

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8
Strojírenská technologie
zaměření

tváření kovů a plastických hmot
Katedra tváření a plastů

SVAŘOVÁNÍ A NAVAŘOVÁNÍ ŠEDÉ
LITINY ELEKTRICKÝM OBLOUKEM

KPT - 020

Jaroslav Horáček

Vedoucí diplomové práce : Stanislav Jenší VŠST Liberec
Konzultant : Ing. Zdena Moravcová VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh :

Počet stran : 68
Počet tabulek : 4
Počet obrázků : 28
Počet příloh : -
Počet výkresů : -

KPT / TP

12. června 1981

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: tváření a plastů

Fakulta: strojní

Školní rok: 1980/81

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro S. Jaroslava H o r á ě k a

obor strojírenská technologie

Protože jste splnil požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: " Svařování a navařování šedé litiny el. elektr. obloukem".

Pokyny pro vypracování:

1. Seznámení s problematikou svařování a navařování šedé litiny el. obloukem.
2. a/ Provedení svarů a návarů v poloze A2 dle ČSN 050024
b/ porovnání elektrod E S 723 ϕ 3,15 a E Castolin 2240 ϕ 3,2
3. Vyhodnocení svařených vzorků metalograficky, zjištění průběhu tvrdosti
4. Vypracování optimálních technologických postupů pro svařování a navařování šedé litiny.

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
727/02-1/2 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK XVII, část 24 ze
dne 31. 8. 1962 § 19 out. z. č. 115/53 Sb.

V 3.78/1981 S
VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

Rozsah grafických laboratorních prací:

30 - 40 stran včetně dokumentace

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury:

1. DORAZIL a KOL.: Skripte " Nauka o materiálu, Brno
Strojírenská výuka č. 7. 1979
2. --
Prospekty fy Castolin a NTP
3. --
Katalog ŽAS Vamberk" Přídavné materiály pro
svařování kovů"
4. --

Vedoucí diplomové práce: Stanislav Jenší

Konsultanti: Ing. Z. Moravcová

Datum zahájení diplomové práce: 15.9.1980

Datum odevzdání diplomové práce: 12.6.1981



Doc. Ing. J. Imčů, CSc.
Vedoucí katedry

RNDr. Doc. B. Stráž, CSc.
Děkan

v Liberci

dne

10.9.1980,

" Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury. "

V Liberci, dne 12.června 1981

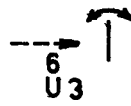

Jaroslav Horáček

O B S A H

	strana
Ú v o d	6
T e o r e t i c k á č á s t	
2.1 Způsoby svařování a navařování litiny	8
2.2 Charakteristika základního materiálu	9
2.2.1 Činitele ovlivňující mechanické vlastnosti litin	10
2.2.2 Strukturní součásti litiny a jejich vliv na mechanické vlastnosti	11
2.3 Svařitelnost litin	13
2.3.1 Dispozice litin na vznik trhlin při svařování	18
2.4 Činitele ovlivňující kvalitu svarového spoje	19
E x p e r i m e n t á l n í č á s t	
3.1 Základní materiál	26
3.2 Technologie svařování	28
3.2.1 Složení svarového kovu a vlastnosti elektrod	28
3.2.2 Příprava svarových ploch	29
3.2.3 Svařovací a měřicí aparatura	30
3.2.4 Technologický postup svařování	32
3.2.5 Příprava a rozbor metalografického výbrusu	35
3.3 Výsledky měření a jejich zpracování	
3.3.1 Základní parametry svařování	37
3.3.2 Metalografický rozbor	
Návary provedené elektrodou CASTOLIN - 2240	38
Rozbor svarového kovu	47
Návary provedené elektrodou E - S 723	50
D i s k u z e a z h o d n o c e n í n a m ě ř e n ý c h v ý s l e d k ů	61
4.1 Porovnání E - S 723 s E - CASTOLIN 2240	63

	Strana
Návrh optimálního technologického postupu pro svařování a navařování šedé litiny	65
Závěr	66
Literatura	68

S e z n a m p o u ž i t ý c h z k r a t e k a
s y m b o l ů

ZM	.....	Základní materiál	
SK	.....	Svarový kov	
TOZ	.....	Tepelně ovlivněná zóna svaru	
T	.....	Naklepaný svar	
P	.....	Svar se při manipulaci porušil	
	.....	Svařováno s rozjížděním a kýváním elektrody	
U ₃	.....	Drážka U : šířka = 6 mm hloubka = 3 mm	
	.....	Spoj V : úhel rozevření = 60°	
I	.....	Svařovací proud	[A]
Q	.....	Teplo dodané do svaru	[Jcm ⁻¹]
v	.....	Svařovací rychlost	[cm ^s ⁻¹]
U	.....	Svařovací napětí	[V]
U ₀	.....	Napětí naprázdno svař. zdroje	[V]
t	.....	Čas svařování	[s]
l	.....	Délka návaru	[mm]
H	.....	Tloušťka svařované desky	[mm]
z	.....	Počet vrstev návaru	
k	.....	Výkonový koeficient (pro výpočet Q - I)	
R _m	.....	Mez pevnosti v tahu	[Nmm ⁻²]
A ₅	.....	Tažnost	[%]
=(+)	.....	Stejnoseměrný proud, elektroda zapojena na plus pól	
(~)	.....	Střídavý proud	

