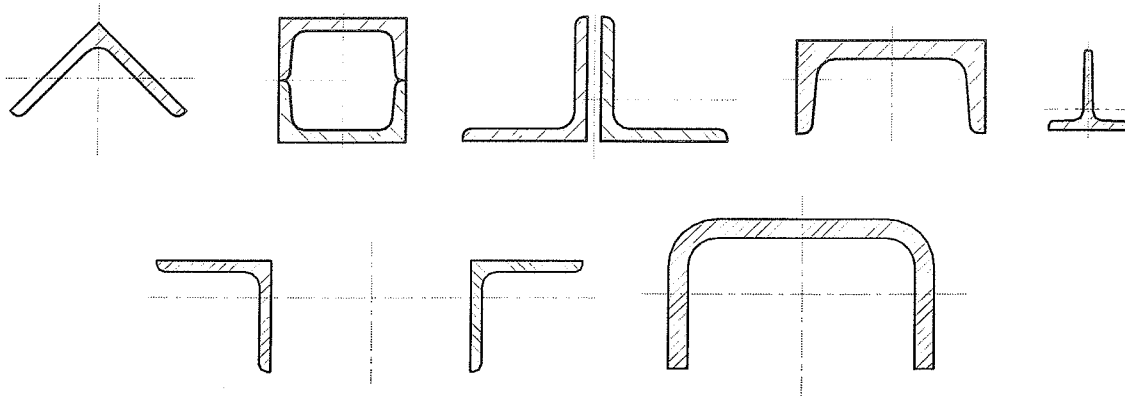
Příhradová konstrukce

Konstrukce je svařena z válcovaných profilů různých tvarů. Nejčastěji se používají tvary „I“, „U“, „L“, „T“ nebo trubky. Příhradové konstrukce jsou složeny z tzv. prutů. Pruty jsou složeny buď z jednoho nebo ze dvou profilů.

Příklady provedení příhradových konstrukcí:

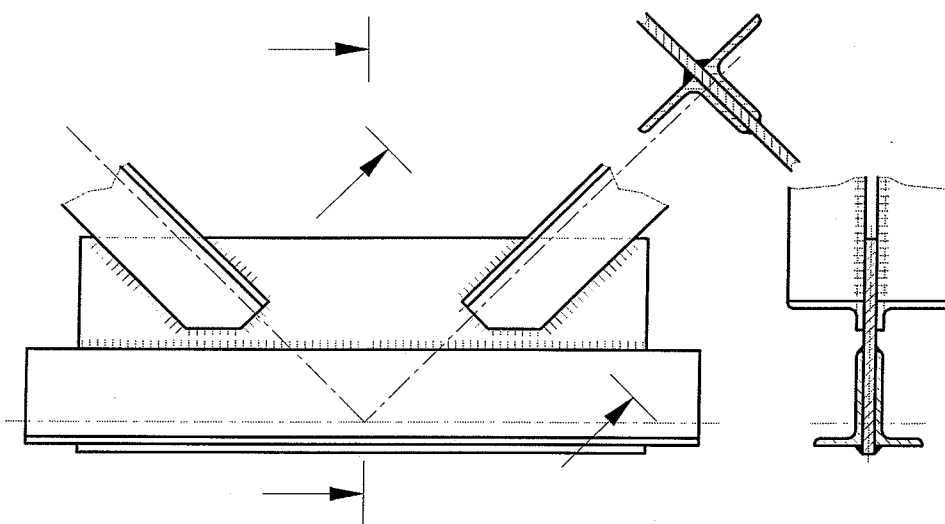


Příklady průřezů profilů:



Trubky mají výhodu oproti ostatním profilům v tom, že mají vysokou stabilitu při namáhání ve vzpěru ve všech směrech. Nevýhodou jsou však vyšší pořizovací náklady.

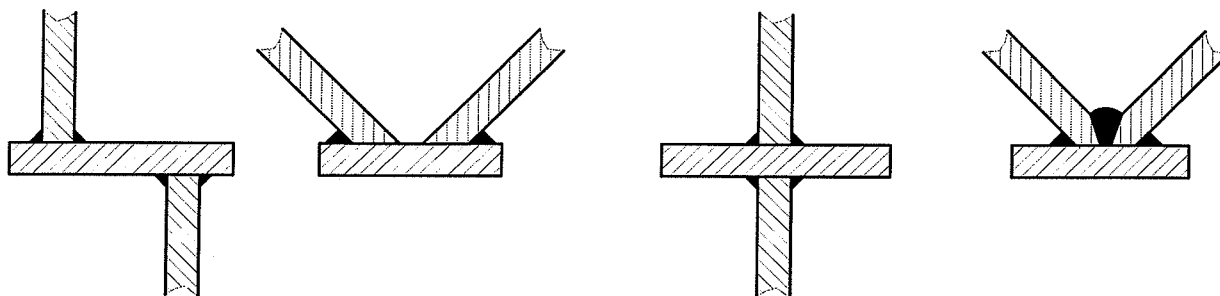
Příklad provedení konstrukčního uzlu při použití „L“ profilu a plechu:



Provedení svarových uzlů:

Správné řešení

Nesprávné řešení



3. TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ

3.1 CHARAKTERISTIKA SVAŘOVÁNÍ [1]

Svařování patří svým charakterem mezi nerozebíratelné druhy spojení dvou nebo více dílů. Ke spojení dojde v důsledku dodání určitého množství energie do místa styku dílů. Bylo vyvinuto více způsobů a technologií svařování, neboť je kvalitativně více možností přívodu tepla nebo kinetické energie do místa svaru. Různé způsoby svařování si dále vynutila potřeba svařovat velké množství různých materiálů při ještě větší potřebě různého konstrukčního uspořádání svařovaného uzlu.

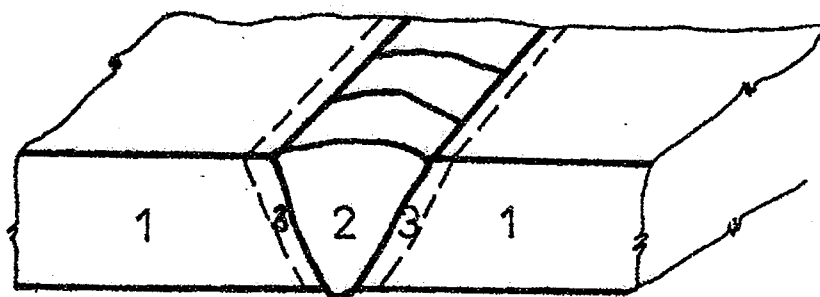
Svařování se s výhodou uplatňuje ve strojírenské výrobě, u silničních a železničních vozidel, při stavbě lodí, v ocelových konstrukcích (např. jeřáby, mosty, dálkovody), u tlakových nádob pro chemii a energetiku, v elektrotechnice, při výrobě zařízení a strojů pro průmysl potravinářský aj..

Základní pojmy

Svařování je proces zhotovování nerozebíratelných spojů dosažením meziatomových vazeb mezi spojovanými díly při jejich ohřevu nebo plastické deformaci, případně při společném působení ohřevu a plastické deformace. V zásadě se proto jedná o následující dva způsoby svařování:

- a) Svařování tavné – vykonávané místním ztavením spojovaných částí bez použití tlaku.
- b) Svařování s použitím tlaku - při něm je k dokonalému svaření dílů tlak nevyhnutelný.

Svarový spoj je nerozebíratelné spojení zhotovené svařováním (viz. obr. 3.1)



Obr. 3.1. Schéma svarového spoje provedeného tavným svařováním [1]
1 – základní materiál, 2 – svarový kov, 3 – teplem ovlivněná část (TOO)

Svar je část svarového spoje, vytvořená v důsledku krystalizace roztaveného kovu (v případě tavného svařování) nebo plastické deformace (svařování s použitím tlaku).

Teplem ovlivněná oblast (TOO) je část základního materiálu, která nebyla roztavená, ale její struktura a vlastnosti se změnily v důsledku ohřevu při tavném svařování.

Při svařování dojde ke spojení dvou nebo více základních materiálů ve svarovém spoji. Přitom se k vytvoření svarového spoje buď použije nebo nepoužije **přídavný materiál** (např. elektroda, holý drát), který umožní nebo usnadní vytvoření svarového spoje. Přídavný materiál je při přechodu do svarové lázně taven, mísí se s roztaveným základním materiálem a po ztuhnutí vytváří svarový kov.

Pájení je srovnatelné se svařováním, avšak přídavné materiály pro pájení – pájky mají nižší teplotu tavení nežli má spojovaný základní materiál.

Svařování se principálně uplatňuje ve dvou oblastech. První oblast je **výroba strojních dílů** (svarků) a svařovaných konstrukcí, kdy jsou navzájem připojované části tvořeny buď polotovary hutní výroby (plechy, tyče, trubky aj.) nebo v kombinaci s výrobky z odlitky. Druhou oblastí využití svařování je **opravárenství**.

Pod pojmem svařování je nutno rozumět nejen svařování ve smyslu spojení dvou nebo více dílů do jednoho nerozebíratelného celku, ale i **navazování** vrstvy materiálu na povrch základního materiálu k doplnění resp. zvětšení opotřebovaného objemu nebo k získání povrchové vrstvy o předem definovaných vlastnostech, jako je např. ochrana proti korozi nebo otěru.

Výhody a nevýhody svarků

Svarky místo odlitků

Výhody: Vyšší pevnost konstrukce, menší citlivost proti nárazům, úspora hmotnosti až 50%, úspora pracnosti 20–50%, větší volnost při návrhu tvaru, menší přídavek na opracování (svarek 8-12%, odlitek až 20%)

Nevýhody: Vyšší tepelná napětí, menší tlumící účinek, v případě malých dílů sériově vyráběných dražší výroba.

Svarky místo výkovků

Výhody: Větší volnost při návrhu tvaru, úspora hmotnosti.

Nevýhody: V případě tvarově jednoduchých malých dílů sériově vyráběných dražší výroba.

Výhody svařování

- 1) Zjednodušení tvaru konstrukcí, snížení jejich hmotnosti.
- 2) Zvýšení tuhosti a pevnosti konstrukcí.
- 3) Možnost uplatnění optimální kombinace materiálů v konstrukci.
- 4) Zlepšení povrchových vlastností konstrukcí (např. navaření korozivzdorných vrstev).
- 5) Jednoduchá možnost oprav konstrukcí.
- 6) Relativně snadná mechanizace a automatizace procesu svařování.
- 7) Zvyšování produktivity práce a snižování výrobních nákladů.
- 8) Velká operativnost při zavádění technologie svařování a při přípravě svařovacího pracoviště.

Nevýhody svařování

- 1) Svařování je zákonitě provázáno tepelně deformačním procesem, který je výsledkem místního ohřevu základního materiálu. V místě svaru dojde při svařování k prudkému nárůstu teploty až nad teplotu tavení základního materiálu. Směrem od osy svaru teplota exponenciálně klesá a mění se navíc po délce svarové housenky s postupem svařování. Výsledkem procesu svařování je proto místně a časově nerovnoměrný ohřev základního materiálu.
- 2) Ve svařované konstrukci vznikají následkem nerovnoměrného ohřevu a tuhosti konstrukce vnitřní napětí a deformace. Jejich velikost závisí na typu a materiálu konstrukce a na použitém způsobu a technologii svařování.
- 3) Následkem tepelně deformačního procesu dochází ve svarovém spoji ke změnám struktury a tím i ke změnám mechanických, fyzikálních a chemických vlastností ve svarovém spoji.
- 4) Svar může být místem výskytu vnitřních vad (např. trhliny), které mohou v závislosti na provozních podmínkách, na charakteru a velikosti vad nepříznivě ovlivnit bezpečnost a životnost provozu svařené konstrukce.
- 5) Při výpočtu svařované konstrukce je nutno podle normy ČSN 05 0120 „Výpočet svarových spojů“ uvažovat s tzv. převodním součinitelem svarového spoje α . Ten má hodnotu např. 0,65 pro boční namáhání koutového svaru ručně zavařeného obalenou elektrodou. Ve výjimečných, normou přesně definovaných případech, může α dosáhnout hodnotu až 1,0. V praxi to znamená, že přípustné dovolené namáhání svařené konstrukce je nižší, než použitého základního materiálu, neboť platí vztah:

$$\sigma_{DSV} = \frac{R_e}{n} \cdot \alpha \quad [\text{MPa}]$$

σ_{DSV}		dovolené napětí ve svarovém spoji	[MPa]
R_e		mez kluzu základního materiálu	[MPa]
α		převodní součinitel svarového spoje	
n		součinitel bezpečnosti (volí se 1,5 u svarů staticky namáhaných, 2,0 až 3,0 u svarů dynamicky namáhaných)	

Způsoby svařování

Podle základních metod je možno svařování rozdělit takto:

1) Svařování tavné

Obloukové svařování

- a) bez ochranného plynu
 - obloukové svařování obalenou elektrodou
 - obloukové svařování plněnou elektrodou
- b) pod tavidlem
 - drátovou elektrodou
 - páskovou elektrodou
 - plněnou elektrodou
- c) v ochranném plynu
 - tavící se elektrodou v inertním plynu (MIG)
 - tavící se elektrodou v aktivním plynu (MAG)
 - wolframovou (netavící se) elektrodou v inertním plynu (WIG)
 - plazmové
 - atomovodíkové

Plamenové svařování

Elektrostruskové svařování

Laserové svařování

Aluminotermické svařování

Plazmové svařování

Elektronové svařování

2) Svařování s použitím tlaku

Odporové svařování

Teplo ke svaření vzniká průchodem elektrického proudu spojovanými díly.

Třecí svařování

Teplo ke svaření vzniká třením při vzájemném pohybu svařovaných dílů.

Tlakové svařování

Uskutečňuje se plastickou deformací spojovaných dílů při teplotách nižších než je teplota jejich tavení.

Kovářské svařování

Plastická deformace se dosáhne kováním.

Difúzní svařování

Při vzájemné difúzi atomů v tenkých povrchových vrstvách při relativně dlouhé době působení zvýšené teploty a malé plastické deformace.

Ultrazvukové svařování

Při současném působení mechanických kmitů vyvolaných ultrazvukem a tlaku. Mechanické kmity spojovaných dílů vyvolají třením teplo, které není dostatečné pro natavení, avšak podpoří difúzi atomů.

Svařování za studena

Při velké plastické deformaci bez ohřevu dílů.

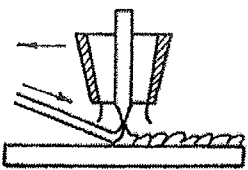
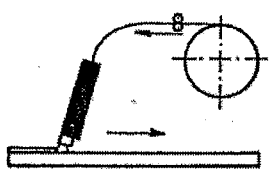
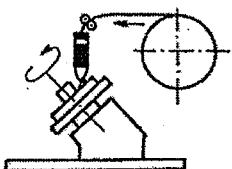
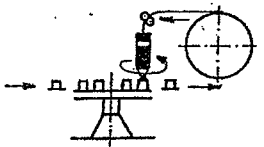
Svařování explozí

Spojení dílů vznikne jejich prudkým nárazem na sebe. Náraz je způsoben explozí vhodné trhaviny.

Podle úrovně mechanizace lze svařování rozdělit na:

- 1) Ruční svařování - provádí se např. ručně pomocí elektrody, energie se získává ze svařovacího stroje.
- 2) Mechanizované svařování - provádí se použitím mechanismů a strojů, které řídí člověk.
- 3) Automatizované svařování - např. zapálení oblouku, podávání elektrody, relativní přemísťování oblouku a svarku je vykonáváno mechanismy, podle zadaného programu bez bezprostřední účasti člověka.
- 4) Automatické svařování - veškeré operace jsou vykonávány strojem podle zadaného programu bez bezprostřední účasti člověka.

Přehled způsobu svařování podle úrovně mechanizace je uveden v tabulce 3.1.

ZPŮSOB SVAŘOVÁNÍ	PŘÍKLADY SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÉM PLYNU	PRŮBĚH POHYBU A PRÁCE		
		VEDENÍ HOŘÁK - DÍL	POSUV PŘÍDAVN. MATERIÁLU	MANIPULACE S DÍLEM
RUČNÍ	 SVAŘOVÁNÍ WIG	RUČNĚ	RUČNĚ	RUČNĚ
MECHANIZOVANÉ	 SVAŘOVÁNÍ MAG	RUČNĚ	MECHANICKY	RUČNĚ
AUTOMATIZOVANÉ	 SVAŘOVÁNÍ MAG	MECHANICKY	MECHANICKY	RUČNĚ
AUTOMATICKÉ	 SVAŘOVÁNÍ MAG	MECHANICKY	MECHANICKY	MECHANICKY

Tabulka 3.1 Přehled způsobu svařování podle úrovně mechanizace

3.2 TECHNOLOGIČNOST SVAŘOVANÝCH KONSTRUKCÍ [1]

Při návrhu svařované konstrukce je podobně jako při návrhu ostatních výrobků nutná spolupráce konstruktéra s technologem. V praxi strojírenských závodů se provádí tzv. technologičnost konstrukčních výkresů, kdy konstruktér předkládá již od prvních návrhů výkresy dílů a konstrukcí technologovi, jehož úkolem je posoudit, zda nakreslené díly a konstrukce je vůbec možno nejen vyrobit, ale vyrobit je hospodárně při dodržení optimálních užitkových vlastností pro dané provozní podmínky.

Svařované konstrukce a zařízení tvoří významnou oblast průmyslové výroby. Zhotovují se ve formě polotovárů nebo hotových výrobků podle určení jejich použití. Svařování je podmíněno řadou požadavků na materiály, technologii výroby a na konstrukční řešení svarů. Proto při něm vystupuje do popředí nutnost provádět

technologičnost svařovaných konstrukcí, která má za cíl snížit pracnost svarku a uspořít materiály stanovením optimální technologie výroby svarku při respektování požadavků konstruktéra i uživatele na funkci, bezpečnost provozu a životnost svařované konstrukce. Spolupráce konstruktéra s technologem svařování je proto nezbytnou podmínkou při výrobě svařovaných konstrukcí. Účelem této spolupráce je vytvořit technické výrobní podklady, které umožní vyšší využití vlastností materiálů a zvýší spolehlivost a ekonomičnost svařovaných konstrukcí.

Svařovací plán

Při návrhu svařované konstrukce je nutno vzít v úvahu následující charakteristiky a zařadit je podle důležitosti konstrukce do pracovních podkladů nebo do samostatného plánu svařování.

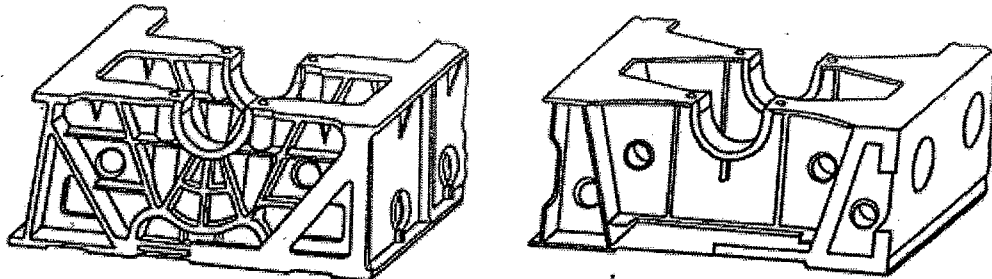
- 1) Rozdělení konstrukce do svařovaných dílů a podskupin s ohledem na jejich deformace a smrštění při svařování, na přístupnost svarů, na použitelnost mechanizovaných a automatizovaných metod výroby.
- 2) Prostředky ke snížení resp. zabránění deformací a smrštění (např. předepnutí, přídavky na smrštění).
- 3) Způsob svařování s ohledem na vybavení svařovacího pracoviště.
- 4) Parametry svařování (např. velikost svařovacího proudu a napětí, rychlost svařování, rychlost posuvu svařovacího drátu, počet svarových housenek).
- 5) Druhu svaru, tvary a rozměry svarových ploch, počet a velikost svarů.
- 6) Přídavky pro svařování.
- 7) Přídavné materiály s ohledem na zvolený základní materiál, jejich typy a rozměry.
- 8) Poloha svařování (např. vodorovná shora, nad hlavou).
- 9) Sled svarových housenek (např. svar provedený jedním sledem, střídavě, vratným krokem).
- 10) Tepelné zpracování základního materiálu před svařováním a tepelné zpracování svarku.
- 11) Způsob mechanického opracování svarů a svarku.
- 12) Způsob značení svarů značkou svářeče (v případě nutnosti značit).
- 13) Vizuální a defektoskopická kontrola svarů.

Optimalizace výroby svarků

Svařovanou konstrukci zpravidla volíme tehdy, když je to z hlediska efektivnosti její výroby výhodné ve srovnání s výkovkem nebo odlítkem.

Hlavním požadavkem na rámy strojů je velká tuhost. Vyrábějí se ze šedé litiny nebo z oceli na odlitky. Šedá litina dobře tlumí mechanické kmity, dá se dobře opracovávat a je levná. S ohledem na technologické požadavky pro odlitky má konstrukce poměrně tlusté stěny a plochy pro opracování mají přídavky 8 až 20 mm. Odlitky se musí čistit a tepelně zpracovávat.

Ve většině případů je možno rám stroje vyrobit svařením z plechů a z válcovaných profilů, případně na tvarově členité části použít odlitek z oceli na odlitky. Při náhradě odlévaného rámu stroje rámem svařovaným by bylo nesprávné „okopírovat“ tvar odlitku, musí se provést technologičnost výkresu svarku. Správně navržený svařený rám může být o 30 až 50 % lehčí než rám odlévaný. U svařeného rámu však bude větší pracnost výroby nežli u odlévaného. Na obrázku 3.2a) a b) je znázorněna možná náhrada odlitku za svařovanou konstrukci.



Obr. 3.2a) – Odlitek ze šedé litiny [1] Obr. 3.2b) – Svarek z hutních polotovarů [1]

Při optimalizaci výroby svarků je nutno je zaměřit zejména na oblast navrhování svařovaných konstrukcí a na oblast jejich výroby. Je přitom zapotřebí provádět tyto činnosti:

Navrhování svařované konstrukce

- 1) Stanovení provozních podmínek svarku (způsob namáhání, pracovní prostředí).
- 2) Volba základního materiálu konstrukce a přídavných materiálů s ohledem na technologii svařování.
- 3) Stanovení kritérií pro hodnocení základního materiálu a svarového spoje v průběhu výroby a případně i v provozu.
- 4) Stanovení technologických podmínek svařování (např. předehřev, dohřev) a určení míry přípustnosti vad ve svarech.
- 5) Návrh tvaru a rozměrů svařované konstrukce tak, aby vyhověla požadavkům na namáhání v podmínkách provozu a výrobním možnostem.

Výroba svařované konstrukce

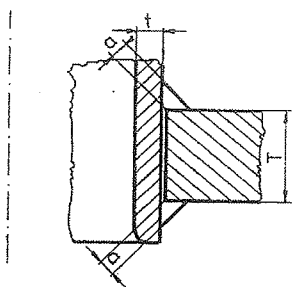
- 1) Použití produktivního způsobu svařování, mechanizace a automatizace.
- 2) Organizace a efektivnost výroby svarků.
- 3) Omezování deformací a vnitřních pnutí.
- 4) Možnost kontroly případných vad ve svarech.
- 5) Způsob oprav vad a deformací.
- 6) Optimální tepelné zpracování svarku.
- 7) Opracování funkčních ploch a povrchová úprava svarku.

Zásady technologičnosti svařovaných konstrukcí

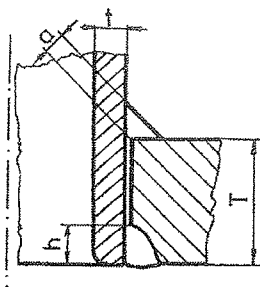
- 1) Při návrhu konstrukce respektovat metalurgické zvláštnosti technologie svařování a vliv procesu svařování na vlastnosti materiálu konstrukce.
- 2) Využívat normalizaci dílů a používat stavebnicové konstrukce. Volit technologicky nenáročnou přípravu dílů ke svařování včetně úpravy svarových ploch.
- 3) Snižovat hmotnost konstrukce optimální volbou základního materiálu s odpovídající svařitelností.
- 4) Využívat nové technologické postupy a moderní způsoby svařování s vysokou koncentrací energie a tím s minimálním tepelným ovlivněním základního materiálu.
- 5) Správnou volbou tvaru konstrukce, základních i přídavných materiálů a technologie svařování snižovat vnitřní pnutí a deformace. Volit správný druh a rozměr svaru a jejich optimální umístění.
- 6) Konstrukci a technologii svařence volit tak, aby bylo možno co nejvíce využít mechanizace a automatizace svařování. To vede ke zvýšení produktivity výroby (považujeme-li za 100% produktivity ruční obloukové svařování obalenou elektrodou, je např. při mechanizovaném obloukovém svařování produktivita 130 -180%, při svařování automaticky v ochranném plynu CO_2 200 - 350%, při odporovém bodovém svařování 500 – 700%).
- 7) Návrh tvaru konstrukce a umístění svarových spojů musí splňovat nejen požadavky na pevnost a houževnatost, ale i na požadavky na operativnost svařování, jako je např. přístupnost pro svařování a pro kontrolu svarů a pro jejich případnou opravu.
- 8) Dobře zvážit nutnost předehřevu před svařováním a nutnost tepelného zpracování svařence. Jedná se o ekonomicky nákladné operace, které však jsou nezbytné u svařovaných konstrukcí z ocelí o vyšší pevnosti a při dynamickém namáhání konstrukce v provozu.
- 9) Volbu svařované konstrukce a její technologii volit s ohledem na výrobní a kontrolní možnosti závodu. Výrobní tolerance a přídavky na zpracování volit pouze technicky zdůvodnitelné.
- 10) Při zajišťování všech technických požadavků, kladených na svařovanou konstrukci je nutno mít na mysli také kategorie: cena, pracnost a materiálové náklady.

Mnohé z uvedených zásad technologičnosti působí protichůdně a je proto nutno hledat vždy optimální řešení. Např. příprava svarových ploch plechů pomocí tepelného řezání kyslíkem je ekonomicky výhodná, může však snížit odolnost svařence proti únavě. Jiným příkladem mohou být koutové svary, které jsou sice nenáročné na přípravu před svařováním, ale je u nich vyšší nebezpečí neprovaření kořene svaru, což může způsobit snížení odolnosti svaru proti únavě a zvýšit náchylnost ke křehkému porušení.

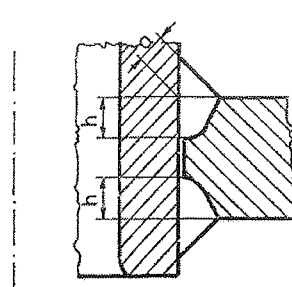
Příklad možného konstrukčního a technologického řešení přivaření vsazeného hrdla do rozměrné nádoby je uveden na obr. 3.3 a), b), c), d), d) a f).



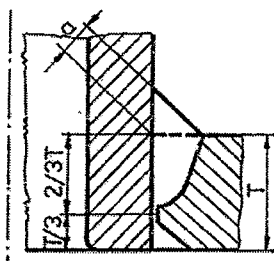
obr. 3.3 a) [1]



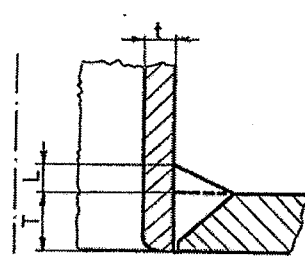
obr. 3.3 b) [1]



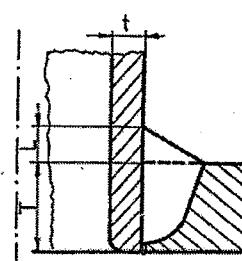
obr. 3.3 c) [1]



obr. 3.3 d) [1]



obr. 3.3 e) [1]



obr. 3.3 f) [1]

- Spoj se dvěma koutovými svary. Použije se u málo náročného provozu.
- Spoj s vnějším koutovým a zevnitř polovičním U svarem.
- Hrdlo je zevnitř i zvenku přivařeno polovičním U + koutovým svarem.
- Svar provařený z obou stran, pro náročný provoz.
- Použije se v případě, kdy není přístup z vnitřku nádoby, poloviční V + koutový svar.
- Pro větší tloušťku pláště, poloviční U + koutový svar.

Důležitost jednotlivých zásad technologičnosti bude záviset na charakteru svařované konstrukce a na provozních podmínkách. Jiné požadavky budou rozhodující pro kusově vyráběné konstrukce typu např. železniční mosty, jeřáby, tlakové nádoby, a jiné pro svarky sériově vyráběné. Z provozních podmínek svařené konstrukce bude mít velký vliv např. teplota provozu a to zejména pro její hodnoty pod -20°C a nad 150°C . Je nutno vždy vycházet z technických podmínek nebo norem, platných pro vyráběnou svařovanou konstrukci.

3.3 ZÁKLADNÍ DRUHY SVARŮ [1]

Druhy svarových spojů a svarů

Podle možné vzájemné polohy svařovaných dílů jsou v zásadě možné čtyři základní typy svarových spojů:

- 1) Tupý spoj – svařované díly jsou spojeny čelními plochami.
- 2) Rohový spoj – svařované díly jsou umístěny pod úhlem a jsou spojeny v místě jejich okrajů.
- 3) Přeplátovaný spoj – svařované díly jsou umístěny souběžně a částečně se překrývají.

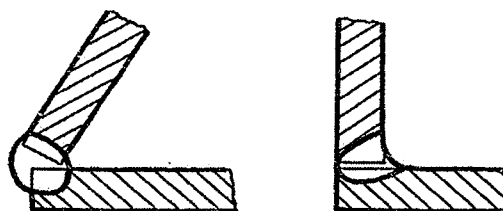
- 4) Spoj T – čelo jednoho dílu se přivařuje pod úhlem na povrch druhého dílu.