Ú V O D

Generální linie výstavby rozvinuté socialistické společnosti, jak bylo zdůrazněno na XVI. sjezdu KSČ, je základem dalšího hospodářského a sociálního rozvoje pro období 7. pětiletky. Vytýčené cíle však realizuje naše společnost za podstatně obtížnějších vnějších a vnitřních podmínek, což se projevuje především vyššími náklady na získávání potřebných zdrojů surovin a materiálů na zahraničních trzích.

Proto se ve směrnici o "Hlavních směrech hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1981 - 1985" zdůrazňuje jako jedna z podmínek dosažení záměrů 7. pětiletého plánu nutnost podstatně lépe zhodnocovat a racionálněji využívat všechny druhy paliv a energie, materiálů a surovin, jakož i existující základní fondy a pracovní síly. Jen touto cestou je možno vytvořit podmínky pro růst národního důchodu o 14 - 16 % a jeho přírůstek kryt z 90 - 95 % zvýšením společenské produktivity práce. V průběhu pětiletky je třeba dosáhnout průměrně 4,5 - 5 % úspor kovů ve výrobě a komplexně zabezpečit státní cílové programy racionalizace spotřeby těchto základních materiálových zdrojů.

Technologie svařování šedé litiny je jednou z cest umožňujících splnění těchto náročných úkolů. Objem výroby odlitků ze šedé litiny neustále roste, a je proto z hlediska oprav vadných odlitků ve slévárnách daleko rentabilnější provádět opravy svařovacími postupy, které vyžadují minimální nároky na energii, čas, materiál. Další obrovské úspory pro národní hospodářství plynou z oprav havarovaných součástí přímo v provozu. Opravou součástí el. obloukem za studena, často bez demontáže příslušného dílu, se zkrátí doba prostoj zařízení ve výrobě na minimum, což představuje často nemalé finanční úspory.

Náklady spojené s opravou jsou neporovnatelně nižší než pořizovací náklady na novou součást, přičemž v běžných případech je opravou zaručena nezkrácená životnost součásti.

Tyto skutečnosti zdůrazňují aktuálnost řešení této problematiky a vyzdvihují význam úkolu zpracovaného v této diplomové práci.

Diplomová práce se zabývá oblastí svařování šedé litiny elektrickým obloukem způsobem "za studena". Úkolem této diplomové práce je provést zhodnocení a porovnání elektrody E - S 723 průměr 3,15 mm naší výroby se zahraniční elektrodou CASTOLIN - 2240 průměr 3,2 mm a na základě získaných zkušeností navrhnout optimální technologický postup pro svařování šedé litiny.

T E O R E T I C K Á Č Á S T

2.1 ZPŮSOBY SVAŘOVÁNÍ A NAVAŘOVÁNÍ LITINY

V současné době se u nás používají především tyto způsoby svařované litiny:

1. svařování elektrickým obloukem za studena
2. svařování plamenem za tepla
3. navařování plamenem metodou Eutalloy
4. svařování slévárenské

Pro opravy v polohách lze použít také pájení plamenem (pájka $Ms60SiSn$).

Ještě v nedávné době se pro získání kvalitních spojů používal výhradně způsob svařování s předehřevem v rozsahu teplot $400 - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po svařování následovalo zejména u větších odlitků popouštění v peci na teplotu $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 1 - 2 hodiny, čímž se dosáhlo dobré obrobiteľnosti svaru změkčením přechodového pásma.

Pomalé ochlazování vytvořilo podmínky pro omezení tvorby trhlin v tepelně ovlivněné oblasti.

V dnešní době je potřeba předehřevu pro většinu svařovacích operací odstraněna použitím kvalitních přídavných materiálů na bázi mědi a niklu.

Nejvíce se používá způsob svařování za studena elektrickým obloukem obalenou elektrodou. Jeho výhody vynikají především v nízké energetické náročnosti a v značném zjednodušení svařovacího postupu při opravách.

Teplota okolí svaru nemá překročit $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pro způsob svařování plamenem za tepla se používá liti-
nová tyčinka G 701 společně s tavidlem TP 13. Zajišťuje řídicí
tekoucí svařový kov a dokonalé spojení se základním materiá-
lem. Používá se předehřevu v rozsahu teplot 450 - 650 °C /12/.

Navařování plamenem metodou Eutalloy se provádí nanáše-
ním práškového kovu na odlitek bez natavení základního mate-
riálu /8/.

Svařování slévárenské je nejstarším způsobem spojování
litiny. Používá se při opravách odlitků ve slévárnách./7/

2.2 CHARAKTERISTIKA ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU

Litiny se používají jako konstrukční materiály ve
strojírenství především pro dobré technologické vlastnosti
(např. slévateľnost, opracovatelnost, tlumicí schopnost při
nárazech a kmitání).

Základní strukturní složkou v litině je grafit.
Podle jeho tvaru a způsobu vzniku se rozlišují litiny na jednot-
livé druhy.

V šedé a tvárné litině se vylučuje grafit přímo z taveniny.
Šedá litina obsahuje lupínkový grafit. Tvárná litina je tvo-
řena zrnitým typem grafitu. Vločkový grafit v temperované li-
tině vzniká grafitizací cementitu, tj. fázovou přeměnou uhlí-
ku v tuhém stavu.

Velkou část produkce sléváren tvoří odlitky z nelego-
vané šedé litiny. Je to v podstatě slitina železo - uhlík -
křemík. V menším množství obsahuje další prvky (mangan, fos-
for, síra). Z metalurgického hlediska je to mnohokomponentní
soustava, ve které probíhají poměrně složité procesy krystalizace
a překrystalizace. Jejich průběh je závislý především na
chemickém složení a rychlosti ochlazování litiny.

Základní představu o průběhu fázových přeměn poskytuje pseudobinární diagram konstruovaný pro konstantní obsah křemíku a proměnné obsahy železa a uhlíku. Lze z něj určit, která fáze nebo směs fází bude za dané teploty a chemického složení stabilní /1/.

Tepelné poměry vzniklé při svařování šedé litiny za studena vytvářejí podmínky pro anizotermickou krystalizaci litiny. Z diagramů anizotermické krystalizace konstruovaných nejčastěji pro eutektické nebo podeutektické složení lze určit maximální mezní rychlosti pro vznik grafitického a ledeburitického eutektika.

2.2.1 Činitele ovlivňující mechanické vlastnosti litin

Mechanické vlastnosti grafitických litin jsou určovány třemi nejdůležitějšími faktory:

1. Typ, množství a rozmístění grafitických vyloučenin má největší vliv na pevnost základní hmoty litiny. Závisí na použité technologii lití. Z tohoto důvodu je žádoucí vytvoření takových ochlazovacích poměrů při odlévání, které zaručují u šedé litiny tvorbu jemnozrnného lamelárního grafitu.
2. Chemické složení litiny ovlivňuje především grafitizaci. Nejsilnějším grafitizačním prvkem je křemík. Snižuje teplotu tavení litiny, a tím zvyšuje její tekutost. Teplotní intervaly eutektické a eutektoidní přeměny se s rostoucím obsahem křemíku rozšiřují. Křemík je feritotvorným prvkem, neboť rozšiřuje oblast přeměny austenitu na ferit a grafit. Čím více křemíku obsahuje litina, tím méně cementitu zůstane v základní hmotě. Struktura kovové matrice se více blíží k feritickému složení.

Litina v závislosti na obsahu prvků krystalizuje s kovovým základem různého složení. Popsanou závislost nejlépe vystihuje Klengensteinův a Maurerův diagram. Vyplývá z nich také, že uhlík podporuje grafitizaci tím více, čím je větší jeho obsah ve struktuře /2/.

Manganem a fosforem se legují litiny z důvodů zlepšení homogenity odlitku a zvýšení tekutosti. Přítomnost manganu je důležitá pro odsíření litiny.

Zvýšený obsah fosforu se projeví tvorbou steaditu na hranicích eutektických buněk. Tato tvrdá a křehká struktura snižuje odolnost litiny proti mechanickému namáhání. Z těchto důvodů jsou například bloky automobilových motorů odlévány z litiny obsahující menší množství fosforu (0,1 %).

Síra je všeobecně nežádoucí příměsí v litině. Zhoršuje mechanické vlastnosti, zvyšuje tvrdost a smrštění odlitků /1/.

3. Rychlost ochlazování litiny

Podrobnou představu o průběhu strukturních přeměn v závislosti na rychlosti ochlazování poskytují kinetické diagramy krystalizace litin. Jejich podrobné vysvětlení je obsaženo v literatuře /1, 3/.

2.2.2 Strukturní součásti litiny a jejich vliv na mechanické vlastnosti

Grafit

Zhoršuje mechanické vlastnosti kovové matrice. Vykazuje minimální pevnost. V aktivním průřezu součásti způsobuje místní koncentrace napětí. Špičky napětí mohou dosáhnout 10 až 20 násobku normálních napětí v závislosti na rozměrech částice. Lze proto konstatovat, že nejhorší vliv má hrubý lupínkový grafit v obyčejné šedé litině.