U svařovaných konstrukcí se někdy používá kombinace uvedených typů svarových spojů. V technické praxi se častěji hovoří přímo o svaru. Rozeznávají se následující svary (obr. 3.4)

- 1) Tupý svar – je to svar tupého spoje. Může mít tvar I, U, V, W či poloviční V, U W. V případě větší tloušťky svařovaných dílů může být oboustranný, aby se zajistilo dobré provaření kořene svaru a snížilo se nebezpečí vzniku deformací. Mezi díly je nutno dodržet předepsanou svarovou mezeru, která zajišťuje provaření kořene svaru.



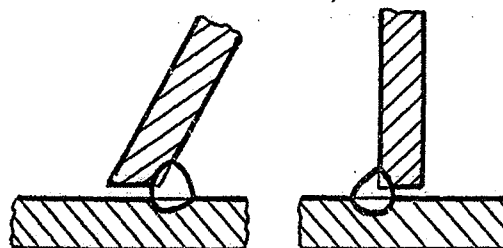
obr. 3.4 a)



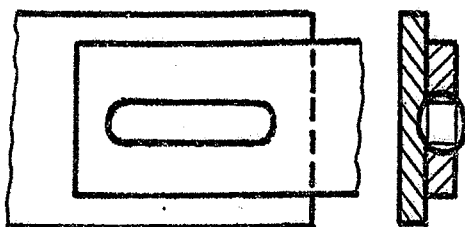
obr. 3.4 b)



obr. 3.4 c)



obr. 3.4 d)



obr. 3.4 e)



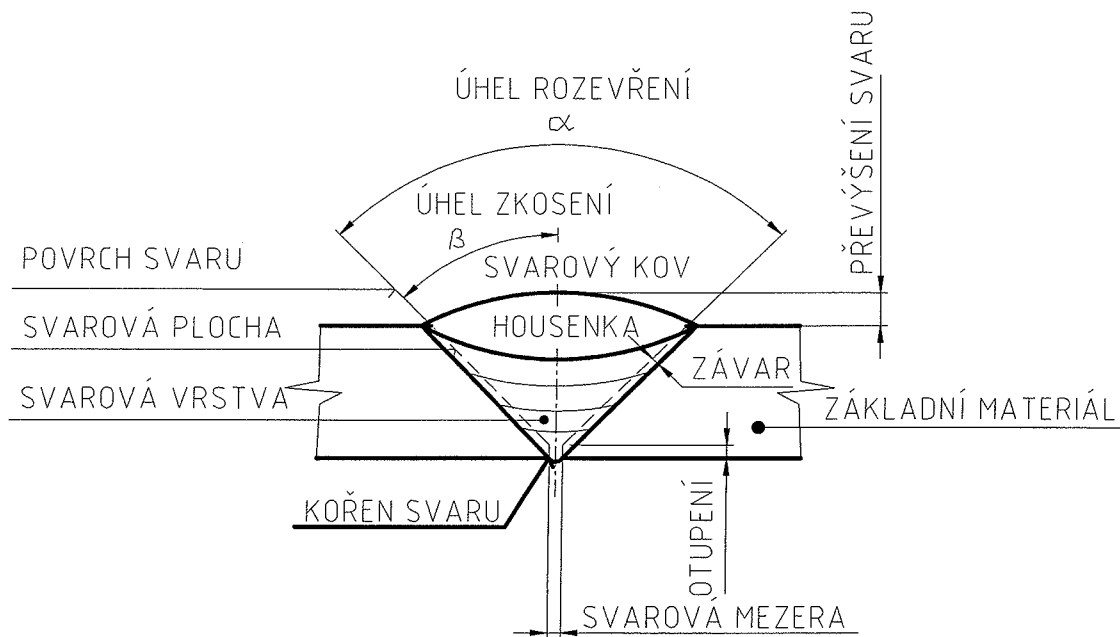
obr. 3.4 f)

Obr. 3.4 Příklad svařovaných spojů a svarů [1]

- a) Tupý spoj, tupý svar
- b) Rohový spoj, koutový svar
- c) Překládaný spoj, koutový svar
- d) Spoj T, koutový svar
- e) Děrový svar
- f) Lemový svar

- 2) Koutový svar – je to svar rohového, přeplátovaného nebo T spoje. Podle umístění na svařované konstrukci se koutové svary dělí na jednostranné a oboustranné. Povrch koutového svaru (přepona trojúhelníka) může mít podobně jako tupý svar tvar plochý, vydutý nebo převýšený. Koutové svary probíhající po celé délce svařovaných dílů se nazývají průběžné. V mnoha případech postačí provádět koutové svary přerušované, kdy je svar tvořen větším počtem krátkých svarů, mezi kterými jsou vynechány mezery.
- 3) Bodový svar – je svar, kterým se svařované díly spojí v jednotlivých bodech. Uplatňuje se zejména při odporovém svařování.
- 4) Lemový svar – vznikne v důsledku roztavení olemovaných okrajů svařovaných tenkých plechů, mnohdy bez použití přídavného materiálu.
- 5) Děrový svar – svar vyplní otvor připravený v jednom ze svařovaných dílů.

Terminologie svarových spojů a svarů je normalizována. Příklad názvosloví pro tavný tupý svar je podle ČSN 05 0000 uveden na obr. 3.5.



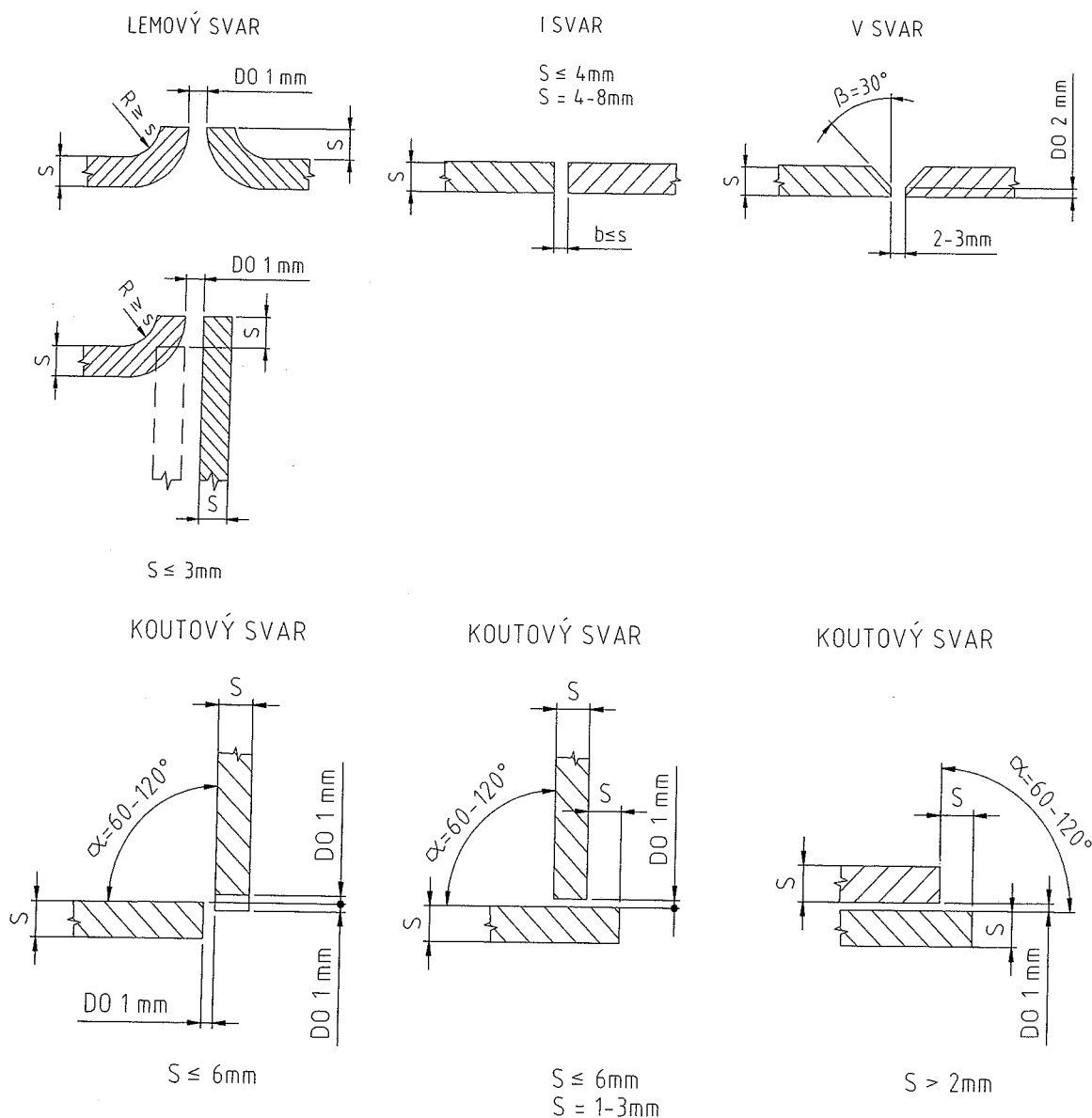
Obr. 3.5. Názvosloví tavného tupého svaru [1]

Tvary a rozměry svarových ploch

Pro zajištění dokonalého spojení svarového kovu a základního materiálu je nutno upravit na svařovaných dílech svarové plochy. Svarové plochy mají různé tvary, které pro určitý způsob svařování stanovují normy. Rozměry a tvar svarových ploch ovlivňuje:

- 1) Svařovaný materiál (různá tepelná roztažnost např. oceli, mědi, slitin hliníku).
- 2) Tloušťka svařovaných dílů (různá přístupnost ke kořeni svaru).
- 3) Způsob svařování (jiné úhly rozevření jsou např. pro svařování ruční plamenové a pro svařování tavící se elektrodou v CO_2 při stejné tloušťce svařovaného ocelového plechu).
- 4) Konstrukční řešení svařovaných dílů a místní přístupnost pro operaci svařování.
- 5) Technologie svařování, možnost předehřevu dílu a kontroly svaru.
- 6) Provozní podmínky svarového spoje, druh zatížení (statické, dynamické).
- 7) Výrobní možnosti (svarové plochy je možno např. frézovat, soustružit, řezat kyslíkem).

Obecně platí, že použití jednotlivých tvarů svarových ploch se řídí podle konstrukčních, technologických a výrobních podmínek. Na obr. 3.6 jsou uvedeny základní druhy, rozměry svarových ploch a doporučená tloušťka svařovaných dílů pro ruční plamenové svařování ocelí.



Obr. 3.6. Tvary a rozměry svarových ploch pro ruční a plamenové svařování ocelí [1]

3.4 VLIV TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ NA ZÁKLADNÍ MATERIÁL [1]

Tavné svařování je proces, při kterém dochází ke spojení dílů při roztavení a následném ztuhnutí přídavného a základního materiálu. Je to metalurgický pochod, probíhající v relativně malém objemu kovu (při srovnání s metalurgickými pochody při tavení oceli nebo při výrobě odlitků). Účinek svařování na základní materiál je možno vysvětlit superpozicí teplotního a deformačního cyklu svařování. Z hlediska spolehlivosti provozu svařené konstrukce je důležité, do jaké míry tepelně deformační proces změni strukturu a tím i mechanické a další vlastnosti svarového spoje. Požadavky na mechanické vlastnosti jsou dány namáháním, kterému je svařená konstrukce vystavena. Aby bylo možno při provozu konstrukce plně využít pevnost a houževnatost základního materiálu, musí jeho pevnosti a houževnatosti odpovídat mechanické vlastnosti jak svarového kovu, tak i teplem ovlivněné oblasti svarového spoje.

Metalurgické děje při tavném obloukovém svařování

Podstatou metalurgických reakcí při tavném svařování je fyzikálně – chemické působení mezi svarovou lázní (tvořena roztaveným kovem elektrody a nataveným základním materiálem), roztavenou struskou (vznikne roztavením např. obalu elektrody, tavidla) a plynovou atmosférou (např. elektrického oblouku). Metalurgie obloukového svařování probíhá kontinuálně, její reakce mají vysokou intenzitu a trvají krátkou dobu. Přitom nedochází k rovnovážnému stavu reakcí mezi kovem a struskou. Metalurgické reakce začínají v kapkách kovu odtavujících se elektrody a jsou dokončovány ve svarové lázni. Roztavený kov přídavného i základního materiálu je během svařovacího procesu vystaven účinkům prostředí, které jej obklopuje. Před škodlivými účinky zejména kyslíku a dusíku ze vzduchu je proto svarovou lázeň nutno chránit buď struskou nebo provést její ochranu pomocí inertního (např. Ar, He) nebo aktivního (např. CO_2) plynu. Tuhnutí svarové lázně probíhá obdobně jako např. u odlitků, přičemž způsob a výsledek krystalizace svarového kovu je ovlivněn měrným příkonem svařování, způsobem a technologií svařování, druhem základního materiálu, druhem a rozměry svaru a konstrukčním uspořádáním svařence. Plyny vzniklé při metalurgické reakci difundují do svarového kovu a do teplem ovlivněné oblasti. Jejich část může v závislosti na rychlosti tuhnutí zůstat ve svarovém spoji a způsobit zde póry, zkřehnutí nebo trhliny.

Mezi základní metalurgické děje při tavném svařování obecně patří:

- 1) Oxidace svarového kovu (kyslíkem, např. z okolní atmosféry, z nečistých svarových ploch). Vzniká FeO , jehož část přejde do strusky.
- 2) Redukční procesy manganu a křemíku při současné oxidaci svarového kovu. Výsledkem reakce je Mn, Si, a škodlivý FeO .
- 3) Dezoxidace FeO rozpuštěného ve svarové lázni (protože pouze jeho část přešla při reakci podle bodu 1 a 2 do strusky). Dezoxidace se provádí hlavně feromanganem, ferosiliciem nebo ferotitanem, které vážou FeO tím, že se jeho kyslíkem vytváří jiné, ve svarové lázni nerozpustné oxidy, které přejdou do strusky (MnO , TiO_2 , SiO_2).
- 4) Odstraňování škodlivého dusíku, vodíku, síry a fosforu ze svarové lázně. Nepříznivá je zejména síra, neboť sulfidy tvoří s železem eutektikum, které se

soustřeďuje uprostřed svarové housenky, tedy v místech, která zůstávají nejdéle tekutá. Zde může vzniknout úzký vrub jako zárodek trhliny.

Teploty a struktura ve svarovém spoji

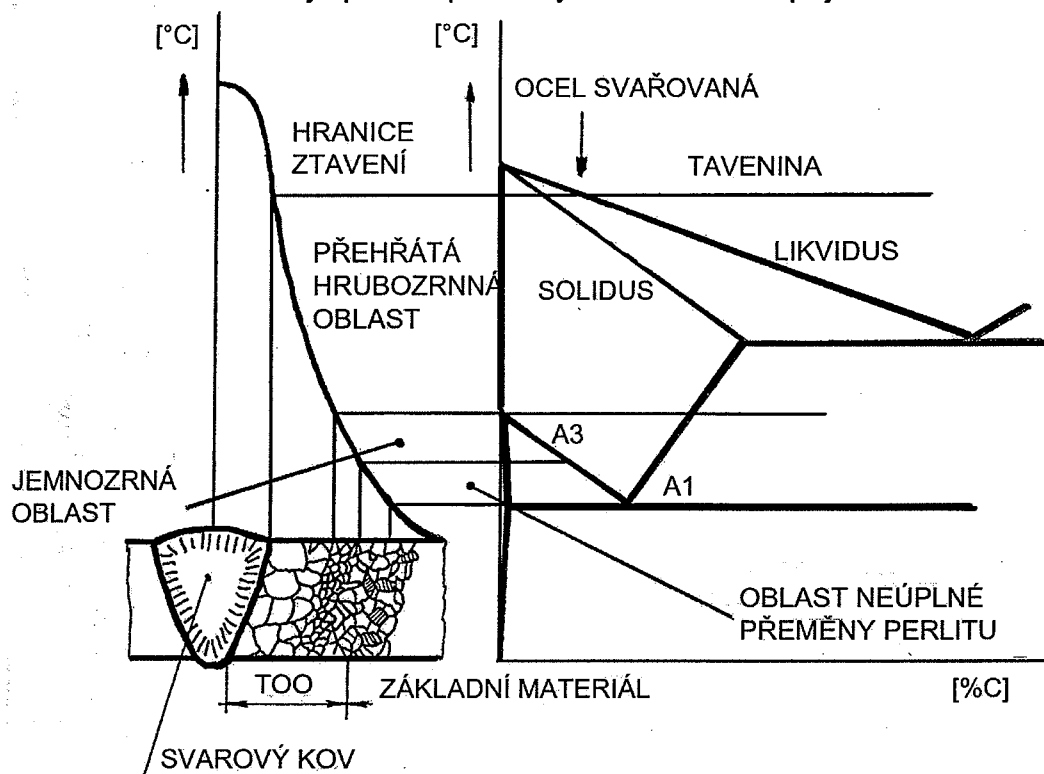
Materiál je v místě svařování roztaven bodovým zdrojem tepla, přičemž přímo v místě svaru teploty přesahují 1600°C. V sousední teplem ovlivněné oblasti (TOO) teplota exponenciálně klesá až na teplotu základního materiálu. Tím vlastně dochází v jednotlivých oblastech svarového spoje k různým druhům tepelného zpracování, které odpovídá diagramu Fe – Fe₃C. Od běžného tepelného zpracování se ale místo svaru liší vysokou rychlostí ohřevu, vyšší maximální teplotou při kratší době prodlevy na maximální teplotě a vysokou rychlostí ochlazování. Podle způsobu svařování, množství přiváděného tepla, rychlosti svařování, druhu materiálu a tloušťky svarku může ležet maximální teplota svařovacího cyklu relativně výše nebo níže a průběh poklesu teploty směrem k základnímu materiálu může probíhat příkřeji nebo pozvolněji. Ve svém důsledku to znamená, že může být různá rychlost ochlazování svarového spoje a že je různá struktura v okolí svaru, odlišná od struktury základního materiálu.

Při tavném svařování se nachází jak natavený základní materiál tak roztavený materiál v tekutém stavu, tedy nad čarou likvidu. Tím dochází k jejich promíšení a k reakci s přítomnými plyny a se struskou. Následující tuhnutí probíhá v teplotní oblasti mezi likvidem. Je provázáno difúzními procesy, tvorbou precipitátů a pod teplotou A₃ přeměnou kubické mřížky železa γ na α . Ve svarovém kovu dochází k tvorbě krystalické struktury, přičemž krystaly narůstají od základního materiálu směrem do taveniny. Jsou relativně dlouhé a v případě provedení svaru pouze jednou vrstvou jsou hrubé. Je-li však svar proveden ve více vrstvách, jsou předchozí svarové housenky teplotou následující housenky ohřáty až nad teplotu A₃ a mají proto jemnozrnnou strukturu, která ztratila licí charakter. Dendritická krystalizace je provázána segregací hlavně uhlíku a síry.

Teplem ovlivněnou oblast tavného svaru můžeme rozdělit na následující části (obr. 4.1) :

- 1) **Oblast přechodu svarového kovu do TOO.** Ve většině případů se jedná pouze o linii, hranici mezi svarovým kovem a základním materiálem, který zůstal při svařování v tuhém stavu. Tato linie se nazývá hranicí ztavení, neboť na ní bylo dosaženo teploty tavení základního materiálu. Pouze např. u ocelí CrNi austenitických můžeme strukturně zjistit místo linie celou oblast částečného natavení. Jde o oblast chemicky nestejnorodou, obsahující nečistoty.
- 2) **Přehřátá oblast se zhrublým zrnem,** ovlivněná teplotami nad A_{C3}. U nelegovaných ocelí je teplota intenzivního růstu primárních zrn okolo 1050°C. V přehřáté oblasti dochází k výraznému poklesu plastických vlastností, neboť v případě velkých rychlostí ochlazování a dostatečném množství uhlíku zde může vzniknout martenzitická struktura.

- 3) **Jemnozrnná oblast** je oblast krátkodobě vyhřátá těsně nad teplotu AC_3 . Při svařování prošla úplnou polymorfní přeměnou $Fe\alpha - Fe\gamma - Fe\alpha$. Zde došlo k normalizačnímu žíhání, zrna jsou stejnoměrná. Velikost zrna se zvětšuje se stoupající dosaženou teplotou.
- 4) **Oblast s neúplnou polymorfní přeměnou perlitu a feritu** leží mezi teplotou AC_3 a AC_1 .
- 5) **V oblasti zahřáté pod teplotou AC_1** probíhají rekrystalizační pochody do cca $500^\circ C$ a dále změny pouze v rámci tuhého roztoku nízkouhlíkových ocelí dojdí k tzv. stárnutí oceli, zejména v místech deformovaných za studena (místa ohybů) před svařením. Příčinou stárnutí je volný intersticiální dusík, (který blokuje dislokace), a také jeho nitridy a karbonitridy ve formě precipitátů. Důsledkem stárnutí je pokles plasticity ve svarovém spoji.



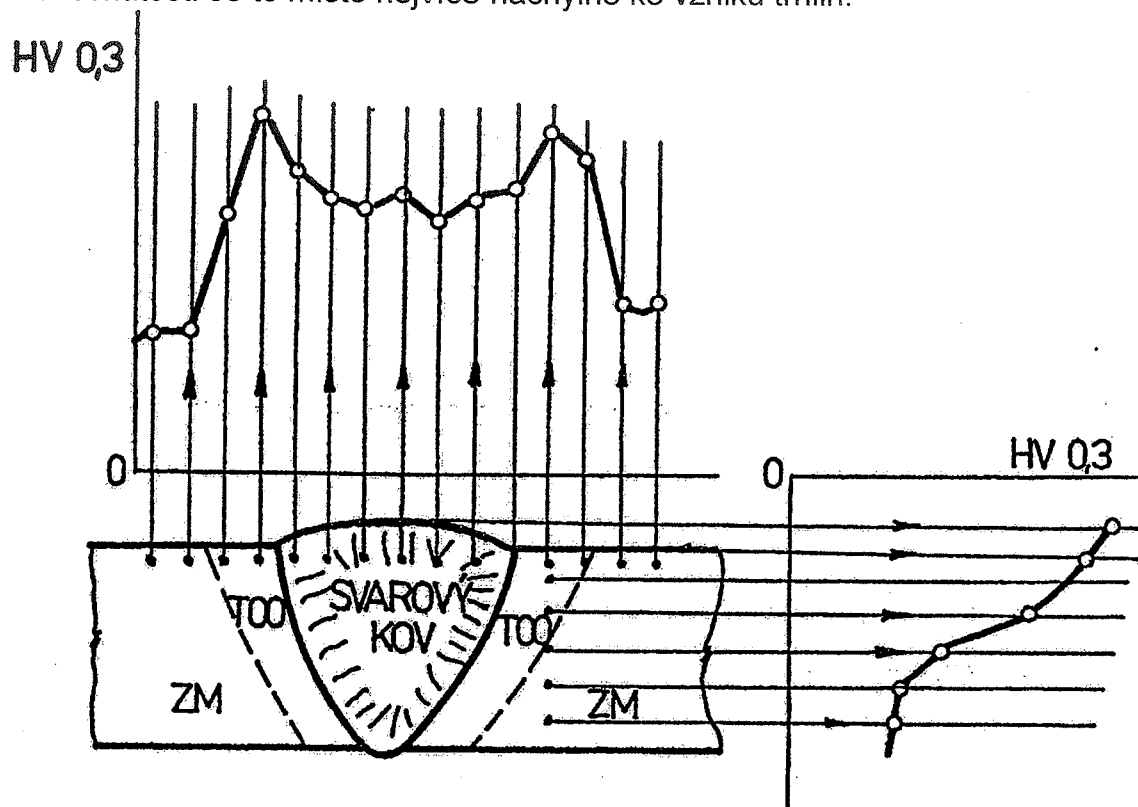
Obr. 4.1 Teplem ovlivněné oblasti tavného svaru [1]

Šířka jednotlivých uvedených oblastí v TOO je u různých způsobů svařování různá (s výjimkou hranice ztavení) a závisí do značné míry na použitých parametrech svařování. Šířka přehřáté oblasti bývá 0,1 až 0,5 mm (výjimkou je elektrostruskové svařování s 0,5 a ž 5 mm). Jemnozrnná oblast je široká 0,3 a ž 2 mm (u plazmového svařování 0,1 až 0,3 mm).

V důsledku popsaného různého stupně austenitizace a různých rychlostí ochlazování zjišťujeme ve svarovém spoji různou strukturu a tím i rozdílné mechanické vlastnosti. Příkladem může být obr. 4.2, kde je znázorněn průběh tvrdosti ve svarovém spoji ocelového plechu. Největší tvrdost je v místech TOO, které vykazují strukturu základního charakteru.

Strukturu TOO ovlivňuje teplotní cyklus svařování, který je charakterizován rychlostí ohřevu na svařovací teplotu, max. teplotou prodlevy nad AC_3 , dobou setrvání na max. teplotě a zejména dobou ochlazování svaru mezi teplotou 800 až $500^\circ C$. Tato doba se označuje $\Delta t_{8/5}$ a má rozhodující vliv na mechanické vlastnosti TOO.

Růst původního austenitického zrna TOO je jedním z rozhodujících degradačních mechanismů plasticity svarových spojů. Nejhorší mechanické vlastnosti jsou v těch místech svarového spoje, kde byla při svařování dosažena v TOO nejvyšší teplota. Zde je prokazována nejvyšší tvrdost a nejnižší vrubová houževnatost. Je to místo nejvíce náchylné ke vzniku trhlin.



Obr. 4.2 Průběh tvrdosti svarovým spojem [1]

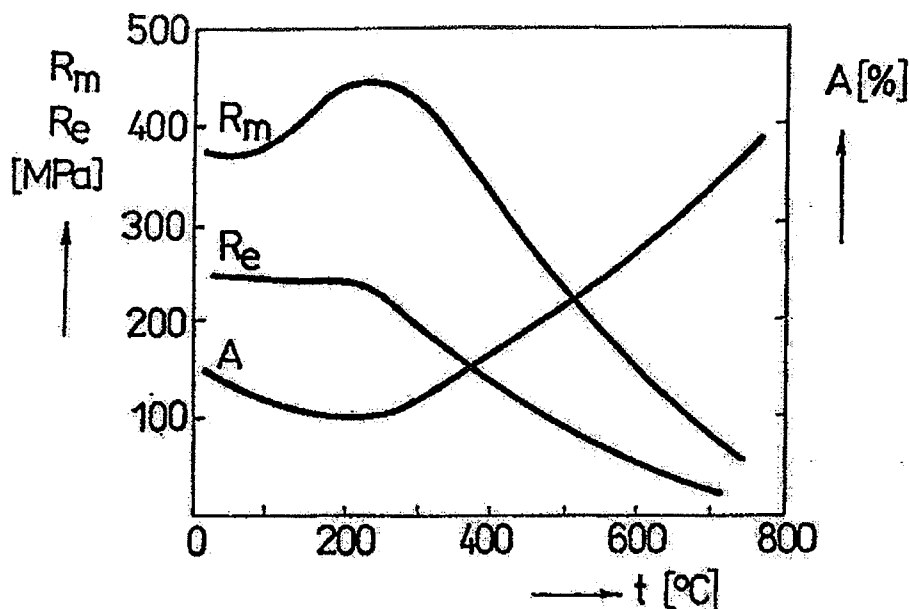
3.5 DEFORMACE A VNITŘNÍ NAPĚTÍ PŘI SVAŘOVÁNÍ [1]

Vnitřní napětí je napětí, které zůstává ve svarku, aniž na něj působí vnější síly. Přivedené teplo do svarového spoje vyvolává deformace a napětí. Podle doby své existence může být vnitřní **napětí přechodné**, které mizí po vyrovnání teplot, nebo zůstává ve svarovém spoji i po úplném ochlazení svarku jako vnitřní **napětí zbytkové**. To vzniká tehdy, došlo-li k místní plastické deformaci ve svarovém spoji. V dalších úvahách v textu se rozumí pod pojmem vnitřní napětí vždy vnitřní napětí zbytková, která mají pro technickou praxi největší význam, neboť mohou omezit bezpečnost provozu a životnost svařené konstrukce. Obecně platí, že vnitřní napětí ve svarovém spoji, který nebyl tepelně zpracován mohou dosáhnout až meze kluzu daného materiálu.

Mezi deformací a vnitřním napětím je příčinná souvislost, přičemž určující stránkou jejich vzniku je přívod tepelné energie do svaru. Deformace a vnitřní napětí ve svarovém spoji vznikají vždy. Nelze jim zabránit, ale je nutno a možno snižovat jejich velikost konstrukčními a technologickými opatřeními.

Smrštění a deformace svarků

Zdroj tepla při svařování způsobí, že svarek je nerovnoměrně ohříván na teploty v rozsahu od teploty tavení kovu až po teplotu okolí. V tomto rozmezí teplot se pronikavě mění jednak fyzikální charakteristiky kovu, ovlivňující objemové změny ve svarovém spoji (teplotní roztažnost, tepelná vodivost, měrné teplo) a jednak mechanické vlastnosti kovu (viz. obr. 5.1).



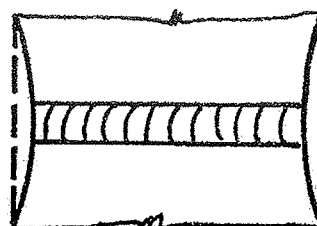
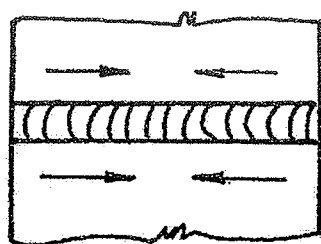
Obr. 5.1 Závislost mechanických vlastností nízkouhlíkové oceli na teplotě [1]

Smrštění svarku je způsobeno zmenšením objemu svarového kovu při jeho ochlazování. Objem svarového kovu se mění s teplotou a to v závislosti na fyzikálních vlastnostech kovu. Změny rozměrů jsou značné, např. při svařování uhlíkové oceli se součinitelem délkové teplotní roztažnosti $\alpha = 0,013 \text{ mm}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ se každý metr konstrukce prodlouží o 1,3 mm při jejím zahřátí o 100°C .