Nejvhodnější jsou kulovité částice (zrna nebo vločky) v tvárné a temperované litině. V šedé litině jsou některé částice matrice zcela izolovány grafitovými lupínky, a nemohou tedy přenášet napětí. Z tohoto důvodu lze předpokládat u litin s lupínkovým grafitem pouze 30 - 50 % využití pevnosti matrice /1/.

Perlit

Tvar perlitu může být lamelární až zrnitý, podle podmínek eutektoidní přeměny. S rostoucím podílem perlitu v základní matrici se zvyšují pevnostní vlastnosti a klesají tažnost i vrubová houževnatost.

Ferit

V litině je tvořen v podstatě tuhým roztokem křemíku v železe. Litiny s větším množstvím feritu ve struktuře mají menší pevnost v tahu a tvrdost i menší odolnost proti opotřebení, než litiny s čistě perlitickou strukturou.

Ledeburitický cementit

V grafitických litinách je nežádoucí fází. Jeho přítomnost v litině zvyšuje tvrdost, odolnost proti otěru avšak snižuje pevnost a houževnatost.

Vměstky

Vyskytují se v podobě sirníků, nejčastěji jako sirník manganatý a sirník železnatý. Jejich přítomnost je nežádoucí /3/.

Fosfidové eutektikum

Ve struktuře litiny se může objevit při větším obsahu fosforu (nad 0,3 %) steadit.

Toto fosfidové ternární eutektikum ($\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{P} - \text{Fe}_3\text{C}$) se vyznačuje velmi nízkou teplotou tání (953°C) a vysokou křehkostí a tvrdostí. Při eutektické krystalizaci se soustřeďuje v posledních podílech kapalné fáze. To může způsobit jeho vylučování pouze v určitých lokalitách, což zhoršuje houževnatost i mez únavy základního materiálu /3/.

2.3 SVARĚTELNOST LITIN

Svařitelnost litin lze posuzovat z hlediska mechanického a metalurgického.

1. Hledisko metalurgické zahrnuje vliv chemického složení litiny a jejího chování při ohřevu na svařitelnost.

Největší význam mají grafitotvorné přísadové prvky - křemík (uhlík). Zvýšením obsahu těchto prvků se ovlivní svařitelnost litiny podpořením grafitizace na hranici ztavení. Opačným postupem se zhoršuje svařitelnost v důsledku nepříznivých strukturních změn, které mohou vzniknout (tvorba karbidů).

Druhou skupinu prvků tvoří mangan, fosfor a síra. Jsou to prvky karbidotvorné, působí tedy proti grafitizaci. Z hlediska svařitelnosti je proto jejich vliv posuzován jako nepříznivý.

Mangan zvyšuje tvrdost v přechodové oblasti, jestliže jeho obsah v litině převyší 1 %.

Fosfor zvyšuje tvrdost a náchylnost na vznik trhlin v přechodovém pásmu.

Přítomnost síry je z hlediska svařitelnosti nežádoucí i v nepatrném obsahu.

Sulfidové vměstky se přednostně odtavují v oblasti závaru (teplota tání = 985 °C) a zhoršují mechanické vlastnosti svařového kovu /3/.

Litina se chová při ohřevu zcela jinak než ocel. Přechází téměř skokem z tuhého do tekutého stavu a naopak. Roztavená litina se rychle pokrývá vrstvou kysličníků, které mají vyšší teplotu tání (1350 °C) než šedá litina (1100 - 1250 °C) /2/.

Zvláštnosti chování litiny při ohřevu ovlivňují kvalitu spoje zejména při svařování plamenem.

Nejobtížněji svařitelné jsou litiny, které jsou vystaveny dlouhodobému působení agresivního prostředí (přehřátá pára, kyseliny, oleje, vysoké teploty). Litina "roste", stává se drobivou. Její povrch nasákne chemikáliemi, což velmi znesnadní dosažení metalurgického spoje.

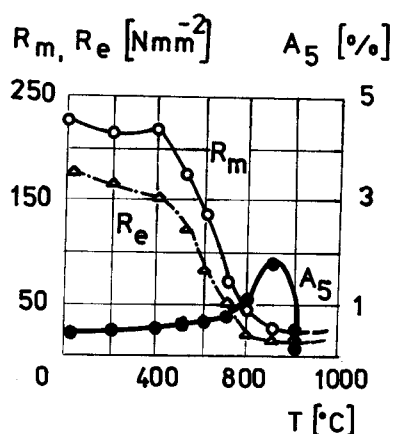
V zahraničních pramenech /13, 14/ jsou uvedeny pro tento druh litin zvláštní svařovací postupy.

Firma Castolin zdůrazňuje použití elektrody se zpožděným tuhnutím svařového kovu (CASTOLIN 2-44) a minimální tepelné ovlivnění základního materiálu svařováním krátkých housenek (30 mm) - metody CASTO-FREEZE A QUENCHWELD.

Povrchovou kůru odlitku je vhodné v místě svaru obrobít a přípravu svařových ploch provést drážkováním (CASTOLIN Chamfer Trode - 03). Tím se vrstva základního materiálu odplyní a nečistoty se vypálí i do určité hloubky pod povrch součásti. Pro omezení vzniku širokých základních pásem doporučuje firma UTP mírný předehřev odlitku na teplotu 200 °C.

2. Hledisko mechanické

Při svařování elektrickým obloukem bez přehřevu se litina ohřívá pouze v úzkém pásmu v místě tvořícího se svaru. Její nízká tepelná vodivost způsobí značný spád teploty mezi teplem ovlivněnou oblastí a okolní litinou. To se projeví vznikem tlakových trojosých napětí. Na obr. 1 jsou vyneseny závislosti mechanických vlastností na teplotě šedé litiny s lupínkovým grafitem uvedené autorem /11/.



Obr. 1 Vliv teploty na pevnost a plasticitu šedé litiny

ve struktuře nerovnoměrně rozloží a vznikají místa s koncentrací napětí. Zároveň s poklesem plasticity dochází ke snížení deformační schopnosti spoje a k vzniku trhlin za studena.

Velikost tahových napětí závisí na svařovacích parametrech, typu použité elektrody a technice svařování /5/.

Pro omezení tvorby trhlin v tepelně ovlivněné oblasti je třeba omezit, popřípadě vyloučit tahové složky napětí.

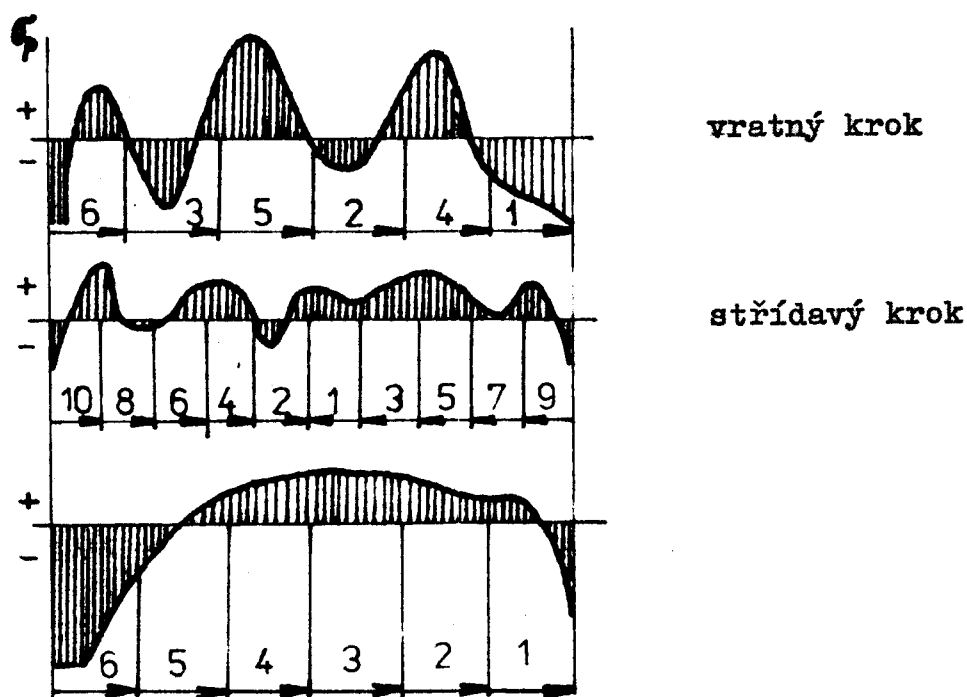
Z průběhu křivek lze konstatovat, že litina vykazuje zvýšenou plasticitu při vysokých teplotách. Proto tlaková pnutí vzniklá ohřevem litiny nemusí být ještě příčinou vzniku trhlin.

Při chladnutí svaru se mění tlakové napětí na tahové. Je známo, že mez pevnosti v tahu litiny dosahuje velmi nízkých hodnot. Z tohoto důvodu nemohou v litině probíhat pružné deformace. Napjatost se

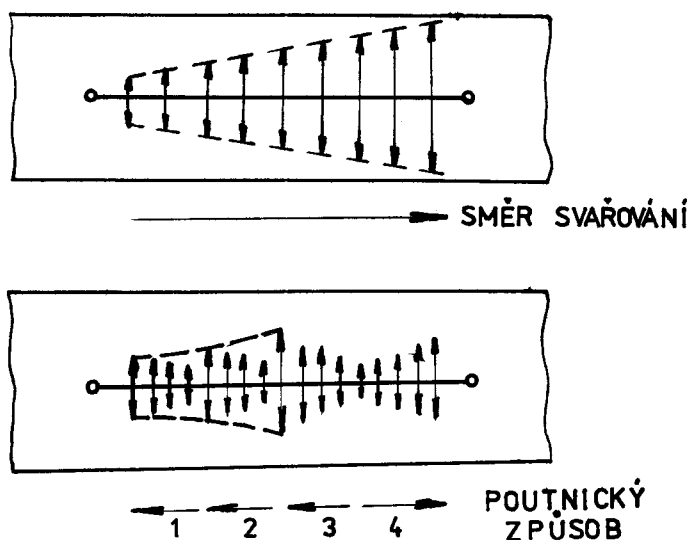
To lze uskutečnit pouze vnesením plastických deformací do svarového spoje. Pro dosažení optimálního efektu je žádoucí, aby k uvolnění napětí došlo dříve, než dojde k přeměně tlakových napětí na tahové. Z těchto poznatků vyplývá nutnost svary důkladně naklepat bezprostředně po navaření.