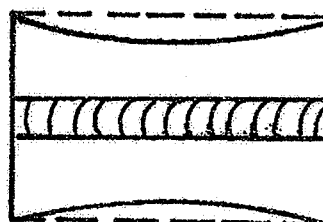
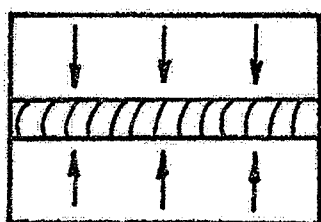
Při svařování probíhají za sebou v jistých časových intervalech a místech ohřev a ochlazování svaru a jeho okolí. Dochází přitom k místnímu omezování prodlužování materiálu okolními chladnými oblastmi svarového spoje, jehož výsledkem je stlačování a plastická deformace, tj. napěchování zahřátých oblastí svaru. Po ochlazení působí napěchované oblasti na své okolí tlakem (-), zatímco přímo v napěchovaných oblastech je pnutí tahové (+).

Deformace rozlišujeme podle směru smrštění ve vztahu k podélné ose svaru na: (viz. obr. 5.2):

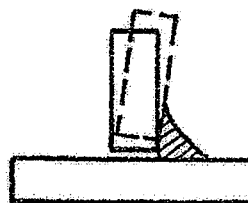
Deformace podélné



Deformace příčné



Deformace úhlové



Obr. 5.2 Rozdělení deformací podle směru smrštění [1]

- 1) **Deformace podélná** - velikost podélného smrštění bývá orientačně 0,35 až 1,0 mm na metr délky svaru, u tuhé konstrukce až 0,6 mm/m. Jeho velikost ve velké míře závisí na průřezu svarku a na intenzitě svařovacího proudu. Při deformacích následkem podélného smrštění se rozlišuje zkrácení svarku (je-li svar umístěn mimo osu svarku). O velikost očekávaného podélného smrštění musíme zvětšit délku objednávaných polotovarů.
- 2) **Deformace příčná** - smrštění příčné má za následek zmenšení původní šířky svaru. Úhel rozevření svarových ploch proto nikdy nevolíme větší, než je nezbytně nutné pro pevnost svarového spoje. U koutových svarů jsou příčná smrštění mnohem menší než u svarů tupých.
- 3) **Deformace ve směru tloušťky** - má význam až od tloušťky plechu asi 30 mm, kdy vzniká nezanedbatelný stav trojosé napjatosti.
- 4) **Deformace úhlová** - je výsledkem příčného smrštění u jednostranných typů svarů V, W, U a u koutových svarů, protože množství navařeného kovu je v horní části svaru větší než v kořenové části. V horní části svaru je proto větší smrštění.

Uvedená smrštění vždy vznikají současně. Každé z nich předpokládá předchozí plastické napěchování materiálu v příslušném směru. Deformace, které vyvolají zkrácení svaru v podélném nebo příčném směru, lze eliminovat přídavky na opracování. Mezní odchylky svarků včetně minimálních přídaveků na jejich obrábění udává norma ČSN 05 0235.

Zmenšování deformací a vnitřních napětí

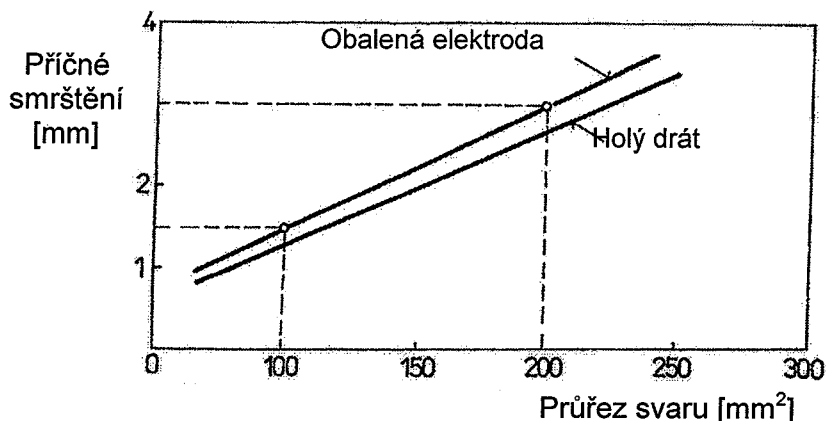
Obecně platí, že tam, kde nejsou po svaření konstrukce zjištěny deformace, lze v nich očekávat vnitřní napětí. Při svařování materiálu s dobrými plastickými vlastnostmi zpravidla omezíme konstrukčními a technologickými opatřeními vznik deformací, abychom zachovali přesný tvar konstrukce bez nutnosti jejího opracování nebo rovnání po svařování. U těchto plastických materiálů vzniklá vnitřní napětí nesníží provozní bezpečnost konstrukce. U ocelí obtížně svařitelných naopak volíme postup svařování, který zajistí minimální vnitřní napětí. Deformace po svaření buď vyrovnáme, odstraníme opracováním nebo snížíme předehnutím dílů před svařováním.

Zmenšení deformací a vnitřních napětí je nutno zajišťovat v předvýrobní etapě (tj. při návrhu konstrukce a technologie), při svařování a i po svaření.

Na velikost deformací a vnitřních napětí má vliv:

1) Konstrukční řešení svarků

- tuhost konstrukce (tuhá konstrukce má za následek velká vnitřní napětí a elastická konstrukce se deformuje),
- velikost svaru (svar o velkém průřezu znamená velké příčné smrštění a velké napětí následkem zabránění smrštění po tloušťce, dlouhý svar znamená velké napětí následkem zabránění smrštění po délce),
- tvar svaru a velikost průřezu, viz. obr 5.3. (Výhodný je oboustranný V svar, který má např. při tloušťce plechu 20 mm pouze 59,4% průřezu jednostranného svaru V a mnohem menší deformaci podélnou, příčnou i úhlovou.),
- rozmístění svarů vzhledem k neutrálním osám průřezu (čím větší je vzdálenost svaru od neutrální osy, tím větší zakřivení svaru svar vyvolá),
- křížení svarů (zde jsou velké špičky napětí).



Obr. 5.3 Vliv velikosti průřezu svaru na příčné smrštění [1]

2) Technologie svařování

- množství a koncentrace přivedeného tepla do svaru (malé teplo a jeho vysoká koncentrace zmenšují TOO),
- parametry svařování (výhodné je např. zvyšovat svařovací rychlost),
- počet vrstev svaru (čím je více vrstev při stejné tloušťce plechu, tím je větší deformace),
- způsob svařování (např. tupé svary při svařování CO₂ mají vlivem menšího úhlu rozevření při svařované tloušťce 15 mm o 27% menší průřez než svary ručně svařované obalenou elektrodou).

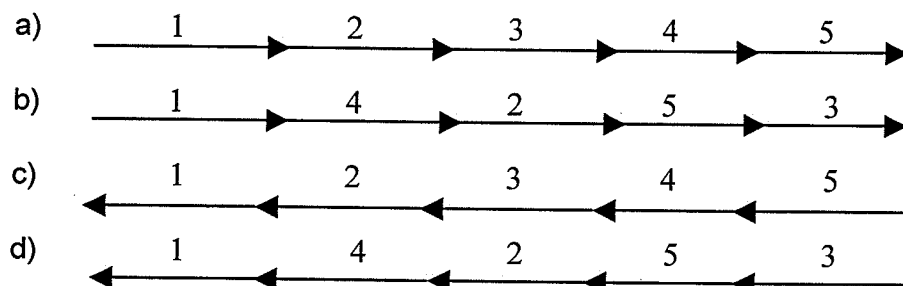
3) Doporučení pro výrobu svarků

- svary zavařovat střídavě z obou stran plechu,
- postupovat od neutrální osy průřezu či od středu,
- temováním svaru vnést do svaru příznivé tlakové napětí,
- volit techniku provádění svarových housenek podle požadavků na velikost deformací a napětí. **Platí zásada:**

Svařování jedním sledem (a) znamená velkou deformaci, ale velmi malé napětí.

Svařování střídavým krokem (b) má střední deformaci a střední napětí.

Svařování vratným krokem (d) má za následek velmi malou deformaci a velké napětí.



4) Zpracování po svaření

- žíhání ke snížení napětí (provádí se nejčastěji, ale vzhledem k jeho ceně se používá jen tam, kde to je nezbytné)
- mechanické snižování vnitřních napětí:

a) Mechanické zatěžování ohybem, tahem, přetlakem nádob a svarového spoje a po uvolnění zatížení dojde k přeskupení a zmenšení vnitřních napětí.

b) Vibrační zpracování, při kterém se svarek uvede do rezonance s vibrátorem na dobu až 5 minut. To se opakuje při vždy vyšší frekvenci kmitů alespoň dvakrát. Dochází při tom ke vzniku přetvárné síly, která v místech koncentrací vnitřního napětí vyvolá místní plasticitu s výsledným přerozdělením napětí a jeho celkovým snížením.

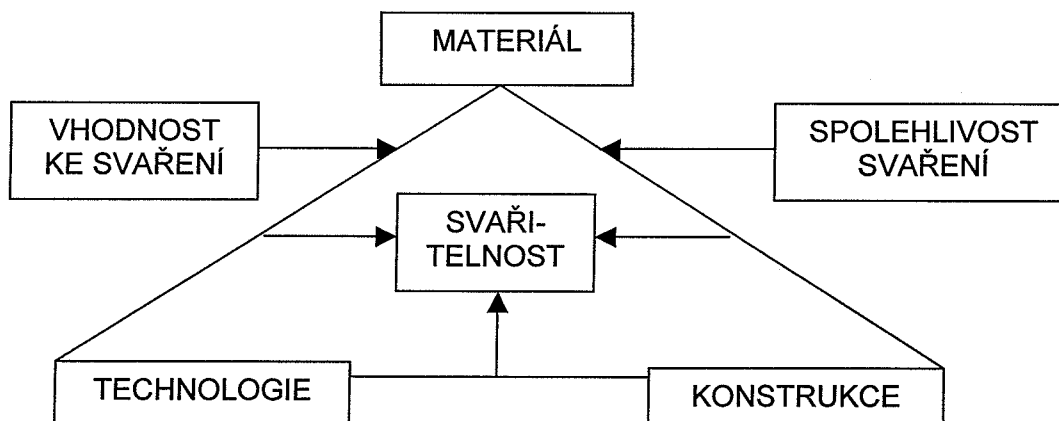
c) Zpracování svarků pomocí řízené exploze. Princip snížení vnitřního napětí je obdobný jako v případě a).

3.6 SVAŘITELNOST MATERIÁLŮ A JEJÍ HODNOCENÍ [1]

Pojem svařitelnost není lehké definovat, i když má vyjádřit zdánlivě jednoduchou vlastnost materiálů a to jak lehce nebo těžce je lze spojit svařováním. Chování materiálu při svařování ale není čistě materiálovou záležitostí, neboť je ovlivňováno řadou dalších vlivů (způsobem svařování, přídavným materiálem, konstrukčním uspořádáním svařovaných dílů).

Svařitelnost

Při návrhu svařované konstrukce musíme brát ohled na úzké spojení a vzájemné působení mezi materiálem, konstrukcí a výrobním způsobem. Materiál volíme na základě jeho mechanických vlastností, které musí u zvolené konstrukce zajistit provozní namáhání. Konstrukční uspořádání svarku musí být provedeno tak, že při zvoleném materiálu můžeme bez potíží použít navržený způsob svařování. Technologie svařování naopak ovlivňuje jak konstrukční uspořádání svarku, tak i konečné vlastnosti materiálu. Vzájemné souvislosti uvedených vlivů je patrná z obr. 6.1.



Obr. 6.1 Vlivy působící na svařitelnost

Svařitelnost – je komplexní charakteristika, která vyjadřuje vhodnost kovu zhotovit svarky požadovaných vlastností při konstrukční spolehlivosti svarového spoje a při určitých technologických možnostech svařování.

Vhodnost na svařování je nový pojem, který zavedla ČSN 05 1309-90 na místo dosud používaných stupňů svařitelnosti (zaručená, zaručená podmíněně, dobrá a obtížná).

Vhodnost kovu na svařování je charakteristika, která vyjadřuje změnu jeho vlastností v důsledku svařování. Obecně lze svařitelnost také interpretovat jako reakci materiálu na tepelně deformační cyklus svařování, jejímž výsledkem jsou strukturní změny, deformace a zbytková pnutí. Vhodnost kovu na svařování je dána:

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

Faktory konstrukční - konstrukční spolehlivost svarového spoje, zabezpečuje:

- 1) Tloušťka materiálu, která určuje stav napjatostí a velikost obvodu tepla ze svarového spoje.
- 2) Tvar svaru a svarových ploch. Určení průřezu svaru a tím množství svarového kovu a tudíž velikost napětí a deformací ve svarovém spoji.
- 3) Tuhost svarového spoje.
- 4) Rozložení a počet svarů v závislosti na způsobu a velikosti namáhání svarové konstrukce.

Faktory technologické - technologická možnost svařování zabezpečuje:

- 1) Způsob svařování, který ovlivňuje množství tepla vneseného do svaru, koncentraci tepelné energie a promíšení základního a přídavného materiálu.
- 2) Přídavný materiál, zejména jeho chemické složení.
- 3) Měrný tepelný příkon svařování.
- 4) Postup svařování s ohledem na deformace a vnitřní napětí ve svarovém spoji.
- 5) Předehřev před svařováním, dohřev a tepelné zpracování svarku.

Kritéria svařitelnosti - pro hodnocení svařitelnosti kovů se podle ČSN 05 1309 používají:

- 1) Ukazatel celistvosti svarových spojů, charakterizující odolnost svarových spojů ke vzniku trhlin a jiných nepřípustných vad.
- 2) Ukazatel vlastností svarových spojů, charakterizující změny jednotlivých vlastností kovů v oblasti svarového spoje v důsledku svařování.

Hodnocení svařitelnosti se určuje jednak vhodnost materiálu na svařování za určitých technologických podmínek, a jednak technologické podmínky svařování určitého materiálu pro dosažení funkčně vyhovujícího spoje.

Ukazatele svařitelnosti

Dosud patří k nejrozšířenějším technologiím tavné obloukové svařování ocelí. Pro zkoušení a hodnocení svařitelnosti ocelí pro obloukové svařování platí norma ČSN 05 1311. Podle této normy se vhodnost ocelí na svařování hodnotí pro tloušťky materiálů do 25 mm, v rozmezí 25 až 60 mm a nad 60 mm.

Vliv základních prvků na metalurgickou svařitelnost ocelí je následující:

Uhlík – nejdůležitější prvek, který negativně ovlivňuje svařitelnost tím, že zvyšuje prokalitelnost oceli. Při obsahu $C > 0,22\%$ je nutno díl před svařením předehřát, aby se zpomalila rychlost ochlazování svarového spoje a tím se zabránilo struktury zákalného charakteru v TOO svarového spoje.

Křemík – přímo na svařitelnost nemá velký vliv. Váže však na sebe kyslík rozpuštěný ve svarové lázni, čímž zabraňuje tvorbě CO při tuhnutí svaru a tím tvorbě pórů ve svarovém kovu. Je-li současně přítomen mangan, stává se struska snáze tekutou, dobře se odděluje od kovu a klesá její obsah ve svarové lázni. Zvýší se tím houževnatost svarového kovu. Obvykle se osvědčuje poměr $Mn \geq Si$.

Mangan – je ve svařování vítanou přísadou. Zvyšuje pevnost, která je provázená menším poklesem tažnosti, nežli způsobuje uhlík. Zmenšuje náchylnost ke tvorbě trhlin za horka zapříčiněnou vyšším obsahem síry ve svarovém kovu. Má podobně jako křemík desoxidační účinek na svarovou lázeň. Při obsahu $Mn > 0,8\%$ působí zvětšování zrna, proto je nutno provést dolegování vanadem nebo hliníkem, která brání růstu zrna.

Fosfor - o obsahu $P > 0,06\%$ nepříznivě ovlivňuje svařitelnost a zvyšuje sklon k tvorbě trhlin. Je považován za nečistotu ve svarovém kovu. Obsah fosforu by neměl překročit $0,030\%$.

Síra – je rovněž nečistotou. Způsobuje vznik trhlin za horka a póry ve svarovém kovu. Max. obsah síry v oceli pro svařování by měl být $0,030\%$.

U slitinových ocelí svařitelnost ovlivňují i další prvky, zejména Cr, B, Mo, Ni, Cu, přičemž záleží na jejich obsahu. Nežádoucí z hlediska svařitelnosti jsou kyslík, dusík a vodík.

Vliv přísadových a doprovodných prvků na svařitelnost ocelí se vyjadřuje jejich poměrným účinkem ve srovnání s uhlíkem pomocí tzv. ekvivalentu uhlíku C_e , který platí pro nelegované, nízkolegované a střednělegované oceli, tvářené a oceli na odlitky. Podle normy ČSN platí:

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

C, Mn, atd. obsah prvků ve svařované oceli [%]

Bez zvláštních technologických opatření lze svařovat ocel, když :

$$C \leq 0,22 \%$$

$$C_e \leq 0,45 \%$$

Při vyšších hodnotách uhlíku a ekvivalentu uhlíku je nutno ocel před svařením přehřát na 100 až 250°C (uhlíkové oceli tř. 11, 12), případně 100 až 450°C (slitinové oceli tř. 13 až 16). Konkrétní teplotu přehřevu určují materiálové listy příslušné oceli.

Teplotu přehřevu je též možno vypočítat pomocí parametrických rovnic. U vysokolegovaných ocelí dosud není znám obecně platný vztah pro základní charakteristiku vhodnosti na svařování.

Podmínky svařitelnosti

Vhodnost ocelí nelegovaných, nízkolegovaných a střednělegovaných na svařování je vázán na měrný tepelný příkon svařování Q_p a popř. předehřev. Většinou je potřebné na zabezpečení svařitelnosti použít předehřev, pokud je současně obsah $C > 0.18\%$, ekvivalentní obsah $C_e > 0.42$ při tloušťce svařovaného materiálu nad 25 mm. Teplota předehřevu, popř. doporučený tepelný příkon pro svařování, by měl být uveden v materiálových normách.

Hodnocení svařitelnosti

Na zkoušení a hodnocení vhodnosti ocelí na svařování se používá soubor ukazatelů celistvosti a mechanických vlastností svarových spojů.

Ukazatele celistvosti hodnotí oceli z hlediska odolnosti proti vzniku různých typů praskavosti účinkem svařovacího procesu na základní materiál a jeho degradačním vlivem, který se projeví praskavostí svarových spojů za studena, za horka, žíhací praskavostí a lamelární praskavostí.

- 1) U ocelí označených v materiálové normě jako vhodné na svařování je výskyt trhlin ve svarových spoji nepřipustný a odolnost je hodnocena **stupněm I**.
- 2) Střední odolnosti se označují **stupněm II**. Zde bývají nutná pro dosažení svarových spojů bez trhlin určitá technologická, popř. i konstrukční opatření.
- 3) U ocelí s nízkou odolností proti vzniku trhlin, hodnocenou **stupněm III**, bývá svařitelnost problematická a přináší plno komplikací.

Ukazatele mechanických vlastností svarových spojů – kritériem jsou zde hodnoty mechanických vlastností v oblasti svarového spoje v porovnání s odpovídajícími hodnotami základního materiálu.

Svařitelnost uhlíkové, uhlíkomanganové oceli

Tento typ ocelí patří k nejběžněji používaným. Jejich svařitelnost je ovlivňována především obsahem uhlíku, způsobem výroby, zejména z hlediska naplynění a jeho vlivu na deformační stárnutí a křehké porušení při nízkých teplotách, obsahem nečistot a technologií svařování. Svařitelnost ocelí se zhoršuje se zvyšující se hodnotou C_e a svařovanou tloušťkou. Také vysoký příkon Q_p může vést ke zhoršení vlastností svarového spoje v důsledku zhrubnutí zrn nebo v důsledku nepříznivé mikrostruktury. Svařování materiálů větších tloušťek však vždy vyžaduje určitý teplotní režim, spočívající v předehřevu, jisté úrovni mezihousenkové teploty a dohřevu. Nutný předehřev je většinou o teplotě při 100 – 250 °C.

Všeobecně platí, že předehřev oceli je nutno volit i tehdy, když z hlediska svařitelnosti vyhovuje chemické složení, ale jedná se o velké tloušťky svařovaného materiálu nebo o velkou tuhost svarové konstrukce.

Vliv zbytkových napětí lze v případě potřeby eliminovat žíháním ke snížení pnutí, které se obvykle uskutečňuje při teplotě 600 – 650 °C nebo mechanickým vibrováním. Při nutnosti zjemnění zrna a dosažení požadovaných vlastností se u některých ocelí doporučuje normalizační žíhání při teplotách 900 – 950 °C.

Hodnocení svařitelnosti ocelí

Pro hodnocení svařitelnosti ocelí se používají:

- 1) Normou stanovené zkoušky svařitelnosti, které mají většinou za základ klasické zkušební tyče pro zkoušení kovů.
- 2) Nenormované speciální zkoušky náchylnosti ocelí k trhlinám.
- 3) Výpočet svařitelnosti a náchylnosti ocelí k trhlinám pomocí parametrických rovnic.

1) Klasické zkoušky svařitelnosti

- a) Zkoušky tupého svaru. Svaří se dva plechy 200 x 150 mm, tlusté max. 25 mm, jednostranným nebo oboustranným V svarem. Ve směru kolmém na podélnou osu svaru se vyříznou zkušební tyče pro zkoušku tahem a zkoušku ohybem. Pevnostní hodnoty svarového kovu a úhel ohybu tyče musí odpovídat hodnotám v normě nebo technickým podmínkám.
- b) Zkouška koutového svaru. Jedná se o zkoušku tahem na zkušební tyči, vyříznuté ze dvou plechů přivařených k sobě oboustranným koutovým svarem.
- c) Zkouška tvrdosti svarového spoje. Měří se tvrdost HV kolmo na podélnou osu svaru a to ve svarovém kovu, v TOO a v základním materiálu. Max. tvrdost ve svarovém spoji by neměla u nízkouhlíkových ocelí přesáhnout 350 HV.
- d) Zkouška návarová. Provádí se na zkušební desce o rozměru 300 x 200 mm x tloušťka. V podélné ose desky se na jejím povrchu vyfrézuje půlkruhová drážka, která se zavaří elektrodou o průměru 5 mm. Z navařené desky se vyříznou kolmo na svar zkušební tyče pro zkoušku ohybem. Při zkoušení je navařená housenka na straně namáhané tahem. Výsledkem zkoušky je úhel ohybu, dosažený před rozlomením zkušební tyče v celém průřezu.
- e) Zkouška rázem v ohybu z míst různě vzdálených od podélné osy svaru. Pro zkoušku se použijí dva kusy plechů o rozměrech 320 x 150 mm, které se svaří svarem V nebo ½ V. Zkušební tyče pro zkoušku rázem v ohybu s vrubem V se umístí kolmo na podélnou osu svaru tak, že vrub každé tyče má jinou vzdálenost od osy svaru. Zkouší se a navzájem se porovnává vrubová houževnatost svarového kovu, TOO a základního materiálu. Je tak možno zjistit kritické místo svarového spoje s nejmenší houževnatostí.

2) Zkoušky náchylnosti ocelí k trhlinám

Trhliny, se kterými se setkáváme ve svarových spojkách, lze podle mechanismu jejich vzniku rozdělit na:

- a) Trhliny za horka – vznikají v rozsahu teplot 800°C až teplota solidu. Jejich příčinou je zejména přítomnost sulfidů na hranicích zrn a nadměrný růst zrn.
- b) Trhliny za studena – vznikají při teplotách pod 300°C, obvykle až po dokončení svařování a to nejčastěji v martenzitické struktuře TOO za spolupůsobení vodíku.
- c) Trhliny lamelární – vznikají zejména v základním materiálu koutových svarů, když je tlustý plech namáhan ve směru tloušťky. Příčinou jsou sulfidy, rozválcované do rovin rovnoběžných s povrchem plechu.

- d) Trhliny žíhací – vznikají při žíhání ke snížení pnutí u nízkolegovaných Cr, Ni, Mo a V ocelí. Příčinou je buď velká rychlost ohřevu na žíhací teplotu nebo velké zpevnění matrice karbidy Cr, V apod..

Trhliny se mohou zjistit ve svarovém kovu, v TOO nebo v základním materiálu. Některé jsou krátké a více členité (např. vzniklé za horka), jiné dlouhé a více rozevřené (např. vzniklé za studena). Podle směru šíření mohou být příčné, podélné nebo pod určitým úhlem k ose svaru. Jejich vznik, místo výskytu a směr šíření je výsledkem působení teplotních a paměťových gradientů při svařování. Gradienty závisí na metalurgických, konstrukčních a technologických faktorech svařovaného spoje.

Pro uvedené typy trhlin je charakteristické, že se náchylnost ocelí k jejich vzniku zjišťuje speciálními zkouškami. Jejich naprostá většina není normalizována. Pro každý typ trhlin se přitom používají jiné zkoušky. Náchylnost oceli k trhlinám se může zkoušet pomocí zkušebních tyčí, zkušebních desek a zkušebních těles, které se přímo svařují zkušebními svary (technologické zkoušky) nebo se na nich simuluje tepelně deformační cyklus svařováním (laboratorní zkoušky).

3) Výpočet náchylnosti k trhlinám

Výpočet náchylnosti oceli k trhlinám se provádí pomocí parametrických rovnic. Rovnice platí exaktně pouze pro ty druhy ocelí, pro které byly na základě zkoušek náchylnosti ocelí k trhlinám sestaveny. Jsou používány zejména parametrické rovnice pro trhliny za horka, za studena a pro trhliny žíhací. Dosazuje se do nich chemické složení sledované oceli. Příkladem parametrické rovnice pro zjišťování náchylnosti ocelí ke vzniku trhlin za studena může být parametická rovnice pro výpočet ekvivalentu uhlíku C_e .

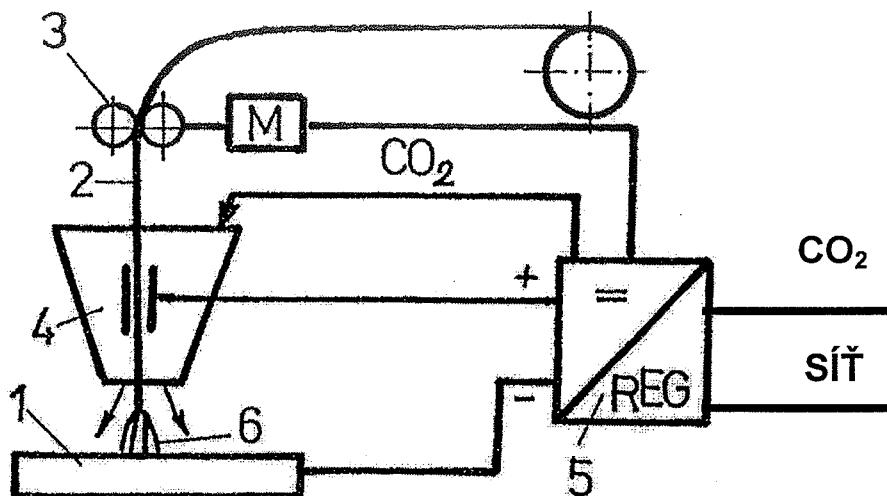
3.7 SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÝCH ATMOSFÉRÁCH [1]

Jak již bylo uvedeno, můžeme tyto technologie rozdělit na několik základních metod. Tyto metody pak mohou mít další modifikace a různý stupeň mechanizace a automatizace. Můžeme potom hovořit o metodách poloautomatických, mechanizovaných, automatizovaných i robotizovaných. Tyto metody jsou v současné době v praxi velmi používané, a proto je nutné, aby technolog i konstruktér zvládl jejich principy a možnosti nasazení ve výrobě. Obecně můžeme konstatovat, že u těchto metod je svarová lázeň chráněna ochranným plynem proti nepříznivému působení atmosféry. Inertní plyny (Ar, He) pouze chrání svarovou lázeň a nevstupují do reakcí, které probíhají ve svarové lázni. Vzhledem k poměrně vysokým cenám těchto plynů se nepoužívají při běžném svařování konstrukčních uhlíkových ocelí. U těchto ocelí je běžně používán oxid uhličitý (CO_2), který však vystupuje jako aktivní plyn, nebo tzv. směs plynů, což je ochranný plyn, který se skládá z více druhů plynů např. Ar + CO_2 nebo Ar + CO_2 + O_2 apod..

Dále tyto metody můžeme dělit na **obloukové svařování tavící se elektrodou** a **netavící se elektrodou**. Tavící se elektroda je taková, která se během svařování odtavuje a její hmota přechází do svarové lázně a naopak.

Obloukové svařování tavící se elektrodou – MIG, MAG

Princip a schéma zařízení je vidět na obr. 7.1:



Popis obr. 7.1 Princip svařování metodou MIG/MAG [1]

1 – základní materiál, 2 - přídavný drát, 3 – podávací kladky,
4 – svařovací hubice, 5 – zdroj svařovacího proudu, 6 – el. oblouk

Jak již bylo řečeno, při tomto způsobu svařování hoří oblouk mezi tavící se elektrodou a základním materiálem. Elektrodou je v tomto případě holý svařovací drát, který se používá v průměrech 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 a 1,6 mm.

Podávací systémy

Přídavný materiál – (drát) se odvíjí z cívky, na které je navinut, a prochází čistícími podložkami. Odvíjení svařovacího drátu je zajištěno kladkami, mezi kterými prochází a je vtlačován bowdenem do svařovací hubice. Kladky jsou poháněny přes převodovou skříň elektromotorem.

Systémy podávání drátu jsou řešeny různě:

- tlačný systém Svařovací drát se pomocí kladek vtlačuje do bowdenu a tím je veden do svařovací hubice. Přívodní bowden se vzhledem k tření a zajištění bezporuchového provozu doporučuje o max. délce asi 3 – 5 mm.
- tlačný systém s přenosným podavačem V tomto podavači je umístěn i zásobník drátu. Toto řešení je v podstatě mobilnější, protože podavač je oddělen od svařovacího zdroje, se kterým je propojen pouze přívodem elektrické energie a ochranného plynu. Tento přívod může být dlouhý až 15 m. Tohoto systému se většinou využívá ve spojení s robotem.