V literatuře /5/ jsou uvedeny všeobecně platné zásady snižování napětí vzniklých při svařování. Pro svařování litiny za studena lze z těchto zásad aplikovat pouze tyto:

1. snížení přívodu tepla do svaru omezí podélná napětí. Příčné napětí vzroste.
2. Použitím vhodného způsobu vyplňování svarového úkosu se sníží příčné napětí. Je třeba svařovat krátkými housenkami (v závislosti na tloušťce svařence - průměrně 30 mm) poutnickým způsobem nebo vratným krokem (obr. 2, 3).



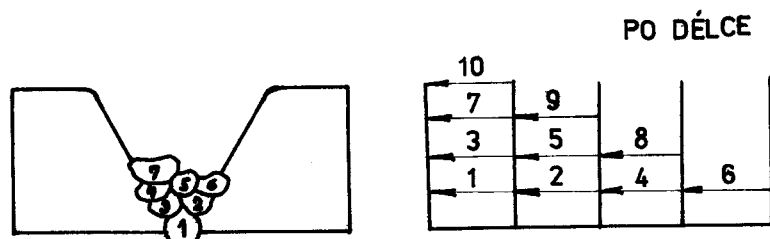
Obr. 2 Průběh příčných napětí při různých postupech svařování



Obr. 3 Průběh příčných napětí - trhlina zavařena najednou
 - trhlina zavařena poutnickým způsobem

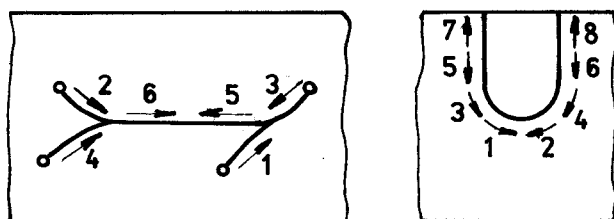
Průřezy větší tloušťky (více než 10 mm) se svařují vícevrstevnými spoji typu U, V. Vyplňování spoje (obr. 4) se provádí kladením jednotlivých vrstev příčnou metodou /6/.

Vyplňování spoje po délce se provádí kaskádovitě. Použití těchto způsobů svařování se příznivě projeví snížením strukturních pnutí.



Obr. 4 Způsob vyplňování svarového úkosu

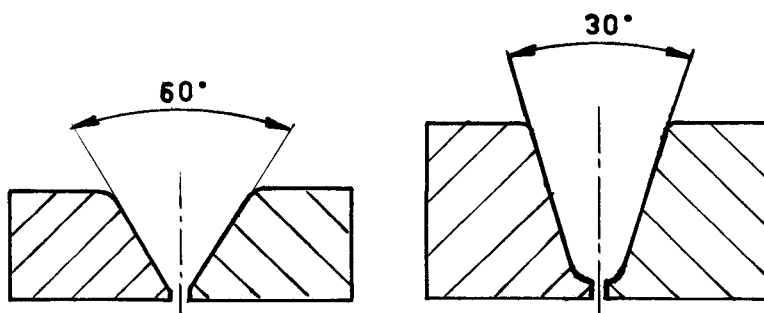
Trhliny v odlitcích se svařují vždy směrem k místu s nižší tuhostí. U rozvětvených trhlin se svaří nejdříve podružné trhliny, hlavní trhlina se svařuje jako poslední. Příklad opravy trhlin ukazuje obrázek 5 /6/.



Postup opravy
proraženého bloku
motoru

Obr. 5 Opravy trhlin

Pro zmenšení vnitřních pnutí je důležitá volba správného tvaru a velikosti rozevření svarového úkosu. V literatuře /4/ jsou uvedeny tyto tvary svarových ploch vhodné pro svařování el. obloukem (obr. 6).



Obr. 6 Tvary svarových ploch

2.3.1 Dispozice litin na vznik trhlin při svařování

Vysoká náchylnost na vznik trhlin v TOZ je jedním z problémů svažitelnosti litin. Závisí především na svařovacích parametrech a na mechanických vlastnostech litiny /2/.

Tvorba trhlin v přechodovém pásmu svaru probíhá odlišným způsobem, než je tomu u ocelí. V zásadě lze rozlišovat trhliny vzniklé za tepla a za studena.

Vznik trhlin za studena je vysvětlován ztrátou deformační schopnosti matrice působením tahových napětí I. a II. druhu.

Mechanismus vzniku trhlin za tepla není ještě zcela objasněn. Dispozice litin na vznik trhlin za tepla je zkoumána ve VÚZ Bratislava /10/. Zkoušky modelování teplotních cyklů na zařízení Thermorestor - W ukázaly, že litiny jsou všeobecně náchylné na vznik trhlin za tepla.

Bylo zjištěno, že trhliny vznikají za vysokých teplot nezávisle na velikosti deformace zřejmě rozdílnou kvalitou difuzních procesů. Určité diskrétní oblasti se přesytí niklem a vytvoří se fázové skupení s nižší teplotou tání (1050 - 1100 °C). Trhliny vzniknou ztrátou koheze lokálním natavením těchto oblastí.

Jako druhý způsob vzniku trhlin za tepla bylo identifikováno mezikrystalické porušení po hranicích primárních zrn. Tyto hranice jsou lokalitami s nejnižší kohezní pevností.

Na závěr je možné konstatovat, že trhliny za tepla vznikají v důsledku teplotních cyklů při svařování.

2.4 ČINITELE OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU SVAROVÉHO SPOJE

1. Mechanická pevnost spoje

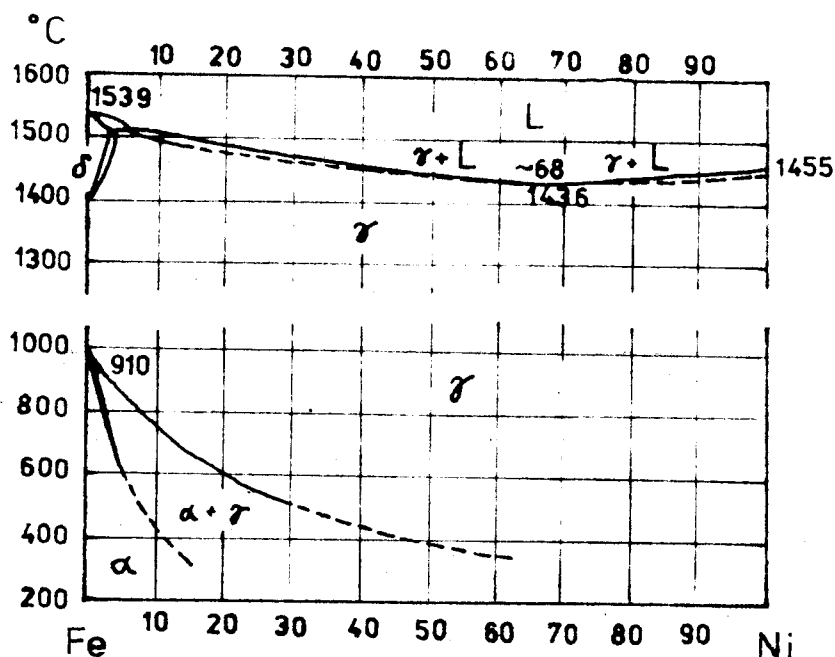
Na mechanickou pevnost spoje mají vliv především vlastnosti základního materiálu. O této problematice bylo pojednáno v kapitole 2.2.

Vliv druhu a vlastností svarového kovu je neméně významný.

Druh svarového kovu souvisí s výběrem vhodného typu elektrody. Výběr elektrody se provádí na základě konkrétních podmínek určujících způsob opravy.

Katalogy zahraničních výrobců udávají široký sortiment elektrod pro svařování způsobem "za studena". Serie výrobků Xuperlife firmy Castolin obsahuje elektrody s rozsáhlou oblastí použití. Lze jimi provádět 80 % všech svařovacích operací na odlitcích /13/.

Současné elektrody naší výroby poskytují svarový kov s převládajícím obsahem niklu (50 - 92 %). Výjimku tvoří elektroda E-B 712 se 70 % mědi. Další důležité prvky, jako je železo, mangan, křemík, jsou zastoupeny různými obsahy (1,5 - 50 %) /12/. Z těchto faktů vyplývá, že převládajícím prvkem ve svarovém kovu je nikl. Svarový kov lze tedy zjednodušeně považovat za slitinu nikl - železo.



Obr. 7 Rovnovážný diagram Fe-Ni podle /15/

Na obr. 7 je rovnovážný diagram Fe-Ni. Z diagramu je patrný vliv niklu na rozšíření oblasti fáze γ . Obsahuje-li slitina více jak 30 % Ni, zůstává fáze zachována v celém rozsahu teplot od solidu až po normální teplotu. Tuhnutí roztaveného kovu začíná při teplotě 1436 - 1455 °C. Pod touto teplotou neprobíhají již žádné fázové přeměny.