- tažný systém Tažné kladky jsou umístěny ve svařovací hubici, kde někdy mají i zásobník drátu. Tohoto systému se využívá např. pro svařování hliníku malých tloušťek tenkými svařovacími dráty. U běžných materiálů by svařovací hubice měla příliš velkou hmotnost.
- tlačno – tažný systém – tzv. „push – pull“ Je velmi operativní a délka bowdenu může být až 20 m při minimální poruchovosti.

Zařízení mohou být automatizována a podobají se automatům pro podtavidlové svařování.

Ochranný plyn je přiváděn z tlakové lahve přes průtokoměr a elektromagnetický ventil do hubice, kde slouží k ochraně svarové lázně. Princip obou metod je prakticky stejný a liší se pouze použitím ochranného plynu.

Metody pak označujeme:

MIG – Metall Inertgas Schweissen

MAG – Metall Aktivgas Schweissen

Pro tyto metody jsou používány proudové hustoty $100 - 400 \text{ Amm}^{-2}$. Tato vysoká proudová hustota a nepřímá polarita zapojení je příčinou vysoké rychlosti odtavování přídavného materiálu, velké svařovací rychlosti a tím i velkého výkonu navaření. Vlivem vysoké proudové hustoty vzniká také ve svarovém úkosu slabě ionizovaná plazma, jejíž teplota se pohybuje kolem $10\,000^\circ\text{C}$ při svařování MAG a kolem $12\,000^\circ\text{C}$ při svařování MIG. Využití tepla oblouku je poměrně vysoké a pohybuje se kolem 80 – 90%, oproti metodě WIG, kde je nižší.

Používá se buď jednoho plynu (Ar, CO_2) nebo směsi plynů se dvěma nebo více složkami. Tyto plyny se buď dodávají hotové (běžné kombinace) nebo se používá směšovačů, kde je možné plyny smíchat v libovolném poměru přímo na svařovacím zařízení. Některé směsi plynů a jejich použití viz tab. 7.1.

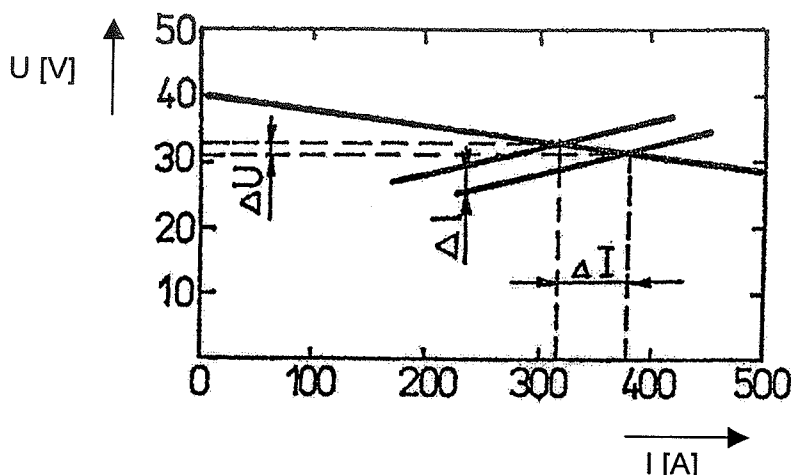
Směsi plynů působí také příznivě na metalurgii tavné lázně, její pohyb, čistotu, formování svaru, ale zejména na snížení rozstříku a povrchového napětí svarové lázně.

Tab. 7.1 Ochranné plyny používané při svařování metodami MIG / MAG a WIG

Druh a složení plynů a jejich směsí		Použití, výhody
Argon (Ar)		WIG, MIG, neželezné kovy, vysoclegované oceli
Oxid uhličitý (CO ₂)		svařování MAG nízkouhlíkových ocelí
	Ar + 0,5% O ₂	svařování hliníku a jeho slitin, snižuje se nebezpečí vzniku pórů
	Ar + 1,0% O ₂	korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné oceli, snížením viskozity tavné lázně dochází k zlepšení přechodové vrstvy svaru, měď a jejich slitin
	Ar + 3,0% O ₂	nízkouhlíkové a nízkolegované oceli, jemnozrnné oceli, výhody jako u Ar + 1,0% O ₂
	Ar + 5,0% O ₂	svařování ocelí s vyšším obsahem křemíku
	Ar + 15,0% CO ₂ + 5% O ₂	nízkouhlíkové a nízkolegované oceli, docílí se malého rozstříku
	Ar + 5 % CO ₂ + 2% O ₂	nízkouhlíkové oceli, docílí se dobré kresby povrchu svaru
	Ar + 15 až 20% CO ₂	nízkouhlíkové, nízkolegované oceli, oceli s vyšším obsahem uhlíku, klidné hoření oblouku, pro malé tloušťky
	Ar + 5 až 10 % H ₂	automatické svařování vysokolegovaných ocelí, docílí se vyšší tekutost tavné lázně a závaru
	Ar + 0,2% N ₂	slitiny hliníku bez manganu
	Ar + 5 až 7 % H ₂	pro plazmové svařování mědi, niklu a jeho slitin, vysoklegovaných ocelí lepší stabilita plazmového paprsku
	Ar + 15 až 20 % N ₂	svařování dezoxidované mědi

Volba vhodného zdroje

Pro tyto metody je důležitá volba vhodného svařovacího zdroje. Zdroj musí mít vhodnou statickou a dynamickou charakteristiku. Pro metodu MAG je vhodné používat zdroje s plochými charakteristikami viz. obr. 7.2.



Obr. 7.2 Statická charakteristika zdroje pro svařování metodou MIG / MAG [1]

U těchto charakteristik nastane poměrně velká změna svařovacího proudu již při malé změně napětí na oblouku (vliv svářeče). Vlivem použití tenkých přídavných materiálů a vysokých proudových hustot se voltampérová charakteristika oblouku mění na stoupající. Toho je využito k regulaci posuvu drátu do tavné lázně, aby délka oblouku zůstávala konstantní.

Svařování plněnou elektrodou

Jedná se o elektrodu neurčité délky, která se skládá z kovového obalu různého profilu, který je vytvořen svinutím pásku a jádra ze směsi zejména struskotvorných, plynotvorných, legujících a stabilizačních látek, případně i kovového prášku.

Tento způsob může být používán jako MAG, kde přidáváme ochrannou atmosféru CO_2 , případně směsi plynů nebo jako **MOG (Metall Ohnegas Schweissen)**, kde si plněná elektroda vytváří dostatečnou ochranu sama.

Náplň plněných elektrod může být bázeická, kyselá i rutilová. Náplň pak vytváří vrstvu strusky, která svými vlastnostmi pozitivně ovlivňuje formování i vzhled svaru. Zároveň obsahuje legující a dezoxidační látky, které podobně jako obal elektrod metalurgicky ovlivňují čistotu, chemické složení, mechanické a fyzikální vlastnosti svarového spoje. Ionizační látky pak zajišťují snadné zapalování a stabilitu hoření oblouku.

Předností této metody je vysoký výkon navařeného kovu, svařování vysokými proudy, velká hloubka provaření atd.. Tomu také odpovídá použití této metody a silnostěnných konstrukcí, delších a rozměrných svarů např. při výrobě těžkých nákladních automobilů, zemních strojů, jeřábů, rypadel apod..

U plněných elektrod (MOG) se vyvíjí značné množství plynů, kouře a aerosolů, které jsou nebezpečné z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Proto zařízení pro tuto technologii musí být vybavena speciálními svařovacími hubicemi,

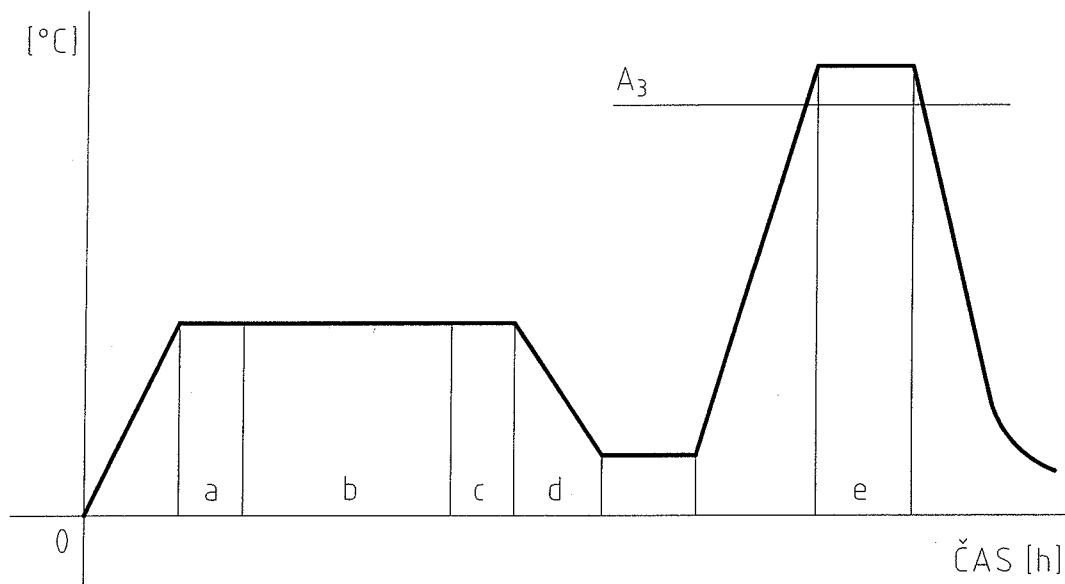
kteře zajišťují odsávání těchto zplodin bezprostředně z oblasti svaru. Také zde se používá lokálních odsávacích zařízení, která zajišťují zlepšení hygienických a ekologických podmínek na pracovišti.

Tvary a rozměry svařovaných ploch pro tyto technologie určuje norma ČSN 05 0027.

3.8 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ SVAŘOVANÝCH KONSTRUKCÍ [1]

Tepelné zpracování svařovaných konstrukcí je proces, při kterém je svarek nebo jeho část podrobena jednomu nebo více tepelným cyklům za účelem dosažení požadovaných vlastností materiálu. Ohřevem a řízeným ochlazováním se má dosáhnout určitých změn struktury, které mají zlepšit vlastnosti materiálu svaru a to zejména ve svarovém spoji. Kromě změn ve struktuře je nutno snížit vnitřní napětí, vzniklé v konstrukci v důsledku jejího svařování, neboť vnitřní tahové napětí by nepříznivě ovlivňovalo provozní bezpečnost konstrukce.

Všeobecně platí, že ne všechny svarové spoje je nutno po svaření tepelně zpracovat. Naopak se snažíme nutnost tepelného zpracování snižovat na nejmenší míru a to nejen z ekonomických, ale i technických důvodů. Každý materiál bude totiž na tepelné zpracování po svaření reagovat jiným způsobem a ne vždy může tepelné zpracování snížit riziko funkčního poškození svaru. V technické praxi se při výrobě svařovaných konstrukcí řeší otázky: Kdy a který svarový spoj se má tepelně zpracovat, jaký druh tepelného zpracování zvolit a jak tepelné zpracování realizovat.



Obr. 8.1 Teplotní režim při svařování
a) předehřev, b) svařování, c) dohřev, d) meziochlazení, e) tepelné zpracování (např. normalizační žíhání).

Tepelné zpracování svarových spojů je součástí teplotního režimu při svařování (viz. obr. 8.1). Posloupnost použití teplotních režimů v souvislosti se svařováním je následující:

- 1) Tepelné zpracování základního materiálu před svařením (ne vždy se musí provádět).
- 2) Předehřev o teplotě 150 – 450°C podle typu ocelí. Někdy se nemusí provádět. Snižuje tepelný spád, snižuje rychlost ochlazování, snižuje možnost vzniku trhlin za studena.
- 3) Měrný tepelný příkon svařování (je dán parametry svařování).
- 4) Mezihousesnková teplota (je minimální požadovaná teplota svarového spoje při provádění svaru více housesnkami. Bývá nižší než teplota předehřevu).
- 5) Dohřev (několik hodin na teplotě 150 – 300°C), umožní vydifundování velké části vodíku ze svarového spoje.
- 6) Mezi ochlazení (na teplotě 1. stádia popouštění).
- 7) Tepelné zpracování po svaření.

Podle druhu základního materiálu, jeho tloušťky a zejména požadavků na provoz a životnost svařené konstrukce se provádí buď všechny nebo pouze některé uvedené teplotní režimy při výrobě konstrukce.

Tepelné zpracování před svařením

Toto tepelné zpracování má připravit díl ke svaření. Je nutné zejména tam, kde stav materiálu neodpovídá požadavkům na svařování. Příkladem může být ocel na odlitky, které je nutno před svařováním normalizačně vyžít, aby se zjemnila a zrovnoměnila její struktura. Druh tepelného zpracování před svařením bude určen typem ocelí, která se má svařovat. V zásadě se bude jednat o následující způsoby tepelného zpracování.

- 1) Nízkouhlíkové a nízkolegované oceli:
 - Normalizační žíhání
 - Žíhání ke snížení pnutí
- 2) Střednělegované a vysokolegované oceli:
 - Zušlechťování
- 3) Austenitické oceli:
 - Austenitizační (rozpouštěcí) žíhání
 - Stabilizační žíhání
- 4) Oceli s feritickou strukturou:
 - Žíhání ke snížení napětí

Tepelné zpracování po svaření

Tepelné zpracování po svařování má několik úloh:

- Musí vést k podstatnému snížení hladiny vnitřních napětí ve svarku.
- Musí vést k zlepšení mikrostruktury TOO a svarového kovu.
- Zajišťuje rozměrovou stabilitu svarku.
- Minimalizuje riziko vzniku trhlin za studena ve svarovém spoji.
- Zajišťuje mechanické, fyzikální, chemické (např. odolnost proti korozi) a jiné vlastnosti svarového spoje.

Tepelné zpracování svarového spoje se provádí buď bezprostředně po svaření, aniž by teplota svarku poklesla na teplotu místnosti nebo až po jisté, zpravidla ohraničené době výdrže na teplotě meziochlazení nebo na teplotě místnosti.

Podle typu ocelí se po svaření v zásadě provádí následující způsoby tepelného zpracování:

1) Oceli, které nejsou náchylné ke vzniku zákalných struktur:

- normalizační žíhání
- žíhání ke snížení napětí

2) Oceli náchylné ke vzniku zákalných struktur:

- popouštění (vysokoteplotní a nízkoteplotní)
- zušlechťování

3) Austenitické oceli:

- austenitizační (rozpuštěcí) žíhání
- stabilizační žíhání

3.9 KONTROLA SVAROVÝCH SPOJŮ [1]

Podle časové etapy, kdy se kontrola v souvislosti se svařováním provádí se rozlišuje:

- 1) kontrola před svařením
- 2) kontrola v průběhu svařování
- 3) kontrola po svařování
 - destruktivní zkoušky
 - nedestruktivní zkoušky
- 4) kontrola svařované konstrukce při provozu

1) Kontrola před svařením

Provádí ji oddělení technické kontroly podniku, který vyrábí svarek. Zahrnuje kontrolu kvalifikace svářečů, stavu přípravků pro svařování, zařízení a přístrojů pro svařování, jakosti základních a přídatných materiálů, kontrolu přípravy a sestavení dílů pro svařování, úplnosti výrobních podkladů pro svařování.

2) Kontrola v průběhu svařování

Provádí ji mistři a pracovníci oddělení technické kontroly. Jejím účelem je nejen zjištění a včasné odstranění nalezených vad, ale také stanovení preventivních opatření, která zabrání opakovanému vzniku vad.

Zahrnuje se do ní: čistota svarových ploch, používané přídatné materiály, ochranné plyny, svařovací parametry, sled provádění operací, pořadí provádění svarů, vzhled svaru, teplota předehřevu, teplota mezivrstevová, teplota dohřevu, správnost značení prováděných svarů.

U důležitých svarů v případech kdy je možno přerušit svařování, se po zavaření kořene svaru provádí jeho prozáření. Ve svařování se pokračuje až po opravě případných vad v kořeni svaru. Vady se odstraňují např. vybroušením nebo vyfrézováním. Vybrané místo se zavaří např. ručně způsobem obalenou elektrodou.

3) Kontrola po svařování

Provádí se zkouškami destruktivními a nedestruktivními, případně kombinací obou zkoušek. O druhu kontroly rozhoduje typ konstrukce a požadovaná bezpečnost a životnost jejího provozu.

Destruktivní zkoušky se provádí na zkušebních vzorcích odebraných ze svarových spojů, provedených navíc pro zkušební účely. Používají se zkoušky mechanické, technologické nebo metalografické. Prokazuje se např. mez kluzu a tažnost svarového kovu, velikost závaru a promíšení.

Nedestruktivní zkoušky jsou např. zkoušení vizuální prohlídkou a měřením, zkoušení kapilárními metodami, zkoušení magnetickou metodou, zkoušení ultrazvukem, zkoušení prozařováním.

4) Kontrola svařované konstrukce při provozu

Provádí se pouze u konstrukcí, u kterých by v případě jejich porušení došlo k velkým ekonomickým ztrátám nebo k ohrožení života lidí. Především se tak kontrolují svařované tlakové nádoby a potrubí, pracující za zvýšené teploty. Kontrola svarových spojů se přitom provádí periodicky, vždy po určité době provozu pomocí výše uvedených nedestruktivních zkoušek, případně průběžně po celou životnost zařízení např. pomocí akustické emise.

Nedestruktivní zkoušení svarových spojů

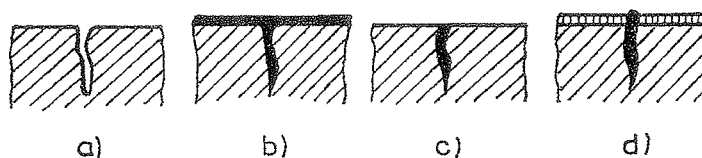
Kapilární metoda

Kapilární metoda se provádí barevným nebo fluorescenčním postupem. Je to způsob zkoušení, kterým se zjišťují povrchové necelistvosti svarových spojů za využití vztlínání nebo prolínání detekční kapaliny. Při metodě barevné indikace se přítomnost necelistvosti projeví vznikem obrazu necelistvosti barevně odlišeného od pozadí. Při metodě fluorescenční se necelistvost projeví vznikem fluorescenční indikace a to ve tmavé místnosti pod filtrovaným ultrafialovým zářením. Kapilární metodou lze zjistit zejména povrchové trhliny ve všech druzích materiálů o minimální šířce 0,001 mm.

Citlivost kapilární metody závisí na řadě činitelů, především na:

- druhu zkoušeného materiálu
- tvaru a jakosti zkoušeného povrchu (drsnot max. $R_a=3,2 \mu m$)
- druhu vad a jejich průběhu
- vlastnostech použitých zkušebních prostředků
- teplotě a době trvání zkoušky

Zkušební postup kapilární metody je uveden na obr. 9.1:

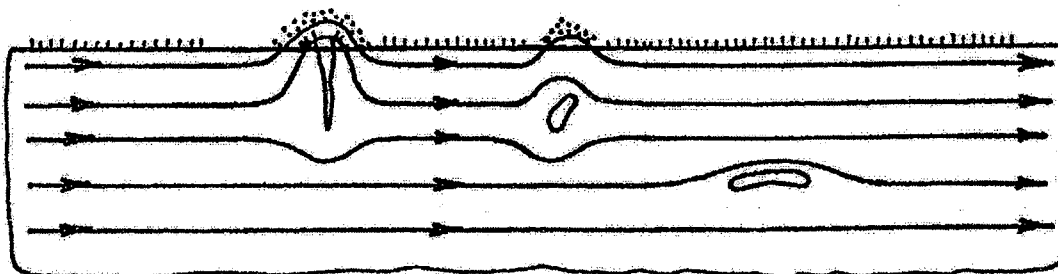


Obr. 9.1 Schéma zkušebního postupu při kapilární metodě [1]

- a) očištění a odmaštění povrchu b) penetrace detekční kapalinou
c) odstranění penetrace ze zkoušeného povrchu d) nanesení vývojky na zkoušený povrch (napomáhá vztlínání a výstupu penetrantu z povrchových necelistvostí)

Magnetická metoda

Je to způsob zjišťování povrchových a podpovrchových necelistvostí ve feromagnetických materiálech pomocí rozptylových toků necelistvostí při použití magnetických detekčních prášků. Nejčastěji se používají suspenze feromagnetických prášků ve vodě, petroleji nebo parafinovém oleji, kterým se zkoušený povrch polévá. Přítomnost necelistvosti nebo nekovového vměstku se projeví vznikem lokálního magnetického pole kolem necelistvostí. Toto lokální pole deformuje vlastní magnetické pole svařeného dílu (viz obr. 9.2).

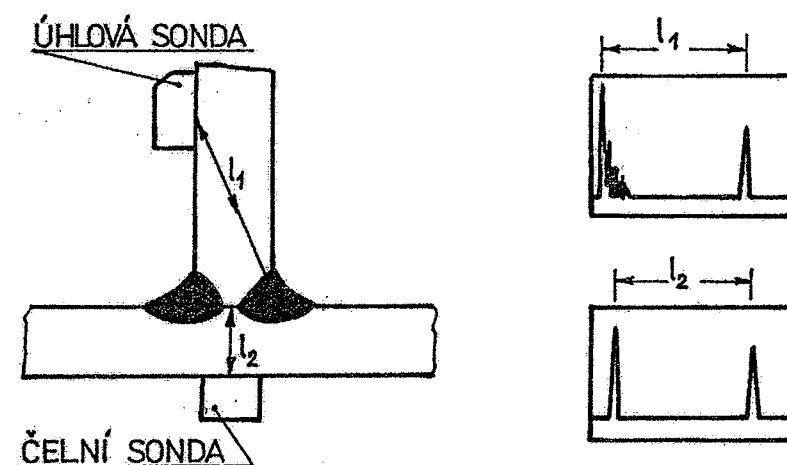


Obr. 9.2 Schéma magnetické metody [1]

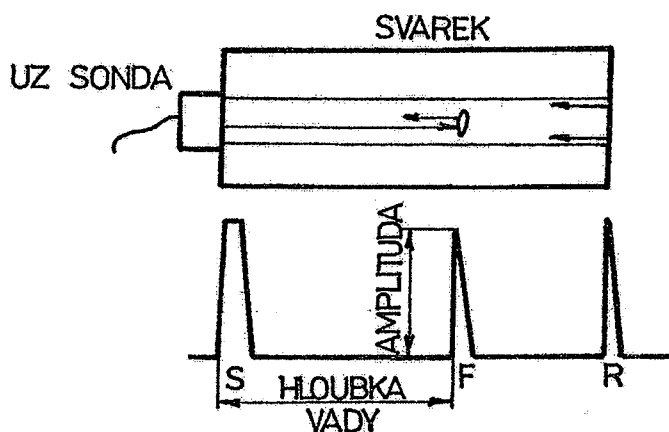
V blízkosti necelistvosti část magnetického toku vychází do okolního prostředí, vzniká rozptylový tok. Necelistvost se projeví jako magnetická indikace, tj. shlukem částic magnetického detekčního prášku na povrchu zkoušeného svarového spoje v místě rozptylového magnetického pole. Magnetickou metodou lze zjistit povrchové a podpovrchové necelistvosti a nekovové vměstky s hloubkou do 2 mm. Lze zjistit trhliny o minimální šířce a hloubce 0,025 mm s minimální délkou 0,5 mm. U magnetické metody nejsou žádné zvláštní požadavky na drsnost zkoušeného povrchu. Zařízení pro magnetické sycení zkoušeného předmětu je buď permanentní magnet, proudový transformátor, elektromagnet nebo magnetizační cívka.

Ultrazvuková metoda

Zkoušení svarů ultrazvukem patří k nejčastějším nedestruktivním kontrolním metodám ve svařování. Je rychlejší a levnější než prozařování. Pro ultrazvukovou metodu je charakteristická vysoká citlivost při zjišťování plošných vad (např. trhlin) a značná operativnost při provozním využití. Minimální plocha zjistitelných vad pomocí ultrazvuku je daná kontrolovanou tloušťkou, např. do tl. 40 mm je ekvivalentní plocha vady $1,8 \text{ mm}^2$, při tloušťce 120 až 200 mm to je 6 mm^2 . Princip ultrazvukové kontroly svarových spojů je na obrázku 9.3. Nejčastěji používaný způsob kontroly je odrazová impulzní metoda (viz. obr. 9.4) při kterém je mezi vysílacím impulzem S a impulzem od zadní stěny R zřetelný poruchový impuls F. Ze vzdálenosti impulsu F lze určit vzdálenost vady od ultrazvukové sondy a z výšky povrchového impulsu se může usoudit na velikost vady. Vady jsou obzvláště zřetelné, leží-li jejich plocha kolmo na směru ultrazvukových vln. Drsnost zkoušeného povrchu nemá překročit $R_a=6,3 \mu\text{m}$.



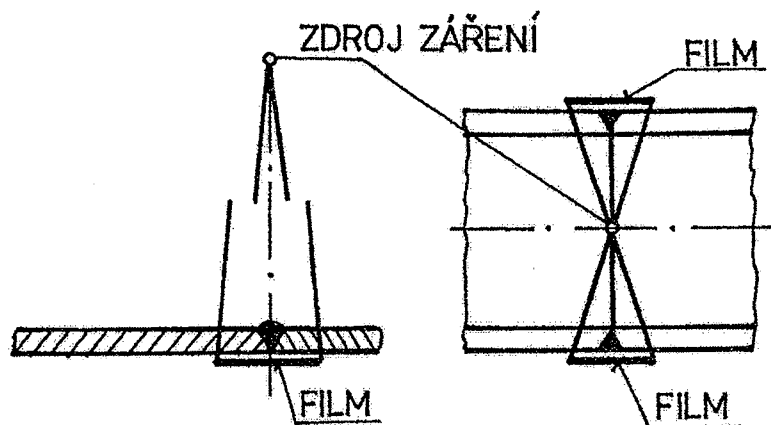
Obr. 9.3 Kontrola svarového spoje ultrazvukem [1]



Obr. 9.4 Schéma postupu ultrazvukové vlny při odrazové impulzní metodě kontroly svarů [1]

Prozařovací metoda

Při prozařovací (radiografické) metodě se používá rentgenové záření, záření gama nebo betatron či lineární urychlovač elektronů. Rentgenové záření se v zásadě doporučuje použít u oceli do asi 75 mm tloušťky prozařované stěny, záření gama pro tloušťky větší než 120 mm. Pro největší tloušťky je výhodné použít lineární urychlovač nebo betatron. Podle způsobu prozařování je radiografickou metodou možno zjistit prostorové vady, jejichž rozměr je přibližně roven nebo větší než 2% tloušťky prozařovaného materiálu. Zjištění plošných vad typu trhlin, studených spojů apod. nelze při prozařování spolehlivě zaručit, budou-li navíc orientovány kolmo nebo téměř kolmo na svazek záření, nebudou kontrolou vůbec zjištěny. Princip radiografické metody při kontrole svarových spojů je znázorněn na obr. 9.5.



Obr. 9.5. Princip prozařovací metody při kontrole svarů [1]

4. NÁVRH SEPARAČNÍHO RÁMU

Separáční rám je díl používaný v horizontální válcovací stolici a to buď pro hrubovací nebo dokončovací. Hlavní funkcí tohoto dílu je spojení dvou odlitých stojanů ve tvaru „O“. Další funkcí separátoru je upevnění hydraulického válce. Od hydraulického válce, při výměně pracovních válců, vzniká zatížení cca. 200 tun. Dále je rám zatížen dvěma elektromotory se šnekovými převodovkami. V separátoru se nachází dva průchozí otvory o rozměrech 475 mm x 650 mm, kterými prochází dvě táhla přidržovacího zařízení opěrných válců.

Pro svařenec byla navržena skříňová konstrukce z plechů o různé tloušťce. Tato konstrukce se vyznačuje značnou tuhostí vzhledem k hmotnosti použitého materiálu.

Jako polotovár byl zvolen válcovaný plech. Tvary plechů budou vypáleny podle výrobních výkresů. Pro svaření byly použity jak plnoprůvarové svary ve tvaru „1/2V“, „1/2U“ a to v místech kde svary přenáší velké napětí, tak i koutové svary pro nižší napětí.

Separáční rám

Rozměry separáčního rámu:

Výška 1750 mm

Šířka 2545 mm

Délka 3388 mm

Hmotnost 19 tun

4.1 VOLBA MATERIÁLŮ [1, 5]

Při svařování se mohou vyskytnout ve svarových spojích různé typy vad např. praskavost (studená, za tepla, lamelární, žíhací). Ne všechny materiály jsou proti těmto vadám zcela odolné, proto je nutné přizpůsobit podmínky svařování tak, aby k těmto vadám nedocházelo.

Z tohoto důvodu jsou oceli vhodné pro svařování rozděleny do čtyř skupin. Každá z těchto skupin je rozdělena do dvou nebo více podskupin v závislosti na chemickém složení a mechanických vlastnostech. Pro každou skupinu jsou určeny jiné podmínky svařování t.j. různé teploty předehřevu, které snižují rychlost ochlazování svarového spoje, způsobenou odvodem tepla do základního materiálu, a tím zamezují vzniku ztvrdnutí tepelně ovlivněné oblasti. Pro určení stupně svařitelnosti jsou rozhodující údaje z materiálového listu příslušné oceli. Rozdělení některých ocelí vhodných ke svařování je znázorněn v tab.4.1.

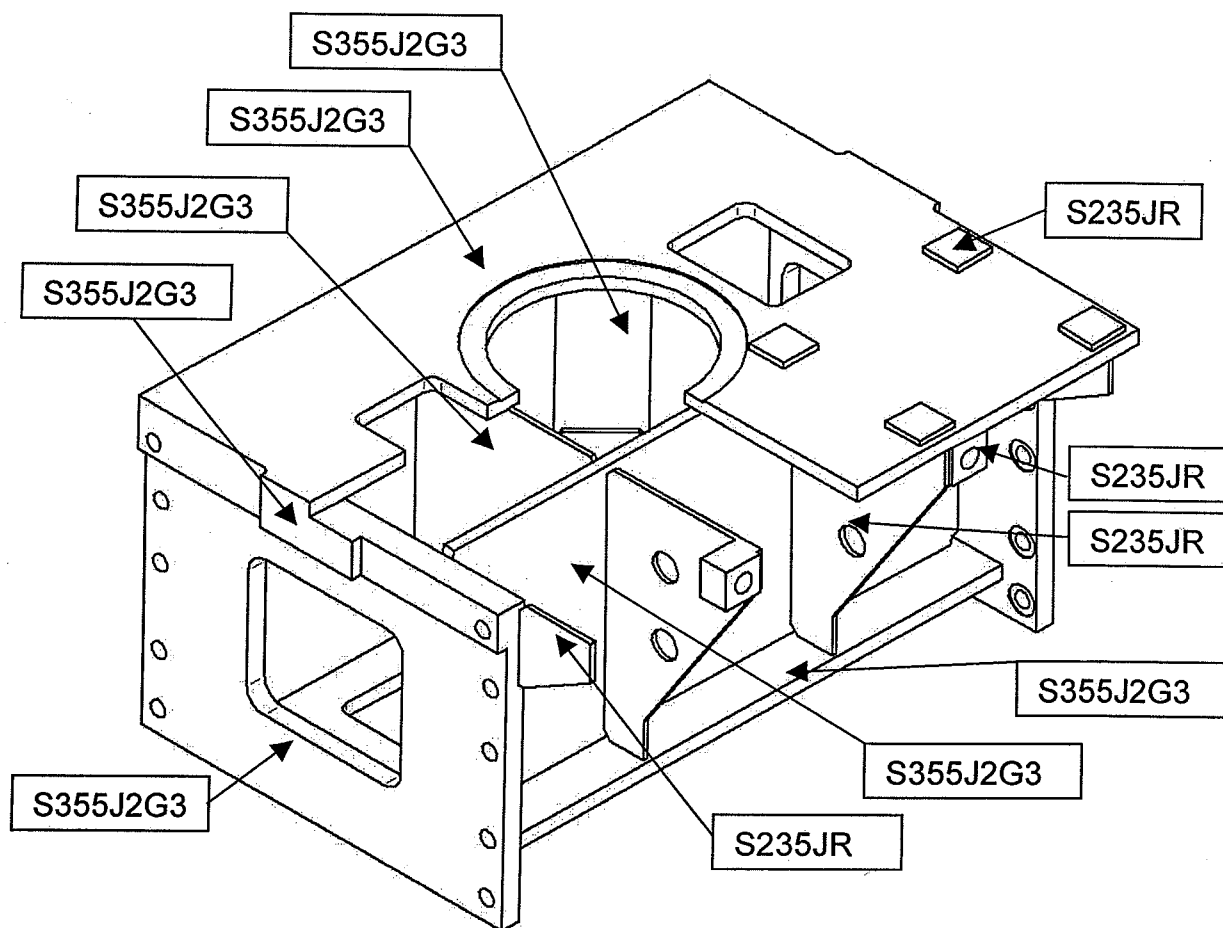
SKUPINA	MATERIÁL DLE ČSN	CHARAKTERISTIKA OCELÍ	POZNÁMKY
1	11 343 11 364 11 366 11 368 11 373 11 375 11 378	C - ocele Re < 232 MPa	Nevyžadují se zvláštní opatření.
	11 416 11 418 11 423 11 425 12 020 12 022 42 2650 42 2640	C - ocele 235 MPa < Re < 275 MPa	Pro tloušťky materiálu do 30 mm je třeba stanovit min. tepelný příkon.
1	11 474 11 478 42 2660	C - Mn - ocele 275 < Re < 355 MPa	
2	11 448 13 126 42 2709 42 2712 42 2713	C - Mn - ocele 275 < Re < 335 MPa	Bez zvláštních opatření, jestliže C < 0,14 volí se předehřev u tlouštěk nad 30 mm.
	11 449 13 123	C - Mn - mikrolegované ocele 275 < Re < 335 MPa	
	11 523 13 030 11 529 42 2714	C - Mn - ocele Re > 335 MPa	Pro tloušťku materiálu větší než 30 mm předehřev 150°C.
	11 483 13 124 13 220 11 503 42 2723	C - Mn - mikrolegované ocele Re > 335 MPa	Předehřev na 150 - 250 °C u tloušťky nad 15 mm a Ce 0,42 Qs max= 2,5 -3 KJ mm-1.
3	15 222 15 217 16 222	Nízkolegované ocele s mezí kluzu Re > 335 MPa typu Ni-V, Mn-Ni-V-N, Cr-Mo-B, Ni-Mn-B, Ni-Cr-Mo-S, Cr-Ni-Cu-P	Pro zušlechtní materiálu je třeba limitovat Qs. Při Ce > 0,5 vyšší teploty předehřevu případně dohřev.

SKUPINA	MATERIÁL DLE ČSN	CHARAKTERISTIKA OCELI	POZNÁMKY
4	15 128 15 142 16430	Nízkolegované žárupevné ocele typu Mo, Cr-Mo, Cr-V, Cr-Mo-V.	Svařuje se s předehřevem vždy od 200 - 400°C. Je nutné tepelně zpracovat dle ČSN 05 0211.

Tab 4.1 Rozdělení některých ocelí vhodných ke svařování [1]

Svařenec separátoru je navržen ze dvou druhů materiálu (obr. 4.1) z důvodu minimalizace nákladů na výrobu svařence a přitom byly splněny požadavky na jeho pevnost.

Materiál S355J2G3, EN 10025 je navržen pro nosné díly, které budou namáhány zejména velkým tlakovým napětím. Díly určené zejména pro vyztužení svařence jsou navrženy z materiálu S235JR, EN 10025.



Obr. 4.1 Zvolené materiály pro svařek separátoru

Materiál S355J2G3, EN 10025

(Označení oceli dle ČSN 11 523)

Chemické složení hm. %

C	0,23
Si	0,6
Mn	1,7
P	0,045
S	0,045

Mechanické vlastnosti

Re	295 – 355 MPa
Rm	470 – 630 MPa
A ₅	17%

Použití

Materiál S355J2G3 se používá zejména ve svařovaných konstrukcích, ohýbaných profilech, součástech strojů, automobilů, motocyklů, jízdních kol, tepelných zařízení, tlakových nádob a mostních konstrukcích.

Dodávaný stav oceli

Tepelně nezpracovaný, normalizačně žíhaný, popř. popouštěný a žíhaný.

Tepelné zpracování

Žíhání	- normalizační	870 – 900°C
	- na měkko	680 – 710°C
	- ke snížení napětí	600 – 650°C
Popouštění		670 – 700°C

Svařitelnost

Dle ČSN 05 1309 je tento materiál vhodný ke svařování. Doporučený přídatný materiál pro ruční svařování elektrickým obloukem je E 52.33 a E 48.93.

Další informace jsou uvedeny v materiálovém listu (příloha č. 5)

Materiál S235JR, EN10025

(Označení oceli dle ČSN 11 373)

Chemické složení hm. %

C	0,21
P	0,055
N	0,011
S	0,055
Mn	1,5

Mechanické vlastnosti

Rp0,2 min	235 MPa
Rm	340 – 470 MPa
A ₅	21 – 26%

Použití

Na součásti strojů (menších tlouštěk), konstrukcí a strojů (i tavně svařovaných), které jsou namáhané staticky a mírně dynamicky. Na ohýbané profily, součásti strojů, válcovaných tyčí a na vázání svazků.

Dodávaný stav oceli

Tepelně nezpracovaný, normalizačně žíhaný, žíhaný.

Tepelné zpracování

Žíhání	- normalizační	900 – 930°C
	- na měkko	680 – 710°C
	- ke snížení napětí	600 – 650°C
Popouštění		670 – 700°C

Svařitelnost

Dle ČSN 05 1309 je tento materiál vhodný ke svařování. Doporučený přídatný materiál pro ruční svařování elektrickým obloukem je E 44.71, E 44.72 a E 44.83. Pro svařování v ochranné atmosféře CO₂ je to materiál P44.13C.

Další informace jsou uvedeny v materiálovém listu (příloha č. 5)

4.2 VÝPOČET SEPARAČNÍHO RÁMU POMOCÍ METODY KONEČNÝCH PRVKŮ

Pro ověření vhodnosti konstrukce a volby materiálů jsem zvolil program SOLID-EDGE V20, který používá pro výpočet napětí metodu konečných prvků. Pro ověření výsledků byl použit také jiný osvědčený program, který používá tuto metodu ke stanovení výsledného napětí a deformace. Výsledné hodnoty napětí a deformace se lišily maximálně o 6%, což je při použití koeficientu bezpečnosti 2 dostačující přesnost.

Při používání tohoto programu je velice důležité přesně určit velikost a místo zatížení. Dále se musí také určit plochy, které jsou tzv. „zabržděny“. Tyto plochy mají při zatížení nulový posuv. To znamená že tyto plochy vytváří reakci proti zatížení. Při nesprávném zadání jak hodnot tak i reakčních ploch dochází k velmi výrazným odchylkám při výpočtu.

Stanovení zatížení separačního rámu při provozu

Rám je ukotven pomocí svorníků mezi dva odlité stojany. Vertikální zatížení mezi rámem a stojanem se přenáší přes opracované dosedací plochy. Tyto plochy vytváří reakci proti zatížení. Velikost zatížení při provozu se skládá:

Hmotnost pracovního válce	85	tun
Hmotnost opěrného válce	305	tun
Hmotnost vyvažovacího zařízení	86	tun
Hmotnost vstupních a výstupních vedení	51	tun
Chladicí zařízení + kapalina	7	tun
Vyvažování pracovních válců	3	tuny
Hmotnost motorů	5	tun

CELKOVÉ ZATÍŽENÍ	542	tun
------------------	-----	-----

Stanovení bezpečnosti svarku při provozu

Navržený svarek musí splňovat všechny kritéria funkčnosti a bezpečnosti, při maximálním zatížení, které je u daného svarku možné. Při tomto zatížení musí mít svařenec minimálním koeficient bezpečnosti 3 obr. 4.5.

Určení maximálního zatížení svařence způsobené hydraulickým válcem

Musíme také počítat s možnou havárií. V krajním případě i zablokování opěrných válců kdy hydraulický válec vyvine maximální sílu. I v tomto případě musí mít svařenec minimální koeficient bezpečnosti 2, aby nedošlo k destrukci celého zařízení.

Výpočet maximální síly hydraulického válce.

Vnitřní průměr hydraulického válce $D = 740 \text{ mm}$

Tlak v hydraulickém válci $P = 21 \text{ MPa}$

Výpočet plochy pístu S

$$S = 3,14 \cdot D^2 / 4 = 430084 \text{ mm}^2$$

Výpočet maximální síly hydraulického válce

$$F_{HV} = S \cdot P = \underline{9031 \text{ kN}}$$

Z výsledku výpočtu plyne že maximální síla hydraulického válce větší než maximální síla způsobená hmotností. Musíme proto provést ještě kontrolní výpočet maximálního napětí a deformace pro případ havárie, kdy hydraulický válec zatěžuje rám maximální silou obr. 4.6.

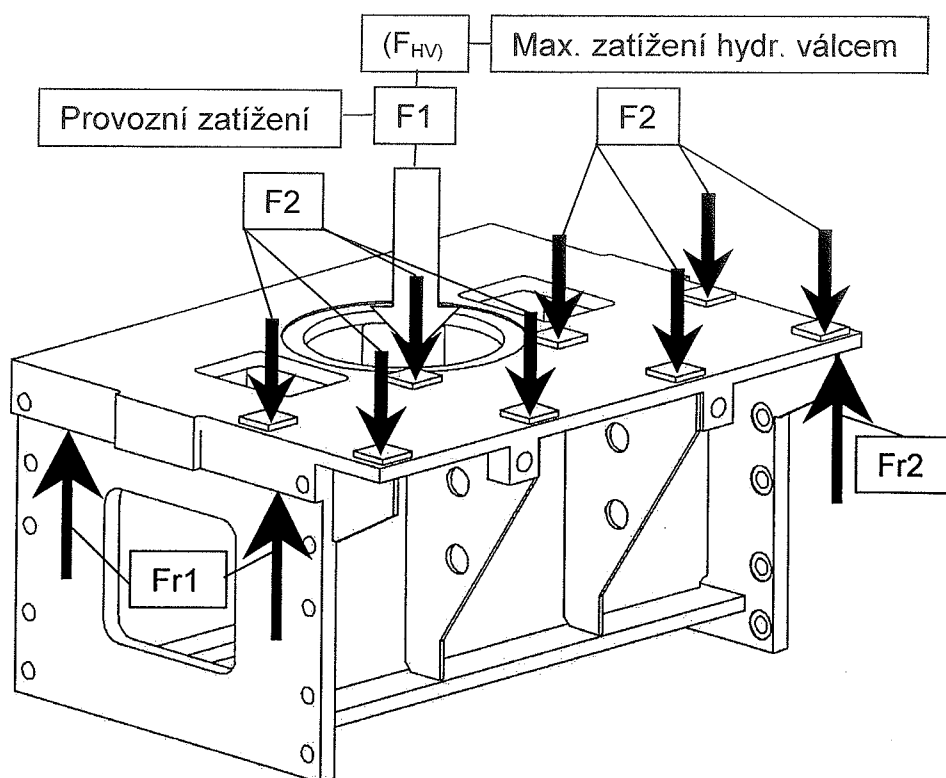
Optimalizace svařence separátoru

Při optimalizaci svarku je snaha minimalizovat náklady při plném zachování funkčnosti a bezpečnosti svarku. Při použití výpočtu pomocí metody konečných prvků jsou patrné díly, které byly u odlitku značně naddimenzovány obr 4.3.

Možnosti optimalizace svarku jsou následující:

- Volba druh konstrukce svarku
- Změna rozměrů polotovaru – (zejména změna tloušťky)
- Odlehčení konstrukce svarku v místech s nízkým napětím a deformacemi
- Kombinace různých druhů materiálu v závislosti na lokálním napětí

Zatížení separačního rámu



Obr. 4.2 Schéma zatížení svařence

Výpočet síly F1

Hmotnost pracovního válce

$$m_1 = 85\,000 \text{ kg}$$

Hmotnost opěrného válce

$$m_2 = 305\,000 \text{ kg}$$

Hmotnost vyvažovacího zařízení

$$m_3 = 86\,000 \text{ kg}$$

Hmotnost vstupních a výstupních vedení

$$m_4 = 51\,000 \text{ kg}$$

Chladicí zařízení + kapalina

$$m_5 = 7\,000 \text{ kg}$$

Vyvažování pracovních válců

$$m_6 = 3\,000 \text{ kg}$$

$$F1 = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6) \cdot g = 537\,000 \cdot 9,81 = \underline{5268 \text{ kN}}$$

Výpočet síly F2

Hmotnost jednoho motoru

$$m_7 = 2\,500 \text{ kg}$$

$$F2 = m_7 \cdot g / 4 = 2\,500 \cdot 9,81 / 4 = \underline{6,1 \text{ kN}}$$

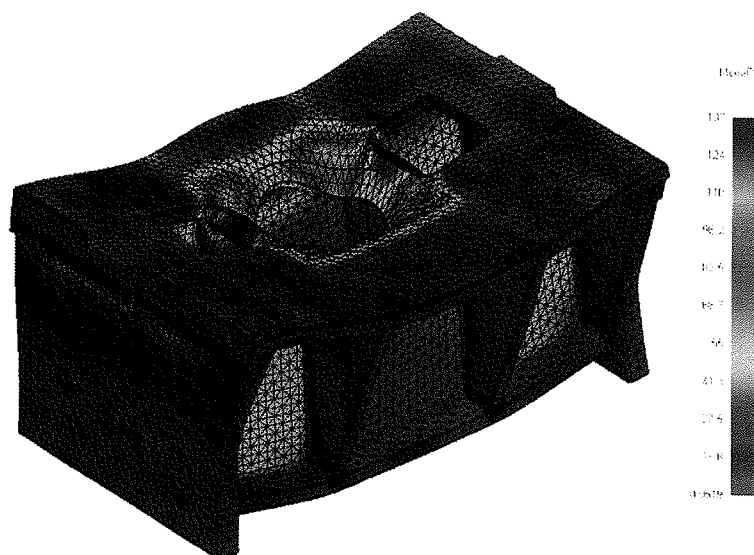
Výpočet reakce Fr

$$Fr1 = Fr2 = (F1 + 8 \cdot F2) / 2 = (5268 + 8 \cdot 6,1) / 2 = \underline{2658 \text{ kN}}$$

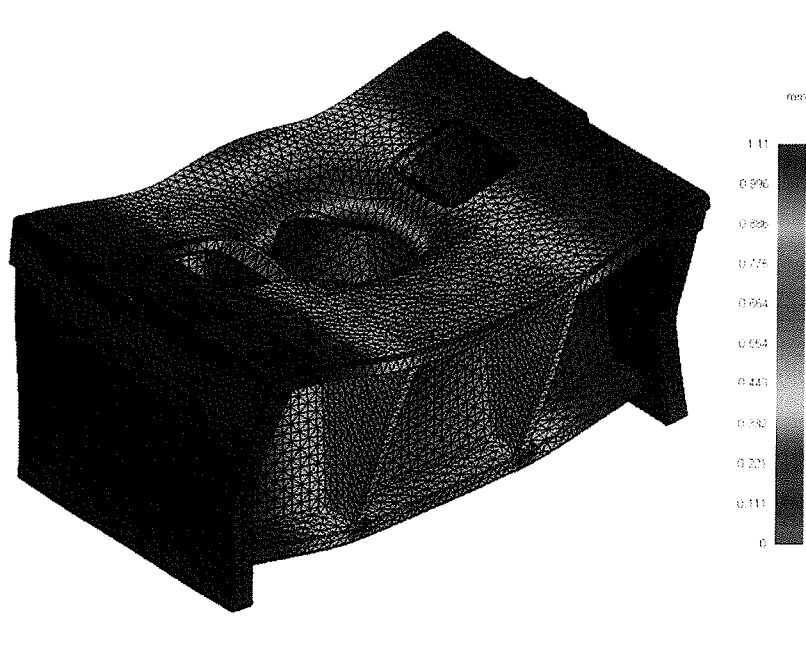
Výpočet napětí a deformace odlitku při maximálním zatížení hydraulickým válcem

Schéma zatížení je znázorněno na obr. 4.2.

<u>Zadané hodnoty</u>
$F_{HV} = 9031 \text{ kN}$
$F_2 = 24,5 \text{ kN}$
$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
Materiál: GGG 50
$R_{p0,2 \text{ min}} = 300 \text{ MPa}$
$R_m = 450 \text{ MPa}$
<u>Výsledky výpočtu :</u>
Max. lok. napětí 137 MPa
Max. Deformace 1,1 mm



Obr. 4.3 Napětí ve stávajícím odlitku při daném zatížení



Obr. 4.4 Deformace ve stávajícím odlitku při daném zatížení

4.3 NÁVRH TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ

Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou [1, 2, 3, 4]

Metoda dle EN ISO 4063: 111

Evropská zkratka: MMA (Manual Metal Arc Welding)

Tato metoda je velice flexibilní a hlavní výhodou je její dostupnost a možnost svařovat i v obtížně přístupných oblastech. Dále pak možnost velkého výkonu navaření svarového kovu. Naopak nevýhodou ručního obloukového svařování je nutnost často měnit elektrody a odstraňovat strusku ze svářeného materiálu. Tato metoda se nejčastěji používá pro svařování všech druhů svařitelných ocelí od konstrukčních ocelí až po vysocelegované materiály. Ručním obloukovým svařováním lze také svařovat neželezné kovy a jejich slitiny. Navařování lze provádět pomocí návarové elektrody.

Technologie u ručního svařování spočívá v hoření elektrického oblouku mezi koncem obalené kovové elektrody a svařovaným dílem. Roztavené kapky kovu z elektrody se přenášejí obloukem do svarové lázně a jsou chráněny plyny vznikajícími z rozkladu obalu. Obal elektrody je tvořen struskotvornými látkami. Roztavená struska se dostává na povrch svarové lázně, kde během tuhnutí chrání svarový kov před přístupem atmosféry a zároveň formuje výsledný svár.

Voltampérová charakteristika oblouku

Statická voltampérová charakteristika oblouku vyjadřuje závislost proudu na napětí oblouku při konstantní délce oblouku. Na vlastní tvar a polohu charakteristiky oblouku má značný vliv chemické složení elektrody, geometrie hrotu elektrody, složení plazmy oblouku, průměr elektrody i délka oblouku.

Standardní statická charakteristika oblouku:

$$U = 20 + 0,04 \cdot I \text{ [V]}$$

Přídavný materiál

Jako přídavný materiál se používá obalovaná elektroda, která se skládá z jádra a z obalu elektrody. Jádro elektrody tvoří drát průměru 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 7 a 8 mm.

Podle složení obalu rozdělujeme elektrody na:

- stabilizační,
- rutilové označení R,
- rutil-celulózové označení RC,
- rutil-kyselé označení RA,
- rutil- bazické označení RB,
- tlustostěnné rutilové označení RR,
- kyselé označení A,
- bazické označení B,
- celulózové označení C

Volba obalované elektrody

Podle typu a velikosti svaru určuje norma velikost elektrody. Při svařování separačního rámu budou použity následující typy a velikosti svarů.

Svar - Koutový

Velikost svaru	Průměr elektrod
12	5
8	4
5	4

Svar – ½ U

Velikost svaru	Průměr elektrod
50	3.2; 5 , 6
40	3.2; 5 , 6

Svar – ½ V

Velikost svaru	Průměr elektrod
12	3.2 ,4 ; 6

Počet vrstev pro daný typ a velikost svaru jsou uvedeny v příloze č. 8.

Pro svařování separačního rámu byla zvolena bazická elektroda s označením OK 48.00 dodávaná firmou ESAB. Tato elektroda má nízkonavlhavý obal a je určena pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Svarový kov je houževnatý a odolný proti praskavosti. Je použitelná pro všechny polohy svařování a dovoluje vysokou rychlost při svařování ve svislé poloze zdola nahoru.

Mechanické vlastnosti čistého svarového kovu

Mez kluzu	450 MPa
Mez pevnosti	540 MPa
Tažnost A ₅	5%
Nárazová práce při -20°C	140 J
-40°C	70 J

Chemické složení čistého svarového kovu

C	0,06 %
Si	0,5 %
Mn	1,2 %
P	0,02 %
S	0,015 %

Další informace jsou uvedeny v příloze č. 8

Parametry svařování

Rozsah svařovacího proudu je dán výrobcem elektrod. Pokud nemáme k dispozici údaje o velikosti svařovacího proudu může použít následující orientační výpočet pro stanovení velikosti svařovacího proudu.

Pro elektrody s kyselým a rutilovým obalem

$$I = (40 \text{ až } 55) \cdot d \text{ [A]}$$

Pro elektrody s bazickým obalem

$$I = (35 \text{ až } 50) \cdot d \text{ [A]}$$

d - průměr jádra elektrody

Dojde-li z nepředvídaných důvodů ke změně parametrů, musí se hodnota vneseného tepla do svaru pohybovat v rozmezí 0,8-1,5 kJ . mm⁻¹.

Výpočet minimální a maximální svařovací rychlosti pro danou velikost elektrody

Při ručním svařování je velice obtížné udržet konstantní svařovací rychlost. Z tohoto důvodu musíme určit minimální a maximální rychlost svařování, aby specifické vnesené teplo se pohybovalo v rozsahu 0,8-1,5 kJ . mm⁻¹. Pro svaření separačního rámu budou použity elektrody o průměru 3,2, 4, 5, 6, 7mm.

Specifické vnesené teplo

$$Q_s = \eta \cdot \frac{U \cdot I}{1000 \cdot v_s} = [\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-1}]$$

Výpočet max. svařovací rychlosti pro průměr drátu 3,2 mm, $I_{\min}$ a $Q_{s \min}$

$$Q_{s \min} = 0,8 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$\eta = 0,9$$

$$U = 23\text{V}$$

$$I_{\min} = 90 \text{ A}$$

$$v_s \max = \eta \cdot \frac{U \cdot I}{1000 \cdot Q_s} = \underline{2,33 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Výpočet max. svařovací rychlosti pro průměr drátu 3,2 mm, $I_{\max}$ a $Q_{s \min}$

$$Q_{s \min} = 0,8 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$\eta = 0,9$$

$$U = 23 \text{ V}$$

$$I_{\max} = 140 \text{ A}$$

$$v_s \max = \eta \cdot \frac{U \cdot I}{1000 \cdot Q_s} = \underline{3,62 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Výpočet min. svařovací rychlosti pro průměr drátu 3,2 mm, $I_{\min}$ a $Q_{s \max}$

$$Q_{s \max} = 1,5 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$\eta = 0,9$$

$$U = 23 \text{ V}$$

$$I_{\min} = 90 \text{ A}$$

$$v_s \min = \eta \cdot \frac{U \cdot I}{1000 \cdot Q_s} = \underline{1,24 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Výpočet min. svařovací rychlosti pro průměr drátu 3,2 mm, $I_{\max}$ a $Q_{s \max}$

$$Q_{s \max} = 1,5 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$\eta = 0,9$$

$$U = 23 \text{ V}$$

$$I_{\max} = 140 \text{ A}$$

$$v_s \min = \eta \cdot \frac{U \cdot I}{1000 \cdot Q_s} = \underline{1,93 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Podle velikosti nastaveného svařovacího proudu se svařovací rychlost pro průměr drátu 3,2 mm pohybuje v rozmezí od $1,24 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ do $3,62 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Stejný postup výpočtu rychlosti svařování byl zvolen pro průměry elektrod 4, 5, a 6 mm (tab.4.3).

Průměr	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6	7
drátu [mm]								
Napětí na	24	22	23	23	24	23	23	25
Oblouku [V]								
Svařovací	30-	50-	80-	90-	125-	200-	220-	280-
proud [A]	55	80	110	140	210	260	340	410

Tab 4.2 Svařovací parametry pro danou elektrodu

V tabulce 4.2 jsou uvedeny hodnoty pro daný průměr elektrody:

napětí U
proud $I_{\min}$
proud $I_{\max}$

Hodnota vneseného tepla:

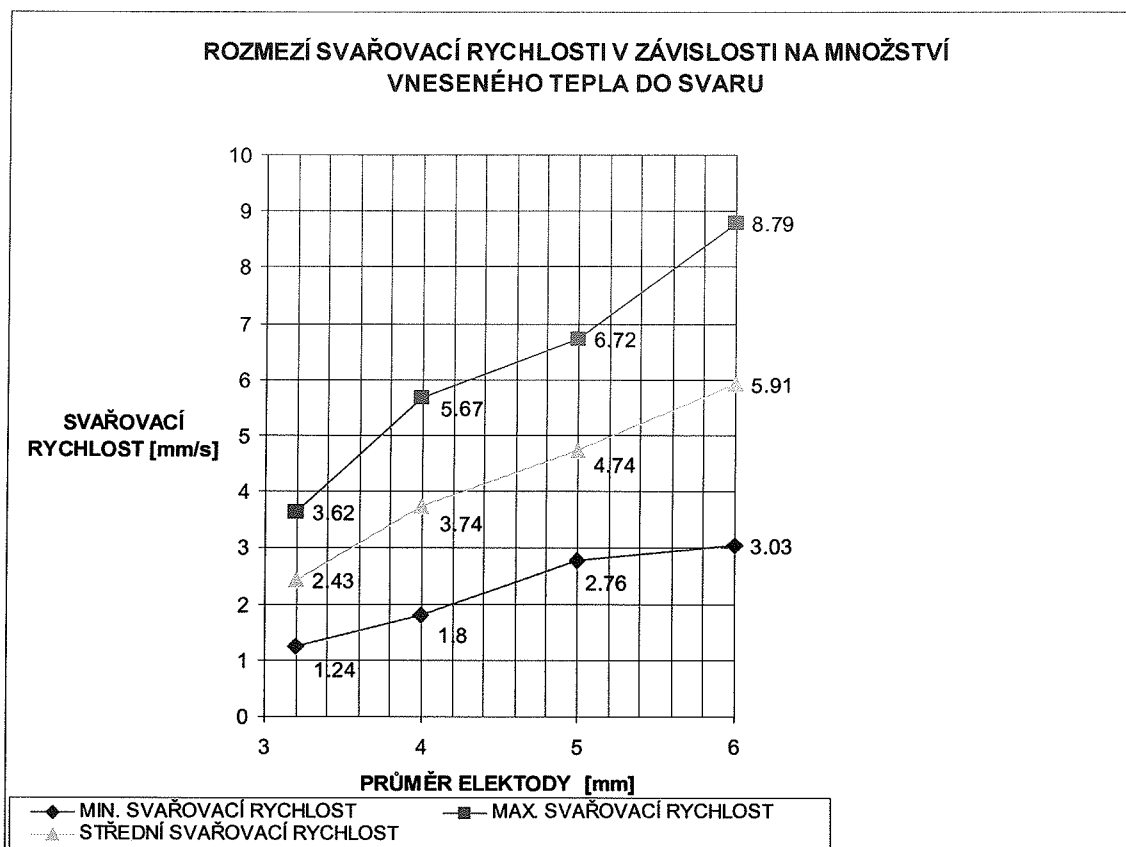
$Q_{s \min} 0,8 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$

$Q_{s \max} 1,5 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$

Další informace jsou uvedeny v příloze č. 8

Průměr elektrody [mm]	3,2	4	5	6
$Q_{s \max} [\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-1}]$ $U = [\text{V}]$ $I_{\min} = [\text{A}]$	1,24	1,8	2,76	3,03
$Q_{s \max} [\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-1}]$ $U = [\text{V}]$ $I_{\max} = [\text{A}]$	1,93	3,02	3,59	4,69
$Q_{s \min} [\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-1}]$ $U = [\text{V}]$ $I_{\min} = [\text{A}]$	2,33	3,37	5,17	5,69
$Q_{s \min} [\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-1}]$ $U = [\text{V}]$ $I_{\max} = [\text{A}]$	3,62	5,67	6,72	8,79

Tab 4.3 Výpočet rychlosti svařování pro průměr elektrod 3,2; 4; 5 a 6 mm



Graf 4.1 Rozmezí svařovacích rychlostí

Volba velikosti svaru

Pro svařování separačního rámu byly zvoleny plnoprůvarové svary 1/2 U a 1/2 V. Plnoprůvarový svar zajišťuje rovnoměrný tok napětí mezi svařovanými díly. Méně namáhané díly budou svařeny koutovými svary. Velikosti a tvary svarů jsou zakótovány na výkresu 5M – 60 -0100

4.4 Volba tepelného zpracování svařence

Tepelné zpracování svařovaných konstrukcí je proces, při kterém je svarek nebo jeho část podrobena jednomu nebo více tepelným cyklům za účelem dosažení požadovaných vlastností materiálu. Ohřevem a řízeným ochlazením se má dosáhnout určitých změn struktury, které mají zlepšit vlastnosti materiálu svarku a to zejména ve svarovém spoji. Kromě změn ve struktuře je nutno snížit zbytkové napětí, vzniklé v konstrukci v důsledku jejího svařování, neboť zbytkové tahové napětí by nepříznivě ovlivňovalo provozní bezpečnost konstrukce.

Všeobecně platí, že předehřev oceli je nutno volit i tehdy, když z hlediska svařitelnosti vyhovuje chemické složení, ale jedná se o velké tloušťky svařovaného materiálu nebo o velkou tuhost svarové konstrukce. Předehřev je tedy nutné použít pokud svařovaná tloušťka $s > 25 \text{ mm}$, nebo $C > 0,20 \text{ hm.}\%$, nebo $C_{ekv} > 0,45 \text{ hm.}\%$.

Přehřev se v praxi aplikuje až od cca 150°C za podmínky, že okolní teplota je větší než 5°C. Pod 5°C se vždy použije přehřev.

Orientační teploty přehřevu

Typ oceli dle ČSN	Teplota přehřevu (°C) pro tloušťky	
	do 25 mm	nad 25 mm
S 235 JR	bez přehřevu	150 - 200
S355J2G3	bez přehřevu	200 - 250

Parametry žhání ke snížení napětí separačního rámu

Žhání ke snížení napětí se provádí pomalým ohřevem svaru pod teplotu A_1 , pro většinu konstrukčních ocelí obvykle asi 600 – 650°C, s výdrží na této teplotě po dobu cca 4 minuty na každý milimetr svařené tloušťky. Ochlazování je pomalé, v uzavřené peci. Žhání ke snížení napětí slouží ke snižování tepelných a mechanických napětí, která ve svaru vznikla nerovnoměrným ohřevem a ochlazováním. Při žhání ke snížení napětí se následkem ohřevu sníží mez kluzu a zbytkové napětí se přitom snižují plastickou deformací po dobu výdrže svarového spoje na teplotě prodlevy.

V technické praxi se někdy uplatňuje pravidlo, že žhání ke snížení napětí je použito tehdy, když platí výraz:

$$0,1Re + s \geq 50$$

Mez kluzu materiálu S355J2G3

$Re = 295 \text{ MPa}$

Maximální tloušťka materiálu

$s = 150 \text{ mm}$

$$0,1 \cdot Re + s \geq 50$$

$$0,1 \cdot 295 + 150 \geq 50$$

Z tohoto výrazu plyne, že žhání ke snížení napětí je **nutné**.

Délka prodlevy při teplotě 640 °C

Délka prodlevy na 1 mm svaru

$T_4 = 4 \text{ min}$

Maximální svařená tloušťka

$S_t = 150 \text{ mm}$

$$T_p = T_4 \cdot S_t = 4 \cdot 150 = \underline{600 \text{ min}}$$

Po svaření rámu se ihned provede žíhání ke snížení napětí při teplotě 640°C. Teplota žíhání je o 30 – 60°C nižší než je teplota popouštění. Náběh na teplotu je 70°C / hod., prodleva je 600 min. Ochlazování je 70°C / hod, do teploty 150°C. Po dosažení této teploty se materiál ochlazuje na vzduchu. Aby při svařování nevznikaly trhliny, je nutné udržet hodnotu vneseného tepla do svaru v rozmezí 0,8 – 1,5 kJ/mm. Při hodnotách nižších než 0,8 kJ/mm vzniká nebezpečí vzniku studených trhlin. Naopak při hodnotě vyšší než 1,5 kJ/mm dochází k zhrubnutí zrna.

Volba předehřevu zvolených materiálů

Materiál S235JR

V materiálovém listu je tento materiál uveden jako vhodný ke svaření-stupeň I. Znamená to, že materiál nemá žádné požadavky na předehřev. Proto při svařování tohoto materiálu se žádný předehřev používat nebude.

Určení teploty předehřevu pro materiál S355J2G3 dle ČSN 05 1311

Materiál S355J2G3

Do tloušťky materiálu 30 mm je materiál dobře svařitelný a nevyžadují se zde žádná zvláštní opatření.

Nad tloušťku materiálu 30 mm se musí materiál předehřívát. Teplota předehřevu u materiálu S355J2G3 je přibližně 100 - 200°C.

Výpočet uhlíkového ekvivalentu

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} = 0,23 + \frac{1,7}{6} = \underline{\underline{0,51 \%}}$$

Výpočet teploty předehřevu podle Sefiriánova vzorce

$$C_c = \frac{360 \cdot C + 40(Mn + Cr) + 20Ni + 28Mo}{360}$$

$$C_p = C_c + 0,005 \cdot s \cdot C_c$$

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{(C_p - 0,25)}$$

Chemické složení materiálu S355J2G3 [hm %]

C = 0,23

Mn = 1,7

Si = 1,7

P = 0,045

S = 0,045

Teploty předehřevu pro tloušťku 150 mm podle Seferiánova vzorce

$T_p = 243\text{ }^{\circ}\text{C}$

Teplotu předehřevu materiálu S355J2G3 tloušťky 150 mm je 245 - 265 °C.

Teploty předehřevu pro tloušťku 80 mm podle Seferiánova vzorce

$T_p = 203\text{ }^{\circ}\text{C}$

Teplotu předehřevu materiálu S355J2G3 tloušťky 80 mm je 205 - 225°C.

Teploty předehřevu pro tloušťku 60 mm podle Seferiánova vzorce

$T_p = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$

Teplotu předehřevu materiálu S355J2G3 tloušťky 60 mm je 190 - 210°C.

Teploty předehřevu pro tloušťku 30 mm podle Seferiánova vzorce

$T_p = 168\text{ }^{\circ}\text{C}$

Teplotu předehřevu materiálu S355J2G3 tloušťky 30 mm je 170 - 190°C.

Teploty předehřevu pro tloušťku 25 mm podle Seferiánova vzorce

$T_p = 165\text{ }^{\circ}\text{C}$

Teplotu předehřevu materiálu S355J2G3 tloušťky 25 mm je 165 - 185°C.

Ve svarovém uzlu, kde se nacházejí různě tlusté materiály se volí teplota předehřevu nejsilnějšího materiál.

Výpočet parametru lamelární praskavosti dle obsahu síry

Obsah vodíku $H_{GL} = 15 \text{ cm}^3/10 \text{ g}$

$$P_L = P_{CM} + \frac{H_{GL}}{60} + 6S$$

$$P_{L1} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

Chemické složení materiálu S235JR [hm.%]

C	0,21
P	0,055
N	0,011
S	0,055
Mn	1,5

$$P_{CM} = 0,21 + \frac{1,5}{20} = \underline{0,285\%}$$

$$P_{L1} = 0,285 + \frac{15}{60} + 6 \cdot 0,055 = \underline{0,865\%}$$

Chemické složení materiálu S35512G3 [hm.%]

C	0,23
Si	0,6
Mn	1,7
P	0,045
S	0,045

$$P_{CM} = 0,23 + \frac{0,6}{30} + \frac{1,7}{20} = \underline{0,335\%}$$

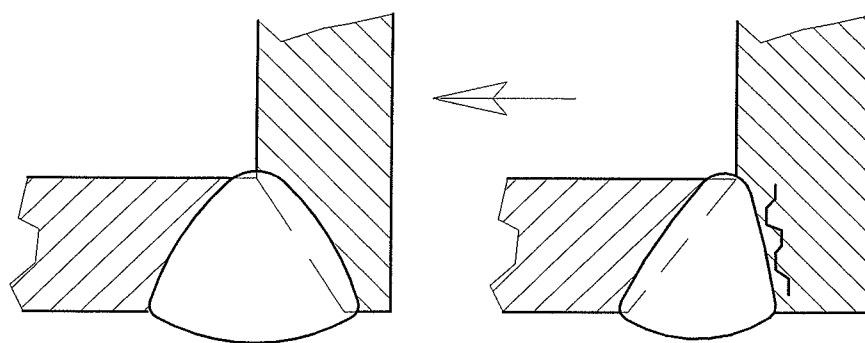
$$P_{L2} = 0,335 + \frac{15}{60} + 6 \cdot 0,045 = \underline{0,855\%}$$

Jelikož P_{L1} a $P_{L2} >$ než hodnota 0,35 to znamená že je zde riziko výskytu lamelárních trhlin.

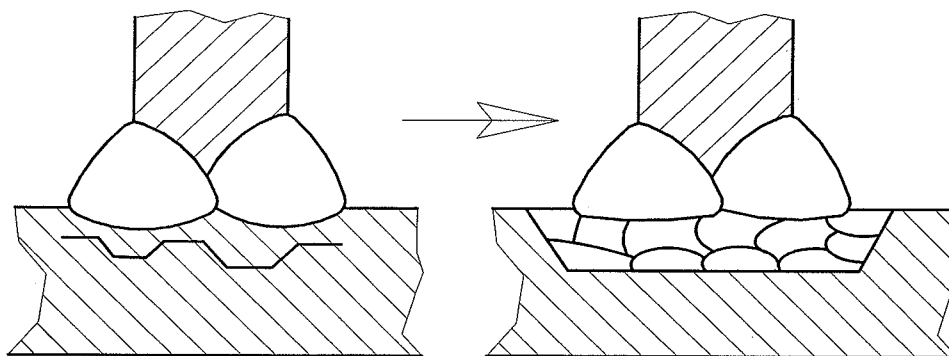
Opatření k zamezení vzniku lamelárních trhlin

K omezení vzniku lamelárních trhlin je nutné:

- Používat základní mat. se zaručenou kontrakcí ve směru osy Z > 15 %,
- Zlepšení čistoty oceli, snížení obsahu difuzního vodíku,
- Přesměrovat působení tahových napětí změnou tvaru spoje obr.4.10,
- Používat polštářování na ploše, kde působí kolmá tahová napětí obr.4.11
- Používat techniky svařování, které minimalizují napětí od svařování.



Obr. 4.10



Obr. 4.11

4.5 Požadavky na jakost svařování dle ČSN EN ISO 3834-1 až 5

Každý výrobek, uváděný na trh a do provozu, musí splňovat základní požadavky a předpoklady :

1. Musí být bezpečný (nebo s únosnou mírou přijatelného rizika) – Zákon č. 22/1997 Sb. v platném znění.
2. Musí být kvalitní, tzn., že musí splňovat všechny požadavky závazných i doporučených předpisů a dohodnutých bezpečnostních i kvalitativních zásad, které se na tento výrobek vztahují (Nařízení vlády, Vyhlášky, výrobní normy, smlouvy, ...) nebo jinými slovy musí být ve shodě s příslušnými předpisy a specifikacemi.

Pokud se týká aplikace metod svařování při výrobě těchto výrobků, je situace o to komplikovanější, že se jedná o zvláštní proces, který z titulu své specifiky nelze 100 % zkontrolovat po jeho ukončení, ale je nutno jej dozorovat a dílčími způsoby kontrolovat i zkoušet po celou dobu jeho realizace, a to počínaje návrhem nebo tvorbou projektové či konstrukční dokumentace.

Posloupnost zhotovovacích procesů, jejichž výstupem je splnění **stanovených kritérií rizik** při využívání technologií svařování (ale i pájení, tepelného dělení a dalších), je právě předmětem **ČSN EN ISO 3834**, která nahradila od 1.8.2006 v praxi již důvěrně známou ČSN EN 729.

ČSN EN ISO 3834

Klade důraz především na použití výrobních norem a ve spojení s nimi řeší zabezpečení jednotlivých dílčích stádií procesů svařování a procesů s ním souvisejících viz. tab. 4.4.

Norma ČSN EN ISO 3834 obsahuje mnoho rysů, které přispívají k systému managementu kvality – ukazují na větší provázanost s normou ISO 9001. Právě poslední kapitola všeobecné části obsahuje prvky systému managementu kvality dle ISO 9001, kterým by měl výrobce věnovat zvláštní pozornost při aplikaci zajišťování jakosti při svařování.

Několik shrnujících bodů ohledně normy ISO 3834 :

- Norma ISO 3834 (její použití) je nezávislá na druhu vyráběné konstrukce výrobku
- stanovuje požadavky na jakost při svařování v dílnách i na montážích
- poskytuje návod k poznání schopnosti výrobce vyrábět konstrukce tak, aby vyhověly stanoveným požadavkům na výrobek
- představuje základ pro hodnocení schopnosti výrobce k provádění svařování
- slouží k prokázání schopnosti výrobce vyrábět svařované konstrukce při splnění stanovených požadavků na jakost výrobků, které vyplývají z:
 - specifikací postupů svařování a výrobních postupů
 - výrobních nebo souvisejících norem
 - platných předpisů (nařízení vlády NV, směrnice EHS, EC, ES).

Při svařování separačního rámu se musí dodržovat jakost svařování dle ISO 3834-2 z důvodu velkých nároků na kvalitu svařence. Tento rám přenáší velká zatížení a pokud by zde byly např. nějaké skryté vady, mohlo by dojít k destrukci celého zařízení.

**Celkový přehled o požadavcích na jakost při svařování se zřetelem na
EN ISO 3834-2, EN ISO 3834-3, EN ISO 3834-4:**

Číslo	Kritérium	ISO 3834-2	ISO 3834-3	ISO 3834-4
1	Přezkoumání požadavků	Vyžaduje se přezkoumání		
		Je vyžadován záznam	Může být vyžadován záznam	Není vyžadován záznam
2	Přezkoumání technických podkladů	Vyžaduje se přezkoumání		
		Je vyžadován záznam	Může být vyžadován záznam	Není vyžadován záznam
3	Smluvní subdodávky	Projednání jako u výrobce pro speciální smluvně dodávané výrobky, služby nebo činnosti. Konečná odpovědnost za jakost zůstává na výrobcí.		
4	Svářeči a operátoři	Je vyžadována kvalifikace		
5	Svářečský dozor	Je vyžadován		Žádné zvláštní požadavky
6	Personál pro kontrolu a zkoušení	Je vyžadována kvalifikace		
7	Výrobní a zkušební zařízení	Vhodné a k dispozici podle potřeby, pro přípravu, provedení operací, zkoušení, dopravu, manipulaci a zvedání spolu se zařízením pro zajištění bezpečnosti práce a ochrannými oděvy.		
8	Údržba zařízení	Je vyžadováno provádět, udržovat a dosahovat shody výrobku.	Jsou doporučeny záznamy	Žádné zvláštní požadavky
		Jsou vyžadovány dokumentované postupy a záznamy		
9	Popis zařízení	Je vyžadován seznam		Žádné zvláštní požadavky
10	Plánování výroby	Je vyžadován seznam		Žádné zvláštní záznamy
		Je vyžadováno		
		Jsou vyžadovány dokumentované postupy a záznamy	Jsou doporučeny dokumentované postupy a záznamy	
11	Specifikace postupu svařování	Je vyžadována		Žádné zvláštní požadavky
12	Kvalifikace postupů svařování	Je vyžadována		Žádné zvláštní požadavky
13	Zkoušení dávek svařovacích materiálů	Pokud je vyžadováno	Žádné zvláštní požadavky	
14	Skladování a manipulace se svařovacími / přídavnými materiály	Je vyžadován postup podle doporučení dodavatele svařovacího / přídavného materiálu		Podle doporučení dodavatele
15	Skladování základních materiálů	Je vyžadována ochrana před vlivem okolního prostředí, během skladování musí být zachována identifikace.		Žádné zvláštní požadavky
16	Tepelné zpracování po svařování	Potvrzení, že byly splněny požadavky výrobní normy nebo specifikací.	Je vyžadován postup a záznam	Žádné zvláštní požadavky
		Jsou vyžadovány postupy, záznam a sledovanost záznamu k výrobku		
17	Kontrola a zkoušení před, během a po svařování	Je vyžadováno		Pokud je vyžadováno
18	Neshody a opatření k nápravě	Musí být zavedeno řízení neshod, jsou vyžadovány postupy pro opravy a / nebo odstranění vad.		Musí být zavedeno řízení neshod.
19	Kalibrace nebo validace měřících zař.	Je vyžadována	Pokud je vyžadována	Žádné zvláštní požadavky
20	Identifikace v průběhu procesu	Pokud je požadována		Žádné zvláštní požadavky
21	Sledovatelnost	Pokud je požadována		Žádné zvláštní požadavky
22	Záznamy o jakosti	Pokud jsou vyžadovány		

Tab. 4.4

Technologičnost svařence separačního rámu

Při volbě svařované konstrukce byla zvolena technologie s ohledem na výrobní možnosti podniku. Snažil jsem se respektovat metalurgické zvláštnosti technologie svařování a vliv procesu svařování na vlastnosti materiálu. Při zajištění všech technických požadavků, kladených na svařovanou konstrukci rámu, jsem se snažil snížit cenu, pracnost a materiálové náklady.

Dále jsem volil:

- technologicky nenáročnou přípravu dílů ke svařování včetně úpravy svarových ploch
- technologii svařování s vysokou koncentrací energie a tím jsem snížil tepelné ovlivnění základního materiálu
- návrh tvaru konstrukce separačního rámu a umístění svarových spojů, které musí splňovat nejen požadavky na pevnost a houževnatost, ale i požadavky na operativnost svařování, jako je např. přístupnost pro svařování a pro kontrolu svarů a pro jejich případnou opravu.

4.6 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE SEPARAČNÍHO RÁMU

Stručný popis:

Výkres svařence číslo 5M – 60 – 0100 list 1

Na tomto výkresu je nakreslen svařenec separačního rámu, který se skládá ze 13 pozic. Jsou zde uvedeny kóty potřebné pro ustavení při svařování. Dále jsou zde uvedeny požadavky pro výrobu a jakost svařence, pozice dílů ve svařenci, velikost, délka a tvar svaru a poznámky vztahující se přímo k výkresu.

Výkres svařence číslo 5M – 60 – 0100 list 2

Na tomto výkresu jsou nakresleny jednotlivé pozice separačního rámu, kóty potřebné k přípravě dílu před svařením, uprava pro svar dané pozice a hodnota opracování

Kusovník K-5M – 60 – 0100

Kusovník je uveden v příloze č. 2, kde jsou uvedena čísla pozic, názvy, polotovary (norma), materiál (norma), hrubá hmotnost a počet kusů.

Pracovní postup pro výrobu svařence je uveden v příloze č. 1. Jsou zde uvedena čísla operací, číslo pracoviště a stručný popis práce.

WPS [6] - Specifikace postupu svařování pro koutový svar je uvedena v příloze č. 3. Jsou zde uvedeny parametry pro koutový svar o velikosti 5 mm, který je použit při svařování separačního rámu.

5. EKONOMICKO-TECHNICKÉ HODNOCENÍ

V této kapitole bych se chtěl zaměřit na to, z jakých důvodů jsem zvolil svařenec pro výrobu separačního rámu namísto odlitku. Kapitulu rozdělím na dvě části. V první části budu počítat náklady na výrobu jednoho kusu odlitku a v druhé části potom náklady na výrobu jednoho kusu svařence. Zde by se mělo prokázat, že výroba separačního rámu, který bude zhotoven jako svařenec, bude ekonomicky výhodnější než odlitek.

5.1 Náklady na výrobu odlitku

Pro zjednodušení výpočtu ceny budu počítat s tím, že celkovou cenu odlitku stanovím z průměrné ceny za 1 kg hotového odlitku. V této ceně jsou zahrnuty všechny náklady spojené s výrobou odlitku. U odlitku jsou největší náklady na výrobu formy a na materiál, který je použitý i na místech, kde z pevnostního hlediska není nutný (zkosení, velké rádiusy, atd.). Proto hmotnost odlitku je podstatně vyšší než hmotnost zoptimalizovaného svařence separačního rámu.

Hrubá hmotnost odlitku	$m_{01} = 26645 \text{ kg}$
Průměrná cena za 1 kg odlitku	$C_{01} = 84 \text{ Kč / kg}$

$$\text{Celková cena odlitku} \quad N_0 = m_{01} \cdot C_{01} = 26645 \cdot 84 = \underline{2238180 \text{ Kč}}$$

5.2 Náklady na výrobu svařence

Výpočet nákladů na svar

Výpočet:

L_s	Délka svaru	[m]
N	Počet vrstev	[-]
V_s	Rychlost svařování	[mm . s ⁻¹]
V_n	Výkon navaření	[kg . h ⁻¹]
T_{cs}	Celkový čas svaření	[h]
m_{sk}	Hmotnost svarového kovu	[kg]

Celkový čas svařování dané velikosti elektrody T_{cs} pro jednostranný svar:

$$T_{cs1} = \frac{L_s \cdot 1000 \cdot N}{V_s \cdot 3600} = [\text{h}]$$

Celkový čas svařování dané velikosti elektrody T_{cs} pro oboustranný svar:

$$T_{cs2} = \frac{2L_s \cdot 1000 \cdot N}{V_s \cdot 3600} = [\text{h}]$$

Hmotnost svarového kovu dané velikosti elektrody m_{sk} :

$$m_{sk} = T_{cs} \cdot Vn = [\text{kg}]$$

Hodnoty:

- výkres č. 5M-60-0100 - délka svaru
- Příloha č.6 - průměr elektrod
- počet vrstev
- hmotnost navařeného svarového kovu [kg/m]
- tabulka č. 4.3 - rychlost svařování
- Příloha č.8 - výkon navaření

Rychlost svařování musí být taková, aby se vnesené teplo do svaru pohybovalo v rozmezí 0,8-1,5 kJ/mm (tabulka č. 4.3).

Pro svařování byly zvoleny elektrody od firmy ESAB $\phi 3.2$; 4 ;5 a 6 mm

Svar ½ U oboustranný – velikost 50 mm

ϕ elektrody [mm]	Délka svaru [m]	Počet vrstev [-]	Rychlost svařování [mm . s ⁻¹]	Výkon navarování [kg . h ⁻¹]	Svařovací čas [h]	Hmotnost svarového kovu [kg]
3,2	4.2	2	2.4	1.5	$T_{cs1} = 1.94$	$m_{sk1(3,2)} = 2.9$
5	4.2	2	4.9	2.6	$T_{cs2} = 0.95$	$m_{sk1(5)} = 2.5$
6	4.2	22	5.2	3.7	$T_{cs3} = 9.87$	$m_{sk1(6)} = 36.5$
Celková hmotnost svarového kovu [kg]					$m_{sk50} = \sum m_{skc} =$	41.9
Celkový svařovací čas [h]					$T_{c1} = \sum T_{cs} =$	12.8

Výpočet hmotnosti svarového kovu

Celková délka svaru

$$L_1 = 4,2 \text{ m}$$

Hmotnost navařeného kovu na 1m

$$Ms_1 = 9,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Celková hmotnost svarového kovu

$$M_{t1} = L_1 \cdot Ms_1 = 4,2 \cdot 9,9 = \underline{41,6 \text{ kg}}$$

$$M_{t1} \cong m_{sk50}$$

Pro svar ½ U – velikost 50 mm je potřeba celkem:

Svarový kov

$$m_{sk50} = 41,9 \text{ kg}$$

Svařovací čas

$$T_{c1} = 12,8 \text{ h}$$

Svar ½ U oboustranný – velikost 40 mm

ϕ elektrody [mm]	Délka svaru [m]	Počet vrstev [-]	Rychlost svařování [mm . s ⁻¹]	Výkon navarování [kg . h ⁻¹]	Svařovací čas [h]	Hmotnost svarového kovu [kg]
3,2	3.4	2	2.4	1.5	$T_{cs4} = 1.57$	$m_{sk2(3,2)} = 2.4$
5	3.4	2	4.9	2.6	$T_{cs5} = 0.77$	$m_{sk2(5)} = 2.0$
6	3.4	16	5.3	3.7	$T_{cs6} = 5.70$	$m_{sk2(6)} = 21.1$
Celková hmotnost svarového kovu [kg]					$m_{skc40} = \sum m_{skc} =$	25.5
Celkový svařovací čas [h]					$T_{c2} = \sum T_{cs} =$	8.0

Výpočet hmotnosti svarového kovu

Celková délka svaru

$$L_2 = 3,4 \text{ m}$$

Hmotnost svaru na 1 m

$$Ms_2 = 7,45 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Celková hmotnost svarového kovu

$$M_{t2} = L_2 \cdot Ms_2 = 3,4 \cdot 7,45 = \underline{25.3 \text{ kg}}$$

$$M_{t2} \cong m_{skc40}$$

Pro svar ½ U – velikost 40 mm je potřeba celkem:

Svarový kov

$$m_{skc40} = 25,5 \text{ kg}$$

Svařovací čas

$$T_{c2} = 8 \text{ h}$$

Svar ½ U oboustranný – velikost 30 mm

ϕ elektrody [mm]	Délka svaru [m]	Počet vrstev [-]	Rychlost svařování [mm . s ⁻¹]	Výkon navarování [kg . h ⁻¹]	Svařovací čas [h]	Hmotnost svarového kovu [kg]
3,2	15.16	2	2.3	1.5	$T_{cs7} = 7.32$	$m_{sk3(3,2)} = 11.0$
5	15.16	2	4.8	2.6	$T_{cs8} = 3.51$	$m_{sk3(5)} = 9.1$
6	15.16	10	5.6	3.7	$T_{cs9} = 15.04$	$m_{sk3(6)} = 55.6$
Celková hmotnost svarového kovu [kg]					$m_{skc30U2} = \sum m_{skc} =$	75.8
Celkový svařovací čas [h]					$T_{c3} = \sum T_{cs} =$	25.9

Teoretický výpočet hmotnosti svarového kovu

Celková délka svaru

$$L_3 = 15,16 \text{ m}$$

Hmotnost svaru na 1 m

$$Ms_3 = 5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Celková hmotnost svarového kovu

$$M_{t3} = L_3 \cdot Ms_3 = 15,16 \cdot 5 = \underline{75,8 \text{ kg}}$$

$$M_{t3} = m_{skc30U2}$$

Pro svar ½ U – velikost 30 mm je potřeba celkem:

Svarový kov

$$m_{skc30} = 75,8 \text{ kg}$$

Svařovací čas

$$T_{c3} = 25,9 \text{ h}$$

Svar ½ U jednostranný – velikost 30 mm

ϕ elektrody [mm]	Délka svaru [m]	Počet vrstev [-]	Rychlost svařování [mm . s ⁻¹]	Výkon navarování [kg . h ⁻¹]	Svařovací čas [h]	Hmotnost svarového kovu [kg]
3,2	13.12	1	1.3	1.5	$T_{cs10} = 2.80$	$m_{sk4(3,2)} = 4.2$
5	13.12	1	2.8	2.6	$T_{cs11} = 1.30$	$m_{sk4(5)} = 3.4$
6	13.12	6	3.2	3.7	$T_{cs12} = 6.83$	$m_{sk4(6)} = 25.3$
Celková hmotnost svarového kovu [kg]					$m_{skc30U1} = \sum m_{skc} =$	32.9
Celkový svařovací čas [h]					$T_{c4} = \sum T_{cs} =$	10.9

Výpočet hmotnosti svarového kovu

Celková délka svaru

$$L_4 = 13.12 \text{ m}$$

Hmotnost svaru na 1 m

$$Ms_4 = 2.48 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Celková hmotnost svarového kovu

$$M_{t4} = L_4 \cdot Ms_4 = 13.12 \cdot 2.48 = \underline{32.5 \text{ kg}}$$

$$M_{t4} \cong m_{skc30U1}$$

Pro svar ½ U jednostranný – velikost 30 mm je potřeba celkem:

Svarový kov $m_{skc30U1} = 32.9 \text{ kg}$

Svařovací čas $T_{c4} = 10.9 \text{ h}$

Svar ½ V oboustranný – velikost 12 mm

ϕ elektrody [mm]	Délka svaru [m]	Počet vrstev [-]	Rychlost svařování [mm . s ⁻¹]	Výkon navarování [kg . h ⁻¹]	Svařovací čas [h]	Hmotnost svarového kovu [kg]
3,2	7.44	2	1.4	1.5	$T_{cs13} = 2.95$	$m_{sk5(3,2)} = 4.4$
4	7.44	2	2.2	2.1	$T_{cs14} = 1.88$	$m_{sk1(4)} = 3.9$
6	7.44	2	3.5	3.7	$T_{cs15} = 1.18$	$m_{sk5(6)} = 4.4$
Celková hmotnost svarového kovu [kg]					$m_{skc12V2} = \sum m_{skc} =$	12.7
Celkový svařovací čas [h]					$T_{c5} = \sum T_{cs} =$	6.0

Výpočet hmotnosti svarového kovu

Celková délka svaru

$$L_5 = 7.44 \text{ m}$$

Hmotnost svaru na 1 m

$$Ms_5 = 1.7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Celková hmotnost svarového kovu

$$M_{t5} = L_5 \cdot Ms_5 = 7.44 \cdot 1.7 = \underline{12.6 \text{ kg}}$$

$$M_{t5} \cong m_{skc12V2}$$

Pro svar ½ V oboustranný – velikost 12 mm je potřeba celkem:

Svarový kov $m_{skc12V2} = 12.7 \text{ kg}$

Svařovací čas $T_{c5} = 6 \text{ h}$

Svar ½ V jednostranný – velikost 12 mm

φ elektrody [mm]	Délka svaru [m]	Počet vrstev [-]	Rychlost svařování [mm . s ⁻¹]	Výkon navařování [kg . h ⁻¹]	Svařovací čas [h]	Hmotnost svarového kovu [kg]
3,2	3.64	1	1.9	1.5	T _{cs16} = 0.53	m _{sk6(3,2)} = 0.8
4	3.64	1	2.5	2.1	T _{cs17} = 0.40	m _{sk2(4)} = 0.8
6	3.64	1	4.1	3.7	T _{cs18} = 0.25	m _{sk6(6)} = 0.9
Celková hmotnost svarového kovu [kg]					m _{skc12V1} = ∑ m _{skc} = 2.6	
Celkový svařovací čas [h]					T _{c6} = ∑ T _{cs} = 1.2	

Výpočet hmotnosti svarového kovu

Celková délka svaru

$$L_6 = 3.64 \text{ m}$$

Hmotnost svaru na 1 m

$$Ms_6 = 0,745 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Celková hmotnost svarového kovu

$$M_{t6} = L_6 \cdot Ms_6 = 2,94 \cdot 0,745 = \underline{2,7 \text{ kg}}$$

$$M_{t6} \cong m_{skc12V1}$$

Pro svar ½ V jednostranný – velikost 12 mm je potřeba celkem:

Svarový kov $m_{skc12V1} = 2,6 \text{ kg}$

Svařovací čas $T_{c6} = 1,2 \text{ h}$

Pro koutový svar – velikost 12 mm

φ elektrody [mm]	Délka svaru [m]	Počet vrstev [-]	Rychlost svařování [mm . s ⁻¹]	Výkon navařování [kg . h ⁻¹]	Svařovací čas [h]	Hmotnost svarového kovu [kg]
5	9.48	3	3.35	2.6	T _{cs19} = 2.36	m _{sk7(5)} = 6.1
Celková hmotnost svarového kovu [kg]					m _{skc12K} = ∑ m _{sk} = 6.1	
Celkový svařovací čas [h]					T _{c7} = ∑ T _{cs} = 2.4	

Výpočet hmotnosti svarového kovu

Celková délka svaru

$$L_7 = 9.48 \text{ m}$$

Hmotnost svaru na 1 m

$$Ms_7 = 0,65 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Celková hmotnost svarového kovu

$$M_{t7} = L_7 \cdot Ms_7 = 9,48 \cdot 0,65 = \underline{6,2 \text{ kg}}$$

$$M_{t7} \cong m_{skc12K}$$

Pro koutový svar – velikost 12 mm je potřeba celkem:

Svarový kov $m_{skc12K} = 6,1 \text{ kg}$

Svařovací čas $T_{c7} = 2,4 \text{ h}$

Koutový svar – velikost 8 mm

ϕ elektrody [mm]	Délka svaru [m]	Počet vrstev [-]	Rychlost svařování [mm . s ⁻¹]	Výkon navařování [kg . h ⁻¹]	Svařovací čas [h]	Hmotnost svarového kovu [kg]
4	11.56	2	4	2.1	$T_{cs20} = 1.61$	$m_{sk3(4)} = 3.4$
Celková hmotnost svarového kovu [kg]						$m_{skc8} = \sum m_{sk} = 3.4$
Celkový svařovací čas [h]						$T_{c8} = \sum T_{cs} = 1.6$

Výpočet hmotnosti svarového kovu

Celková délka svaru

$$L_8 = 11.56 \text{ m}$$

Hmotnost svaru na 1 m

$$Ms_8 = 0,29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Celková hmotnost svarového kovu

$$M_{t8} = L_8 \cdot Ms_8 = 11,56 \cdot 0,29 = \underline{3,4 \text{ kg}}$$

$$M_{t8} = m_{skc8}$$

Pro koutový svar – velikost 8 mm je potřeba celkem:

Svarový kov

$$m_{skc8} = 3,4 \text{ kg}$$

Svařovací čas

$$T_{c8} = 1,6 \text{ h}$$

Koutový svar – velikost 5 mm

ϕ elektrody [mm]	Délka svaru [m]	Počet vrstev [-]	Rychlost svařování [mm . s ⁻¹]	Výkon navařování [kg . h ⁻¹]	Svařovací čas [h]	Hmotnost svarového kovu [kg]
4	6.72	1	5.25	2.1	$T_{cs21} = 0.36$	$m_{sk4(4)} = 0.7$
Celková hmotnost svarového kovu [kg]						$m_{skc5} = \sum m_{sk} = 0.7$
Celkový svařovací čas [h]						$T_{c9} = \sum T_{cs} = 0.4$

Výpočet hmotnosti svarového kovu

Celková délka svaru

$$L_9 = 6.72 \text{ m}$$

Hmotnost svaru na 1 m

$$Ms_9 = 0,11 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Celková hmotnost svarového kovu

$$M_{t9} = L_9 \cdot Ms_9 = 6,72 \cdot 0,11 = \underline{0,7 \text{ kg}}$$

$$M_{t9} = m_{skc5}$$

Pro koutový svar – velikost 5 mm je potřeba celkem:

Svarový kov

$$m_{skc5} = 0,7 \text{ kg}$$

Svařovací čas

$$T_{c9} = 0,4 \text{ h}$$

Výpočet celkové hmotnosti svarového kovu pro svaření separačního rámu

$$m_{\text{skc}} = m_{\text{skc}50} + m_{\text{skc}40} + m_{\text{skc}30u2} + m_{\text{skc}30u1} + m_{\text{skc}12V2} + m_{\text{skc}12V1} + m_{\text{skc}12K} + m_{\text{skc}8} + m_{\text{skc}5} = 41,9 + 25,5 + 75,8 + 32,9 + 12,7 + 2,6 + 6,1 + 3,4 + 0,7 = 201,6 \approx 205 \text{ kg}$$

Výpočet celkové hmotnosti elektrod

Množství svarového kovu na 1 kg elektrod $m_e = 0,64 \text{ kg}$

$$m_{ce} = \frac{m_{\text{skc}}}{m_e} = \frac{205}{0,64} = 320 \text{ kg}$$

Výpočet nákladů na elektrody

Průměrná cena 1 kg elektrod $N_e = 115 \text{ Kč}$

$$N_{ec} = N_e \cdot m_{ce} = 115 \cdot 320 = 36800 \text{ Kč}$$

Výpočet celkového svařovacího času bez přípravy

$$T_c = T_{c1} + T_{c2} + T_{c3} + T_{c4} + T_{c5} + T_{c6} + T_{c7} + T_{c8} + T_{c9} = 12,8 + 8 + 25,9 + 10,9 + 6 + 1,2 + 2,4 + 1,6 + 0,4 = 69,2 \text{ h}$$

Výpočet nákladů na svařování

Náklady na 1 hodinu svařovacího zařízení $N_{sv1} = 1550 \text{ Kč}$

$$N_{sv} = N_{sv1} \cdot T_c = 1550 \cdot 69,2 = 107260 \text{ Kč}$$

Výpočet nákladů na přípravný čas

Náklady na 1 hodinu $N_{p1} = 750 \text{ Kč}$
Přípravný čas (50% T_c) $T_p = 35 \text{ hod}$

$$N_p = N_{p1} \cdot T_p = 750 \cdot 35 = 26250 \text{ Kč}$$

Výpočet nákladů na přípravu materiálu

Řezání polotovaru, úprava pro svary ...

Hmotnost polotovaru

$Hm = 19\,290 \text{ kg}$

Náklady na přípravu 1kg materiálu

$N_r = 2,8 \text{ Kč}$

$$N_{pm} = Hm \cdot N_r = 19290 \cdot 2,8 = 54012 \text{ Kč}$$

Čas potřebný k dosažení žíhací teploty

Náběh na teplotu je

$t_n = 70^\circ\text{C} / \text{h}$

Žíhací teplota

$t_z = 640^\circ\text{C} / \text{h}$

Ochlazování

$t_p = 70^\circ\text{C} / \text{h}$ do teploty t_v

Teplota vyjmutí z pece

$t_v = 150^\circ\text{C}$

Teplota okolí
Délka prodlevy na 1 mm svaru
Maximální svařená tloušťka

$T_o = 20^{\circ}\text{C}$
 $T_4 = 4 \text{ min}$
 $S_t = 150 \text{ mm}$

Čas potřebný pro náběh pece z teploty okolí na žíhací teplotu

$$T_n = \frac{t_z - t_o}{t_n} = \frac{640 - 20}{70} = \underline{8,9h}$$

Čas potřebný pro prodlevu

$$T_{pr} = T_4 \cdot S_t = 4 \cdot 100 = 600 \text{ min} = \underline{10 \text{ h}}$$

Čas potřebný pro ochlazení na teplotu 150°C

$$T_o = \frac{t_z - t_o}{t_n} = \frac{640 - 150}{70} = \underline{7h}$$

Celkový čas potřebný pro tepelné zpracování

$$T_{tz} = T_n + T_p + T_o = 8,9 + 10 + 7 \approx \underline{26 \text{ h}}$$

Náklady na provoz pece pro tepelné zpracování

Hodinové náklady na provoz pece (včetně nákladů na pracovníka, el. energie, prostory, režie) $N_{kp} = 2050 \text{ Kč / h}$

$$N_{CKP} = N_{kp} \cdot t_{kpc} = 2050 \cdot 26 = \underline{53300 \text{ Kč}}$$

Náklady na materiál

Plech – materiál S235JR

Hmotnost materiálu	S235JR	$m_1 = 606 \text{ kg}$
Průměrná cena		$C_1 = 19 \text{ Kč / kg}$

Celková cena

$$N_{m1} = m_1 \cdot C_1 = 606 \cdot 19 = \underline{11\,514 \text{ Kč}}$$

Plech – materiál S355J2G3

Hmotnost materiálu	S355J2G3	$m_2 = 18681 \text{ kg}$
Průměrná cena		$C_2 = 23 \text{ Kč / kg}$

Celková cena

$$N_{m2} = m_2 \cdot C_2 = 18681 \cdot 23 = \underline{429\,663 \text{ Kč}}$$

Celkové náklady na materiál

$$N_m = N_{m1} + N_{m2} = 11\,514 + 429\,663 = \underline{441\,177 \text{ Kč}}$$

Stanovení ceny svařence

$$N_{cs} = N_{ec} + N_{sv} + N_p + N_{pm} + N_{CKP} + N_m = \\ 36800 + 107250 + 26250 + 54012 + 53300 + 441177 = \underline{718\,789 \text{ Kč}}$$

Stanovení ostatních nákladů

$$\text{Režie} \quad R = 20\%$$

$$N_r = R \cdot N_{cs} = 718\,789 \cdot 0,2 = \underline{143\,758 \text{ Kč}}$$

Stanovení celkové ceny svařence

$$N_c = N_{cs} + N_r = 718\,789 + 143\,758 = 862\,547 \cong \underline{865\,000 \text{ Kč}}$$

Úspora nákladů na materiál při použití zoptimalizovaného separačního rámu

Hmotnost nezoptimalizovaného rámu	$M_o = 26645 \text{ kg}$
Hmotnost zoptimalizovaného rámu	$M_z = 19287 \text{ kg}$
Cena 1 kg materiálu S355J2G3	$C_2 = 23 \text{ Kč / kg}$

$$U_{na} = M_o - M_z = 26645 - 19287 = 7358 \text{ kg}$$

$$U_n = U_{na} \cdot C_2 = 7358 \cdot 23 = \underline{169\,234 \text{ Kč}}$$

Porovnání nákladů na výrobu separačního rámu zhotoveného z odlitku a ze svařence

Celková cena svařence	$N_c = 865\,000 \text{ Kč}$
Celková cena odlitku	$N_o = 2\,238\,180 \text{ Kč}$

$$N_c < N_o$$

Úspora nákladů při použití svařence

$$N_u = N_o - N_c = 2\,238\,180 - 865\,000 = \underline{1\,373\,180 \text{ Kč}}$$

Přibližná úspora nákladů při použití zoptimalizovaného svařence je asi 1 370 000 Kč. Cena se však u každého dodavatele může lišit.

Při porovnání nákladů na odlitek a svařenec je patrné, že pro výrobu jednoho kusu separačního rámu je z ekonomického hlediska výhodnější použít svařenec.

6. ZÁVĚR

Hlavním úkolem tohoto projektu bylo navržení výrobního postupu pro separační rám stolice a porovnání výrobních nákladů na výrobu svařence a odlitku. Jsou zde uvedeny různé příklady osvědčených svařovaných konstrukcí, které je možné využít při navrhování svařence. Dále zde také najdeme různé technologie svařování a materiály, které se používají pro zhotovení svařovaných dílů. Při volbě materiálu je třeba posoudit jeho svařitelnost a zvážit nutnost případného tepelného zpracování, které zvyšuje náklady na výrobu až o 20%.

Svařenec separátoru je navržen ze dvou druhů materiálu z důvodu minimalizace nákladů na výrobu svařence. Současně však musí být splněny požadavky na tuhost svařence. Materiál S355J2G3, EN 10025 je navržen pro nosné díly, které budou namáhány zejména velkým tlakovým napětím. Díly určené zejména pro vyztužení svařence jsou navrženy z materiálu S235JR, EN 10025. Pro ověření vhodnosti konstrukce a volby materiálů byl zvolen program Solid Edge V20, který používá pro výpočet napětí a deformace metodu konečných prvků. Výsledné hodnoty napětí byly porovnány s dovoleným napětím, které je uvedeno v materiálovém listu. Při zpracování projektu bylo využito všech dostupných norem a odborné literatury, týkající se této problematiky.

Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou bylo zvoleno z důvodu velkého výkonu navaření svarového kovu. Další výhodou této metody je její dostupnost, pružnost a možnost svařovat i v obtížně přístupných oblastech.

Jako alternativní technologie svařování by mohla být zvolena technologie svařování pod tavidlem. Tato metoda je ekonomicky výhodná především u tloušťek nad 50 mm a velkých délek svarů (nad 1 metr), kdy se svařuje do tzv. úzkého úkosu s úhlem rozevření 0 až 8°. Na základě porovnání nákladů při použití jedné nebo druhé technologie lze využít ekonomicky výhodnější technologii svařování.

Z technicko-ekonomického hodnocení vyplývá, že náklady na výrobu jednoho kusu zoptimalizovaného separačního rámu stolice jsou podstatně nižší, než náklady na zhotovení odlitku separačního rámu. Na vysoké ceně má velký podíl cena formy. U jednoho kusu odlitku tvoří cena formy, podle složitosti, až 50% celkové ceny. Další nevýhodou odlitku jsou delší dodací lhůty a vyšší hmotnost daná konstrukcí odlitku.

Seznam použitých zdrojů

- [1] TRČKA, Libor. **Návrh postupu výroby svařovaného ozubeného kola.**
Bakalářská práce v oboru „Strojírenská technologie – svařování“.
Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2007. 81 s.
- [2] KOVAŘÍK R., ČERNÝ F., **Technologie svařování.** 2. vyd., Plzeň, ZČU Plzeň,
2000, 186s, ISBN 80-7082-697-5
- [3] MINAŘÍK V., **Obloukové svařování.** 2. vyd., Praha, Scienta Praha, 2003, 241s,
ISBN 80-7183-285-5
- [4] KŘÍŽ R., VÁVRA P., **Strojírenská příručka. 8. svazek** 1. vyd., Praha, Scienta
Praha, 1998, 255s, ISBN 80-7183-054-2
- [5] FIALA J., BEBR A., MATOŠKA Z., **Strojnické tabulky 1. Materiály pro
strojnickou výrobu.** 2. vyd., Praha, SNTL, 1990, 880s, ISBN 80-03-00457-8
- [6] www.tdsbrnosms.cz

Seznam použitých zkratk a symbolů

Značka	Veličina	Jednotka
T	Teplota	[°C]
U	Napětí	[V]
I	Proud	[A]
Rp0,2	Smluvní mez kluzu	[MPa]
Re	Mez kluzu	[MPa]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
A ₅	Tažnost	[%]
C _e	Uhlíkový ekvivalent	[%]
Vs	Svařovací rychlost	[mm / s]
To	Čas potřebný pro ochlazení	[h]
Tp	Teplota předehřevu	[°C]
No	Celková cena odlitku	[Kč]
T _{tz}	Celkový čas pro tepelné zpracování	[h]
N _{pm}	Náklady na přípravu materiálu	[Kč]
T _c	Celkový svařovací čas	[h]
N _{sv}	Náklady na svařování	[Kč]
N _p	Náklady na přípravný čas	[Kč]
N _{CKP}	Celkové náklady na provoz pece	[Kč]
N _m	Celkové náklady na materiál	[Kč]
N _c	Stanovení celkové ceny svařence	[Kč]
U _n	Úspora nákladů	[Kč]

Značka	Veličina	Jednotka
m	Hmotnost	[kg]
F1	Zatížení	[N]
F2	Zatížení	[N]
Fr	Reakce	[N]
F _{HV}	Zatížení - hydraulický válec	[N]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
Qs	Specifické vnesené teplo	[kJ/mm]
η	Účinnost	[-]
H _{GL}	Obsah vodíku	[cm ³ /10 g]
P _L	Parametr lamelární praskavosti	[%]
m _{O1}	Hrubá hmotnost odlitku	[kg]
C _{O1}	Průměrná cena za 1 kg odlitku	[Kč/kg]
T _{cs1}	Celkový svařovací čas pro jednostranný svar	[h]
T _{cs2}	Celkový svařovací čas pro oboustranný svar	[h]
m _{sk}	Hmotnost svarového kovu	[kg]
Vn	Výkon navaření	[kg/h]
N	Počet vrstev	[-]
Ls	Délka svaru	[m]
m _{skc}	Celková hmotnost svarového kovu	[kg]
Tn	Čas potřebný pro náběh na žhací teplotu	[h]
Tpr	Čas prodlevy	[h]

Seznam příloh

- Příloha 1 Pracovní postup – Výrobní postup separačního rámu
- Příloha 2 Kusovník – Separační rám (K-5M-60-0100)
- Příloha 3 Specifikace postupu svařování –WPS
- Příloha 4 Materiálový list (S355J2G3)
- Příloha 5 Materiálový list (S235JR)
- Příloha 6 Spotřeba elektrod
- Příloha 7 Plechy ČSN 42 5310
- Příloha 8 Elektroda OK48.00
- Příloha 9 Výkres 5M-60-0100– SEPARAČNÍ RÁM (list 1)
- Příloha 10 Výkres 5M-60-0100– SEPARAČNÍ RÁM (list 2)

PRACOVNÍ POSTUP - SEPARAČNÍ RÁM			
Součást: SEPARAČNÍ RÁM		Číslo výkresu: 5M-60-0100	
Materiál: SVAŘENEC		Hmotnost [kg]: hrubá: 19 290	Počet litů 1/3
Číslo operace	Pracoviště	Popis práce:	
10	94231	Kontrola atestu u všech dílů. Dle potřeby díly přeznačit za účasti kontroly. Připravit pozice č. 1 - č. 13.	
20	27201	Poz. č. 12 (2 ks) ustavit dle výkresu na poz. č. 4 s možností navaření pomocných ustavovacích a polohovacích dorazů dle potřeby. Stehovat s místním předehřevem na 205 – 225°C.	
30	98630	Kontrola stehování, polohy. Případné nedostatky odstranit. Odstranění pomocných ustavovacích a polohovacích dorazů	
40	27201	Svaření pozic č. 12 (2 ks), a č. 4 s místním předehřevem na 205 – 225°C.	
50	27201	Poz. č. 3 (2 ks) ustavit dle výkresu na poz. č. 4 s možností navaření pomocných ustavovacích dorazů dle potřeby. Stehovat poz. 3 k poz. 4 s místním předehřevem na 205 – 225°C. Stehovat poz. 3 k poz. 12 (2x) s místním předehřevem na 190 - 210°C.	
60	98630	Kontrola stehování, polohy. Případné nedostatky odstranit. Odstranění pomocných ustavovacích a polohovacích dorazů	
70	27201	Svaření pozic č. 3 (2 ks), a č. 4 s místním předehřevem na 205 – 225°C.	
80	98630	Vnitřní vady svaru mezi poz. 3 (2ks) a 4 zkontrolovat pomocí ultrazvuku. Případné vady odstranit a dát znovu zkontrolovat. Vystavit protokol o zkoušce.	
90	27201	Svaření pozic č. 12 (2ks), a č. 3 (2x) s místním předehřevem na 190 - 210°C.	
100	98630	Kontrola přivaření pozice č. 12 (2 ks) k pozici č. 3 (2x). Případné vady odstranit.	
110	27201	Poz. č. 2 (2 ks) ustavit dle výkresu na poz. č. 4 s možností navaření pomocných ustavovacích dorazů dle potřeby. Stehovat poz. 2 k poz. 4 s místním předehřevem na 245 – 265°C. Stehovat poz. 2 k poz. 3 (2x) s místním předehřevem na 245 – 265°C.	
120	98630	Kontrola stehování, polohy. Případné nedostatky odstranit. Odstranění pomocných ustavovacích a polohovacích dorazů	
130	27201	Svaření pozic č. 2, a č. 4 s místním předehřevem na 245 – 265°C. Svaření pozic č. 2, a č. 3 (2x) s místním předehřevem na 245 – 265°C.	
140	98630	Vnitřní vady svaru mezi poz. 2 (2 ks) a 3 (2x), 4 zkontrolovat pomocí ultrazvuku. Případné vady odstranit a dát znovu zkontrolovat. Vystavit protokol o zkoušce.	
150	27201	Poz. č. 9 (2 ks) ustavit dle výkresu na poz. č. 3, 4 s možností navaření pomocných ustavovacích dorazů dle potřeby. Stehovat poz. 9 k poz. 4 s místním předehřevem na 245 – 265°C. Stehovat poz. 9 k poz. 3 s místním předehřevem na 190 - 210°C.	
160	98630	Kontrola stehování, polohy. Případné nedostatky odstranit. Odstranění pomocných ustavovacích a polohovacích dorazů	
170	27201	Svaření pozic č. 9, a č. 4 s místním předehřevem na 245 – 265°C. Svaření pozic č. 9, a č. 3 s místním předehřevem na 190 - 210°C.	
180	98630	Kontrola přivaření pozice č. 9 k pozici č. 3 a 4. Případné vady odstranit.	
190	27201	Poz. č. 10 (2 ks) ustavit dle výkresu na poz. č. 3, 4 s možností navaření pomocných ustavovacích dorazů dle potřeby. Stehovat poz. 10 k poz. 4 s místním předehřevem na 245 – 265°C. Stehovat poz. 10 k poz. 3 s místním předehřevem na 190 - 210°C.	
200	98630	Kontrola stehování, polohy. Případné nedostatky odstranit. Odstranění pomocných ustavovacích a polohovacích dorazů	
210	27201	Svaření pozic č. 10, a č. 4 s místním předehřevem na 245 – 265°C. Svaření pozic č. 10, a č. 3 s místním předehřevem na 190 - 210°C.	
Datum: 18.4.2010		Vyhotovil: TRČKA Libor	Schválil:

PRACOVNÍ POSTUP - SEPARAČNÍ RÁM			
Součást: SEPARAČNÍ RÁM		Číslo výkresu: 5M-60-0100	
Materiál: SVAŘENEC		Hmotnost [kg]: hrubá: 19 290	Počet litů 2/3
Číslo operace	Pracoviště	Popis práce:	
220	98630	Kontrola přivaření pozice č.10 k pozici č.3 a 4. Případné vady odstranit.	
230	27201	Poz. č.11 (2 ks) ustavit dle výkresu na poz.č.2 a 4 Stehovat poz.11 k poz. 2 s místním předehřevem na 245 – 265°C. Stehovat poz.11 k poz. 4 s místním předehřevem na 205 – 225°C.	
240	98630	Kontrola stehování, polohy. Případné nedostatky odstranit.	
250	27201	Svaření pozic č.11, a č.2 s místním předehřevem na 245 – 265°C. Svaření pozic č.11, a č.4 s místním předehřevem na 205 – 225°C.	
260	98630	Kontrola přivaření pozice č.11 k pozici č.2 a 4. Případné vady odstranit.	
270	27201	Poz. č.6 (2 ks) ustavit dle výkresu na poz.č.2,4 Stehovat poz.6 k poz.2 a 4 s místním předehřevem na 245 – 265°C.	
280	98630	Kontrola stehování, polohy. Případné nedostatky odstranit.	
290	27201	Svaření pozic č.6, s č.2,4 s místním předehřevem na 245 – 265°C.	
300	98630	Kontrola přivaření pozice č.6 k pozici č.2 a 4. Případné vady odstranit.	
310	27201	Poz. č.7 (2 ks) ustavit dle výkresu na poz.č.4, 9 a 10 Stehovat poz.7 k poz.4, 9, 10 s míst. předehřevem na 245 – 265°C.	
320	98630	Kontrola stehování, polohy. Případné nedostatky odstranit.	
330	27201	Svaření pozic č.7, s č.4, 9, 10 s místním předehřevem na 245 – 265°C.	
340	98630	Kontrola přivaření pozice č.7 k pozici č.1, 9 a 10 Případné vady odstranit.	
350	27201	Poz. č.13 (2 ks) ustavit dle výkresu na poz.č.4, 9 a 10 Stehovat poz.13 k poz.4, 9, 10 s míst. předehřevem na 245 – 265°C.	
360	98630	Kontrola stehování, polohy. Případné nedostatky odstranit.	
370	27201	Svaření pozic č.13, s č.4, 9, 10 s místním předehřevem na 245 – 265°C.	
380	98630	Kontrola přivaření pozice č.13 k pozici č.4, 9 a 10 Případné vady odstranit.	
390	27201	Poz.č.1 ustavit dle výkresu s poz.č.2, 3 s možností navaření pomocných ustavovacích dorazů dle potřeby. Rovnoměrné rozdělení mezery mezi poz. 1 a 2. Stehovat poz.1 k pozici 2 (2x), s místním předehřevem na 245 – 265°C. Stehovat poz.1 k poz. 3(2x), 9(2x), 10(2x) a 12 (2x) s místním předehřevem na 205 – 225°C.	
400	98630	Kontrola stehování, polohy. Případné nedostatky odstranit. Odstranění pomocných ustavovacích dorazů	
410	27201	Svaření pozic č.1a č.2 (2x) s míst. předehřevem na 245 – 265°C. Svaření pozic č.1a č.3 (2x) s míst. předehřevem na 205 – 225°C. Svaření pozic č.1, a č.9(2x), č.10(2x) a 12 (2x) s míst.předehřevem na 205 – 225°C.	
420	98630	Vnitřní vady svaru mezi poz. 1 a 2(2x), 3(2x) zkontrolovat pomocí ultrazvuku. Případné vady odstranit a dát znovu zkontrolovat. Vystavit protokol o zkoušce.	
430	98630	Kontrola přivaření pozice č.1 k pozici č.9(2x),10(2x) a 12(2x). Případné vady odstranit.	
Datum: 18.4.2010		Vyhotovil: TRČKA Libor	Schválil:

[illegible]

ČÍSLO POZ.	NÁZEV-OZNAČENÍ	POLOTOVAR	HMOT. Kg	J.	MNOŽ.
	VÝKRES-NORMA	MATERIÁL			
1	SPODNÍ DESKA	P80-1700x2990 ČSN 42 5310	2288		1
		S355J2G3 EN 10025			
2	BOČNÍ DESKA	P150-1650x2100 ČSN 42 5310	3170		2
		S355J2G3 EN 10025			
3	STŘEDOVÁ DESKA	P60-1400x2990 ČSN 42 5310	1955		2
		S355J2G3 EN 10025			
4	HORNÍ DESKA	P80-2545x3390 ČSN 42 5310	4433		1
		S355J2G3 EN 10025			
5	ŽEBRO 1	P30-400x1400 ČSN 42 5310	132		4
		S355J2G3 EN 10025			
6	PERO	P50-200x535 ČSN 42 5310	42		2
		S355J2G3 EN 10025			
7	KOSTKA	P150-200x200 ČSN 42 5310	37		2
		S235JR EN 10025			
8	PLECH	P30-200x200 ČSN 42 5310	9		8
		S235JR EN 10025			
9	ŽEBRO 2	P15-440x1400 ČSN 42 5310	19		2
		S235JR EN 10025			
10	ŽEBRO 3	P25-885x1400 ČSN 42 5310	146		2
		S235JR EN 10025			
11	ŽEBRO 4	P25-420x425 ČSN 42 5310	28		2
		S235JR EN 10025			
12	ŽEBRO 5	P25-1060x1400 ČSN 42 5310	285		2
		S355J2G3 EN 10025			
13	KOSTKA	P120-200x200 ČSN 42 5310	37		2
		S235JR EN 10025			

				Přesnost	Materiál	T.O.
				Tolerování	Poloťovar	
				Promítání		Hrubá hmotnost 19290 kg
				ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE VUT V Brně - Odbor svařování		
Změna	Datum	Index	Podpis	Název SEPARAČNÍ RÁM		
Navrhl TRČKA	Poznámka	Měřítko				
Přezkoušel						
Technolog						
Normalizace	Starý výkres			Číslo výkresu K-5M-60-0100		
Schválil	Č.seznamu					
Datum 10.04.2010	Č.sestavy 5M-60-0100					
				Listů 1	List 1	

Specifikace postupu svařování „WPS“ dle ČSN EN ISO 15609 - 1 (Obloukové svařování)

Strana:
Celkem:
Revize č.: (



1. Výrobce : TDS Brno – SMS, s.r.o. Mariánské nám. 1 617 00 Brno			10. Zkušební organizace : TDS Brno – SMS, s.r.o. Mariánské nám. 1 617 00 Brno				
2. Místo :			11. Způsob přípravy úkosu :				
3. Číslo dokladu (WPS) : WPS-5M60-0100			12. Způsob čištění : kartáčování				
4. Číslo WPQR : WPQR 006/2010			13. Specifikace základních materiálů				
5. Číslo zkušebního kusu : —			- materiál 1: W.Nr. 1.0036, S235JR (11373)				
6. Kvalifikace svářeče : ČSN EN 287-1			- materiál 2: W.Nr. 1.0036, S235JR (11373)				
7. Metoda svařování : 111 (MMA)			14. Svařovaná tloušťka [mm]: t = 15 mm				
8. Druh svaru : Koutový			15. Vnější průměr [mm] : D = —				
9. Údaje o přípravě svarových ploch : —			16. Poloha svařování : PB				
17. Tvar spoje		18. Rozměry	19. Postup svařování				
		a [mm] 5 b [mm] — c [mm] — α [°] —					
20. Parametry pro svařování							
21.	Svarová housenka	1	2	3	4	5	6
22.	Metoda svařování	111					
23.	Průměr přídav.mater. [mm] - Ø	4					
24.	Svařovací proud [A]	210					
25.	Svařovací napětí [V]	24					
26.	Druh proudu a polarita	Stejnoseměrný/(+)					
27.	Přenos kovu přídavného materiálu						
28.	Rychlost podáv.drátu [m.min ⁻¹]						
29.	Rychl. posuvu pojezdu [m.min ⁻¹]	0,318					
30.	Tepelný příkon [J.cm ⁻¹]	8558					
31. Přídavný materiál - zařazení a značka: OK 48.00							
32. Předpis pro sušení : —			42. Údaje o podložním kroužku : —				
33. Ochranný plyn / tavidlo : —			43. Další informace : Rozkvy - amplituda : —				
- ochranný plyn [l.min. ⁻¹] : —			- frekvence a doba prodlevy : —				
- ochrana kořene [l.min. ⁻¹] : —			Rozkvy (max.šířka housenky) : —				
34. Wolfram.elektroda, druh/průměr : —			44. Údaje pro pulzní svařování : —				
35. Údaje o drážkování/podlož. kořene: —			45. Údaje pro plazmové svařování : —				
36. Teplota předehřevu [°C] : —			46. Úhel nastavení hořáku : 45°				
37. Interpass teplota [°C] : —			47. Druh automatu a svař. hlavy : —				
38. Tepelné zpracování / stárnutí : —			48. Prokování svaru : —				
39. Doba, teplota, postup : —			49. Poznámky : —				
40. Rychlost ohřevu a chladnutí : —							
41. Vzdálenost elektrody (kontaktní špičky) od základního materiálu [mm] : —							
50. Výrobce			52. Zkušební orgán nebo technická dozorcí (inspekční) organizace				
..... 51. datum, jméno, podpis a razítko svářečského dozoru			 53. datum, jméno, podpis a razítko zkušebnímu orgánu				

WNr.

(číslo materiálu)

1.0570**Jakostní ocel****OCEL**

Kurzname (značka)

S355J2G3**Chemické složení [hm. %] v tavebním vzorku**

C ¹⁾	Mn	Si	P	S
max 0,20	max 1,60	max 0,55	max 0,035	max 0,035

Chemické složení [hm. %] ve výrobku

C ²⁾	Mn	Si	P	S
max 0,23	max 1,70	max 0,60	max 0,045	max 0,045

Normy DIN

[1] DIN EN 10025-94 – výrobky válcované za tepla z nelegovaných ocelí

[2] DIN 17 100 – výrobky válcované za tepla z nelegovaných ocelí – ozn. St 52-3N

Mechanické vlastnosti

Rozměr t, d [mm]		≤ 3	3–16	16–40	40–63	63–80	80–100
Stav		tepelně nezpracovaný					
Mez kluzu R _{el} [MPa] min		355		345	335	325	315
Mez pevnosti R _m [MPa]		510–680	490–630				
Tažnost A ₅ [%]	podél min	18	22		21	20	
	napříč min	16	20		19	18	
Nárazová práce KV ⁻²⁰ [J] min		–			27		
Tvrdost HB		–					
Rozměr t, d [mm]		100–150		150–200		200–250	
Stav		tepelně nezpracovaný					
Mez kluzu R _{el} [MPa] min		295		285		275	
Mez pevnosti R _m [MPa]		470–630		450–630			
Tažnost A ₅ [%]	podél min	18		17			
	napříč min	18		17			
Nárazová práce KV ⁻²⁰ [J] min		27		23			
Tvrdost HB		–					

Fyzikální vlastnostiHustota ρ [kg·m⁻³] 7 850**Technologické údaje**

SVAŘITELNOST – vhodná ke svařování

$$\text{uhlíkový ekvivalent } C_{EV} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

$$t \leq 40 \quad C_{EV} \leq 0,45$$

$$t = 41-150 \quad C_{EV} \leq 0,47$$

$$t = 151-250 \quad C_{EV} \leq 0,49$$

má-li ocel v tavebním vzorku více než 0,02 % Nb nebo 0,02 % Ti nebo 0,03 % V je nutno požadovat u tlouštěk ≤ 30 mm snížený obsah C na 0,18 % v tavebním vzorku

Porovnání se zahraničními materiály

ISO		EURO		Česká republika	
—	—	S355J2G3 Fe52CFN Fe52DFN	EN 10025-94 EN 30-69 EN 30-69	—	—
Francie		Velká Británie		Rusko	
S355J2G3	NF EN 10025-94	S355J2G3 50/35HR 43D CEW5BK	BS EN 10025-94 BS 1449-91 BS 4360-90 BS 6323/1-82	17G1S 17GS S345	GOST 19281-89 GOST 19281-89 GOST 27772-88
USA		Japonsko		Kanada	
Gr. 50, Type 1 Gr. 50, Type 2 Gr. 50, Type 3 Gr. 50, Type 4	ASTM A572 ASTM A572 ASTM A572 ASTM A572	SM490A SM490B SM490C SM490YA STK490	JIS G3106-92 JIS G3106-92 JIS G3106-92 JIS G3106-92 JIS G3444-88	50W 350W	CSA G40.21-92 CSA G40.21M92
Itálie		Rakousko		Švédsko	
S355J2G3 Fe510 Fe510 Fe510 Fe510B	UNI EN 10025-94 UNI 6363-84 UNI 6403-86 UNI 8913-87 UNI 7806-79	St52F St52RGT St52RST 510C	ÖNORM 3123-73 ÖNORM 3131-72 ÖNORM 3131-72 ÖNORM 3115	2132 2133	SS 142132 SS 142133
Polsko		Maďarsko		Norsko	
16G2 18G2AA 18G2AA	PN H-84023/05,07 PN H-84023/08 PN H-93027	B50.36 Fe355-C/FF	MSZ 339-87 MSZ 500-89	S355J2G3 12153	NS EN 10025-94 NS 12101
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
Fe52C Fe52D Fe52DP	SFS 200E SFS 200E SFS 1100	—	—	S355J2G3 AE355D F.6215	UNE EN 10025-94 UNE EN 36080-95 UNE EN 36080-95
Belgie		Čína		Jugoslávie	
AE355-C AE355-D	NBN 21-101-76 NBN 21-101-76	16Mn 16MnDR 16Mnq 16MnL 16MnR	GB 8163-87 GB 3531-83 GB 713-86 GB 3273-89 GB 6654-86	Č.0563	JUS C.B0.500/2-88
Rumunsko		—		—	
OL 52.4	STAS 500/2-88	—	—	—	—

Poznámky1) pro tloušťky $t > 40$ mm je $C_{\max} = 0,22$ %2) pro tloušťky $t > 40$ mm je $C_{\max} = 0,24$ %

WNr.

(číslo materiálu)

1.0037**Základní ocel****OCEL**

Kurzname (značka)

S235JR**Chemické složení [hm. %] v tavebním vzorku**

C ¹⁾	Mn	P	S	N ²⁾³⁾
max 0,17	max 1,40	max 0,045	max 0,045	max 0,009

Chemické složení [hm. %] ve výrobku

C ⁴⁾	Mn	P	S	N ³⁾⁵⁾
max 0,21	max 1,50	max 0,055	max 0,055	max 0,011

Normy DIN

- [1] DIN EN 10025-94 – výrobky válcované za tepla z nelegovaných konstrukčních ocelí
 [2] DIN 17100 – výrobky válcované za tepla z nelegovaných konstrukčních ocelí – ozn. St 37-2
 [3] DIN 1615 – svařované trubky z nelegovaných ocelí bez zvláštních požadavků
 [4] DIN 5512/1 – materiály pro kolejová vozidla – oceli obvyklých jakostí

Mechanické vlastnosti

Rozměr t, d [mm]		< 3	3–16	16–40
Stav		tepelně nezpracováno		
Mez kluzu R _e [MPa] min		235		
Mez pevnosti R _m [MPa]		360–510	340–470	
Tažnost A ₅ [%]	podél min	21	26	
	napříč min	19	24	
Nárazová práce KV ⁻²⁰ [J] min		–		27
Tvrdost HB		–		

Fyzikální vlastnostiHustota ρ [kg . m⁻³] 7 850**Technologické údaje****SVAŘITELNOST**

vhodná ke svařování

$$\text{uhlíkový ekvivalent } C_{EV} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

$$C_{EV} \leq 0,35 \text{ pro } t \leq 40 \text{ mm}$$

Použití

Součásti konstrukcí a strojů menších tloušťek, i tavně svařované, namáhané staticky i mírně dynamicky.

Ostatní vlastnosti

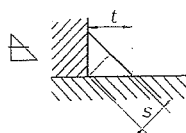
Desoxidace: uklidněná nebo polouklidněná nebo neuklidněná

Porovnání se zahraničními materiály

ISO		EURO		Česká republika	
—	—	S235JR	EN 10025-93	—	—
Francie		Velká Británie		Rusko	
S235JR	NF EN 10025-94	S235JR	BS EN 10025-94	—	—
E24-2	NF A35-501-86	37/23 HR, HS, CR, CS	BS 1449/1-91	—	—
E24-2	NF A36-101-82	ERW 3	BS 6323/5-82	—	—
		CEW 3	BS 6323/6-82	—	—
USA		Japonsko		Kanada	
1015	SAE J403-95	STKM 12C	JIS G3445-88	—	—
1015	AISI			—	—
G 1015	UNS			—	—
Gr. C	ASTM A283			—	—
Itálie		Rakousko		Švédsko	
S235JR	UNI EN 10025-94	St37F	ÖNORM M312373	1311	SS 141311
Fe360B, C, D	UNI 7746-77	St37M	ÖNORM M3111		
Fe360B	UNI 7810-79	St37S	ÖNORM M311680		
Polsko		Maďarsko		Norsko	
St3S	PN H-84020-88	Fe235B	MSZ 500-89	S235JR	NS EN 10025-93
St3SX	PN H-84020-88			12 120	NS 12101
St3SY	PN H-84020-88				
Švýcarsko		Španělsko		Belgie	
—	—	S235JR	UNE EN 10025-94	AE235-B	NBN A21-101-76
		AE235B	UNE 36080-90		
Bulharsko		Jugoslávie		Rumunsko	
ASt3	BDS 2592-71	Č.0370	JUS C.B0.500-89	OL 37.2	STAS 500/2-88

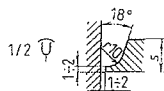
Poznámky

- 1) pro tloušťky $16 < t \leq 40$ mm je $C = \max 0,20 \%$
- 2) udaná hodnota může být překročena, jestliže překročení o 0,001 % N odpovídá podkročení obsahu P o 0,005 %, obsah N nesmí však přestoupit 0,012 % v tavebním vzorku
- 3) max hodnota obsahu N neplatí, jestliže je v oceli min 0,020 % Al nebo dostatečné množství jiných, dusík vázajících, prvků
- 4) pro tloušťky $16 < t \leq 40$ mm je $C = \max 0,25 \%$
- 5) udaná hodnota může být překročena, jestliže překročení o 0,001 % N odpovídá podkročení obsahu P o 0,005 %, obsah N nesmí však přestoupit 0,014 % ve výrobku



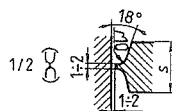
s (mm)	Hmotnost navařeného kovu (kg.m ⁻¹)	Průměr elektrod (mm)	Bazická elektroda			Kyselá elektroda		
			Počet vrstev	Počet elektrod (ks/m)	Délka vrstvy jedné elektrody (mm)	Počet vrstev	Počet elektrod (ks/m)	Délka vrstvy jedné elektrody (mm)
2	0,022	2	1	4	250	1	4	250
3	0,048	2,5	1	4	250	1	5	200
4	0,080	3,15	1	3,1	325	1	3,4	295
5	0,110	3,15 4	1 1	4,2 2,6	240 380	1 1	4,7 3	210 330
6	0,155	4 5	1 1	3,7 2,4	270 420	1 1	4,2 2,7	240 370
7	0,210	4 5	1 1	5 3,3	200 300	1 1	5,7 3,7	165 270
8	0,290	4 5	2 1	6,8 4,5	295 222	2 2	7,9 5,1	254 390
9	0,365	4 5	2 2	8,6 5,6	232 356	2 2	9,9 6,4	203 312

10	0,450	4 5	2 2	10,6 7	190 285	3 2	12,2 7,9	246 253
11	0,545	4 5	3 2	12,8 9,1	235 220	3 3	14,8 9,6	203 310
12	0,650	5 4 + 6,3	3 1 + 2	10 4 + 4,7	300 250; 4255	3 1 + 2	11,4 4 + 5,6	263 250; 360
13	0,760	5 5 + 6,3	3 1 + 2	12 4 + 4,9	250 250; 410	4 1 + 2	13,4 4 + 6	300 250; 335
14	0,880	5 5 + 6,3	3 1 + 2	14 4 + 6	215 250; 335	4 1 + 3	15,5 4 + 7,3	258 250; 410
15	1,010	5 5 + 6,3	4 1 + 2	15,7 4 + 7,3	192 250; 275	6 1 + 3	17,8 4 + 8,7	335 250; 345
16	1,150	5 5 + 6,3	4 1 + 3	17,7 4 + 8,7	226 250; 345	6 1 + 5	20,2 4 + 10,3	298 250; 290
18	1,450	5 5 + 6,3	6 1 + 3	22,4 4 + 11,5	268 250; 260	8 1 + 2	25,5 4 + 13,6	315 250; 370
20	1,800	5 5 + 6,3	8 1 + 5	28 4 + 15	285 250; 335	10 1 + 7	31,6 4 + 17,5	315 250; 400



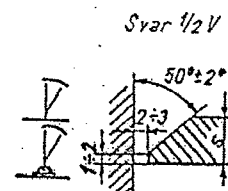
PŘÍLOHA 6/2

s (mm)	Hmotnost navařeného kovu (kg.m ⁻¹)	Průměr elektrod (mm)	Bazická elektroda		Kyselá elektroda	
			Počet vrstev	Počet elektrod (ks/m)	Počet vrstev	Počet elektrod (ks/m)
15	0,925	3,15 + 5 3,15 + 5 + 6,3	1 + 3 1 + 1 + 2	5 + 12,2 5 + 5 + 4,2	1 + 3 1 + 1 + 2	5 + 14,2 5 + 5 + 5,8
16	1,000	3,15 + 5 3,15 + 5 + 6,3	1 + 3 1 + 1 + 2	5 + 13,3 5 + 5 + 5,3	1 + 4 1 + 1 + 2	5 + 15,5 5 + 5 + 6,6
18	1,200	3,15 + 5 3,15 + 5 + 6,3	1 + 4 1 + 1 + 2	5 + 16,4 5 + 5 + 7,2	1 + 5 1 + 1 + 3	5 + 19 5 + 5 + 8,9
20	1,400	3,15 + 5 3,15 + 5 + 6,3	1 + 4 1 + 1 + 3	5 + 19,5 5 + 5 + 9,1	1 + 5 1 + 1 + 3	5 + 22,5 5 + 5 + 11,1
22	1,600	3,15 + 5 3,15 + 5 + 6,3	1 + 5 1 + 1 + 3	5 + 22,6 5 + 5 + 11,1	1 + 6 1 + 1 + 4	5 + 26 5 + 5 + 13,3
24	1,800	3,15 + 5 3,15 + 5 + 6,3 + 8	1 + 1 + 4 1 + 1 + 1 + 2	5 + 5 + 13 5 + 5 + 4 + 5,8	1 + 1 + 5 1 + 1 + 1 + 2	5 + 5 + 15,6 5 + 5 + 4 + 7,4
25	1,920	3,15 + 5 3,15 + 5 + 6,3 + 8	1 + 1 + 4 1 + 1 + 1 + 2	5 + 5 + 14,2 5 + 5 + 4 + 6,6	1 + 1 + 5 1 + 1 + 1 + 3	5 + 5 + 17 5 + 5 + 4 + 8,3
26	2,050	3,15 + 5 3,15 + 5 + 6,3 + 8	1 + 1 + 4 1 + 1 + 1 + 2	5 + 5 + 15,5 5 + 5 + 4 + 7,4	1 + 1 + 5 1 + 1 + 1 + 3	5 + 5 + 18,3 5 + 5 + 4 + 9,2
28	2,250	3,15 + 5 3,15 + 5 + 6,3 + 8	1 + 1 + 5 1 + 1 + 1 + 3	5 + 5 + 17,4 5 + 5 + 4 + 8,7	1 + 1 + 6 1 + 1 + 1 + 4	5 + 5 + 20,5 5 + 5 + 4 + 10,7
30	2,480	3,15 + 5 3,15 + 5 + 6,3 + 8	1 + 1 + 5 1 + 1 + 1 + 3	5 + 5 + 19,6 5 + 5 + 4 + 10,1	1 + 1 + 6 1 + 1 + 1 + 4	5 + 5 + 23,1 5 + 5 + 4 + 12,3
32	2,750	3,15 + 5 3,15 + 5 + 6,3 + 8	1 + 1 + 6 1 + 1 + 1 + 4	5 + 5 + 22,2 5 + 5 + 4 + 11,8	1 + 1 + 7 1 + 1 + 1 + 5	5 + 5 + 26,2 5 + 5 + 4 + 14,2



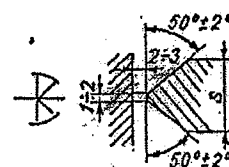
s (mm)	Hmotnost navařeného kovu (kg.m ⁻¹)	Průměr elektrod (mm)	Bazická elektroda		Kyselá elektroda	
			Počet vrstev	Počet elektrod (ks/m)	Počet vrstev	Počet elektrod (ks/m)
30	2,040	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 4	10 + 10 + 11	2 + 2 + 4	10 + 8 + 15
32	2,200	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 4	10 + 10 + 12,4	2 + 2 + 6	10 + 8 + 16,8
34	2,400	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 4	10 + 10 + 14,4	2 + 2 + 6	10 + 8 + 19
36	2,600	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 4	10 + 10 + 16,3	2 + 2 + 6	10 + 8 + 21,3
38	2,780	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 6	10 + 10 + 18	2 + 2 + 8	10 + 10 + 23,2
		3,15 + 5 + 6,3 + 8	2 + 2 + 2 + 2	10 + 10 + 8 + 6,4	2 + 2 + 2 + 4	10 + 10 + 7 + 10,4
40	2,950	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 6	10 + 10 + 19,6	2 + 2 + 8	10 + 10 + 25
		3,15 + 5 + 6,3 + 8	2 + 2 + 2 + 2	10 + 10 + 8 + 7,5	2 + 2 + 2 + 4	10 + 10 + 7 + 11,6
42	3,150	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 6	10 + 10 + 21,5	2 + 2 + 8	10 + 10 + 27,4
		3,15 + 5 + 6,3 + 8	2 + 2 + 2 + 2	10 + 10 + 8 + 8,8	2 + 2 + 2 + 4	10 + 10 + 7 + 13
45	3,450	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 6	10 + 10 + 24,5	2 + 2 + 8	10 + 10 + 30,6
		3,15 + 5 + 6,3 + 8	2 + 2 + 2 + 4	10 + 10 + 8 + 10,6	2 + 2 + 2 + 6	10 + 10 + 7 + 15,2
48	3,760	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 8	10 + 10 + 27,5	2 + 2 + 10	10 + 10 + 34
		3,15 + 5 + 6,3 + 8	2 + 2 + 2 + 4	10 + 10 + 8 + 12,6	2 + 2 + 2 + 6	10 + 10 + 7 + 17,4
50	3,950	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 8	10 + 10 + 29,3	2 + 2 + 10	10 + 10 + 36,2
		3,15 + 5 + 6,3 + 8	2 + 2 + 2 + 4	10 + 10 + 8 + 13,8	2 + 2 + 2 + 6	10 + 10 + 7 + 18,8
52	4,180	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 8	10 + 10 + 31,6	2 + 2 + 10	10 + 10 + 38,8
		3,15 + 5 + 6,3 + 8	2 + 2 + 2 + 4	10 + 10 + 8 + 14,6	2 + 2 + 2 + 8	10 + 10 + 7 + 20,5
56	4,600	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 10	10 + 10 + 35,6	2 + 2 + 12	10 + 10 + 43,5
		3,15 + 5 + 6,3 + 8	2 + 2 + 2 + 6	10 + 10 + 8 + 18	2 + 2 + 2 + 8	10 + 10 + 7 + 23,5
60	5,000	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 10	10 + 10 + 39,5	2 + 2 + 14	10 + 10 + 48
		3,15 + 5 + 6,3 + 8	2 + 2 + 2 + 6	10 + 10 + 8 + 20,3	2 + 2 + 2 + 10	10 + 10 + 7 + 26,5
70	6,200	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 12	10 + 10 + 51	2 + 2 + 18	10 + 10 + 61,5
		3,15 + 5 + 6,3 + 8	2 + 2 + 2 + 8	10 + 10 + 8 + 28	2 + 2 + 2 + 12	10 + 10 + 7 + 35
80	7,450	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 16	10 + 10 + 63,5	2 + 2 + 22	10 + 10 + 75
		3,15 + 5 + 6,3 + 8	2 + 2 + 2 + 10	10 + 10 + 8 + 36	2 + 2 + 2 + 14	10 + 10 + 7 + 44
100	9,900	3,15 + 5 + 6,3	2 + 2 + 22	10 + 10 + 87	2 + 2 + 28	10 + 10 + 102
		3,15 + 5 + 6,3 + 8	2 + 2 + 2 + 14	10 + 10 + 8 + 51	2 + 2 + 2 + 20	10 + 10 + 7 + 61,5

s [mm]	Váha nava- řeného kovu [kg/m]	Průměr elektrod [mm]	Bazická elektroda		Kyslá elektroda	
			Počet vrstev	Počet elektrod [ks/m]	Počet vrstev	Počet elektrod [ks/m]
4	0,130	3,15	1	4,8	1	5,6
5	0,175	3,15	1	6,5	1	7,5
6	0,230	3,15+4	1+1	4+2,9	1+1	4+3,7
7	0,290	3,15+4	1+1	4+4,3	1+1	4+5,3
8	0,360	3,15+4	1+1	5+5,3	1+2	5+6,6
9	0,440	3,15+4	1+2	4+7,8	1+2	4+9,4
10	0,540	3,15+4+5	1+1+1	4+4+4,1	1+1+1	4+4+5,2
		3,15+4+6,3	1+1+1	4+4+2,6	1+1+1	4+4+3,3
11	0,630	3,15+4+5	1+1+1	5+5+4,4	1+1+2	5+5+5,8
		3,15+4+6,3	1+1+1	5+5+2,8	1+1+1	5+5+3,7
12	0,745	3,15+4+5	1+1+1	5+5+6,1	1+1+2	5+5+7,8
		3,15+4+6,3	1+1+1	5+5+3,9	1+1+2	5+5+5
13	0,835	3,15+4+5	1+1+2	5+5+7,8	1+1+2	5+5+9,7
		3,15+4+6,3	1+1+1	5+5+5	1+1+2	5+5+6,2
14	0,980	3,15+4+5	1+1+2	5+5+9,8	1+1+3	5+5+12
		3,15+4+6,3	1+1+2	5+5+6,2	1+1+2	5+5+7,6



s [mm]	Váha nava- řeného kovu [kg/m]	Průměr elektrod [mm]	Bazická elektroda		Kyslá elektroda	
			Počet vrstev	Počet elektrod [ks/m]	Počet vrstev	Počet elektrod [ks/m]
16	0,780	3,15+4	2+4	10+12	2+4	10+14,7
17	0,860	3,15+4	2+4	10+14	2+4	10+17
18	0,960	3,15+4	2+4	10+19	2+4	10+22
19	1,050	3,15+4	2+4	10+19	2+4	10+22
20	1,180	3,15+4+5	2+2+2	10+10+7,6	2+2+2	10+10+10
21	1,250	3,15+4+5	2+2+2	10+10+8,6	2+2+2	10+10+11,3
22	1,360	3,15+4+5	2+2+2	10+10+10,3	2+2+4	10+10+13,3
		3,15+4+6,3	2+2+2	10+10+6,5	2+2+2	10+10+8,4
24	1,600	3,15+4+5	2+2+4	10+10+14	2+2+4	10+10+17,5
		3,15+4+6,3	2+2+2	10+10+8,9	2+2+4	10+10+11
25	1,700	3,15+4+5	2+2+4	10+10+15,5	2+2+4	10+10+19,3
		3,15+4+6,3	2+2+2	10+10+9,8	2+2+4	10+10+12,2
26	1,850	3,15+4+5	2+2+4	10+10+18	2+2+4	10+10+22
		3,15+4+6,3	2+2+4	10+10+11,2	2+2+4	10+10+14
28	2,120	3,15+4+5	2+2+4	10+10+22	2+2+6	10+10+26,6
		3,15+4+6,3	2+2+4	10+10+14	2+2+4	10+10+17

Svar 1/2 V oboustranný



**PLECHY TLUSTÉ Z OCELÍ TŘÍD 10 až 16
VÁLCOVANÉ ZATEPLA**

 Výběr z ČSN 42 5310
 Účinnost od 1. 8. 1991

Označení plechu tloušťky 15 mm, šířky 1 800 mm, délky 4 500 mm s povrchem okujeným, jednoduše rovnáný, z oceli 11 375 bez tepelného zpracování s osvědčením o chemickém rozboru tavby, bez požadavku zkoušení:

P 15 — 1800 × 4500 ČSN 42 5310.11 — 11 375.0 ČSN 42 0209.50

Jmenovitá tloušťka [mm]	Značka oceli
3 až 7	16 420
3 až 10	13 240, 14 260
3 až 15	13 180, 13 251, 13 270, 15 130
3 až 16	11 373
3 až 30	15 131
3 až 40	10 370, 10 420, 11 300, 11 343, 11 423
3 až 60	11 379, 11 448, 11 529
3 až 80	12 024, 13 220
3 až 100	10 005, 11 378, 11 428, 11 443, 11 449, 11 455, 11 500, 11 523, 11 600, 11 700
3 až 120	10 004, 11 375, 11 425
4 až 10	14 240
4 až 12	15 217
4 až 40	15 230
4 až 60	15 231
4 až 100	12 030, 12 050
4 až 120	12 010, 12 020, 12 040, 12 060, 12 061
5 až 30	15 222
5 až 100	11 483
6 až 20	16 320
6 až 40	12 014, 13 221
6 až 50	13 320, 16 224
6 až 60	11 484, 11 503
6 až 100	15 422
8 až 30	16 310
10 až 40	14 331
10 až 50	15 260, 16 532
12 až 50	15 127
20 až 60	14 220

Tloušťky plechu jsou odstupňovány:

3 až 5 mm ... po 0,5 mm

5 až 26 mm ... po 1,0 mm

20 až 60 mm ... po 2,0 mm

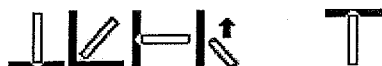
přes 60 mm ... po 5,0 mm

ELEKTRODA -ESAB**OK 48.00****SMAW****Druh bazický obal**

OK 48.00 je bazická elektroda všeobecného použití s nízkonavlhavým obalem pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Svarový kov je houževnatý a odolný proti praskavosti. Je použitelná pro všechny polohy svařování a dovoluje vysokou rychlost při svařování ve svislé poloze zdola nahoru.

Svařovací proud, A

DC+/-)



Klasifikace	Schválení	Typické chemické složení čistého svarového kovu	Typické mechanické vlastnosti čistého svarového kovu	Teplota přesušení, °C 350 Doba přesušení, h 2 Výťažnost 125%
SFA/AWS A5.1 E7018 EN ISO 2560-A E 42 4 B 42 H5	ABS 3H5, 3YH5	C 0,06	Mez kluzu, MPa 445	
	DB 10.039.12	Si 0,5	Pevnost, MPa 540	
	DNV 3 YH5	Mn 1,2	Tažnost, A4 % 29	
	GL 3Y H5	P 0,02	Tažnost, A5 % 29	
	LR 3, 3Y H5	S 0,015	Zkouška vrubové houževnatosti, V-vrub	
	VdTUV 00690		Zkušební teplota, °C	Nárazová práce, J
	CE EN 13479		-20	140
	BV 3YH5		-40	70
	PRS 3YH5			
	RS 3YH5			

PŘÍLOHA 8/2

Průměr, mm	1,6	2,0	2,5	3,2	3,2	4,0	4,0	5,0	5,0	6,0	7,0
Délka, mm	300	300	350	350	450	350	450	350	450	450	450
Napětí na oblouku, V	24	22	23	22	23	24	26	23	23	23	25
Svařovací proud, A	30-55	50-80	80-110	90-140	90-140	125-210	125-210	200-260	200-260	220-340	280-410
Množství svar. kovu kg/kg elektrod	0,59	0,63	0,65	0,64	0,64	0,51	0,67	0,53	0,69	0,72	0,72
Počet elektrod/kg svarového kovu	192	119	62,5	43	32,3	35,0	20,5	23,0	13,5	9,6	7,0
Výkon navaření kg svar. kovu/hod hoření oblouku	0,38	0,6	1,0	1,3	1,5	2,1	2,1	2,6	2,6	3,7	4,4
T - doba hoření elektrody, s	50	50	56	66	76	64	86	78	102	102	117