Tento typ diagramu se zcela otevřenou oblastí γ tvoří se železem austenitotvorné prvky. Z technicky důležitých prvků patří do této skupiny také mangan /1/.

Mechanické vlastnosti svarového kovu souvisí s vlivy působícími při svařování. Nejdůležitějším z nich je ovlivnění svarového kovu uhlíkem a nečistotami ze základního materiálu. Zároveň probíhá difuze niklu ze svarového kovu do ZM. Hloubka difuzního ovlivnění závisí na teplotě a rozpustnosti niklu ve struktuře litiny. Průběhu difuze brání zejména rozetřený grafit na povrchu svarové plochy. Z tohoto důvodu je třeba před svařováním očistit plochy na kovový lesk drátěným kartáčem.

Vliv nečistot se projevuje mezidendritickým vyloučením vměstků ve svarovém kovu. Vměstky působí jako silné vruby a tím snižují mechanické vlastnosti svarového kovu /14/.

Lze předpokládat, že tyto vlivy působí částečně i na velikost povrchových napětí roztavené lázně a tím ovlivňují smáčivost svarového kovu. Snížená smáčivost je příčinou vzniku studených spojů, ovlivňuje tedy přímo homogenitu svarového spoje.

2. Homogenita svaru je ovlivněna především pórovitostí a studenými spoji svaru.

O pórovitosti svarového kovu rozhoduje mnoho činitelů, např. chemické složení elektrody, svařovací parametry, průběh chlazení housenky. Elektroda se musí řádně přesušit dle ČSN ($\frac{100^\circ\text{C}}{1\text{hod.}}$, $\frac{300^\circ\text{C}}{2\text{hod.}}$). Jestliže to podmínky svařování dovolí, předejdeme pórovitosti nejlépe vhodným nastavením elektrody, kdy část oblouku předeřívá, a tím odplyňuje svařovanou součást ještě před tavnou lázní.

3. Svařovací parametry

Při volbě velikosti svařovacího proudu přihlížíme k typu a průměru elektrody, tloušťce svařované stěny, způsobu svařování a k svařitelnosti litiny.

Kvalita svarového spoje závisí na rozsahu tepelného ovlivnění litiny. Z tohoto důvodu je třeba nastavit svařovací parametry tak, aby bylo dosaženo požadované kvality spoje s minimálním množstvím tepla dodaného do svaru.

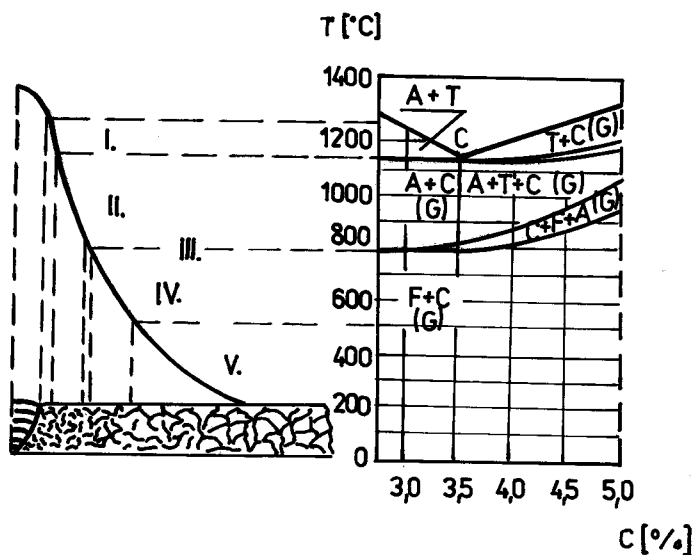
Pro výpočet množství tepla uvádí literatura /14/ tento vztah:

$$Q = \frac{U \cdot I \cdot t \cdot k}{1} = \frac{U \cdot I \cdot k}{v} \quad [\text{Jem}^{-1}] \quad (1)$$

Je-li třeba snížit množství dodané energie, musíme rovněž snížit svařovací proud i napětí a zvýšit rychlost svařování.

4. Obrobitelnost přechodu závisí na strukturním složení a vlastnostech tepelně ovlivněné oblasti. Poznatky o vlastnostech TOZ svarového spoje šedé litiny byly publikovány v literatuře /9/.

Zkouškami provedenými ve VÚZ Bratislava bylo zjištěno, že základní materiál se v těsné blízkosti průvaru ohřívá na teploty mezi likvidem a solidem. Metalografickým rozbořem bylo v TOZ rozlišeno 5 oblastí s odlišnou strukturou, jak naznačuje obr. 8.



Obr. 8 Schéma strukturních změn svar. spoje s 3 % hm.C a 2,5 % hm.Si

Jsou to tyto oblasti:

- I. Oblast částečného natavení
- II. Oblast austenitizace
- III. Oblast částečné překrytalizace
- IV. Oblast grafitizace a sferoidizace karbidů
- V. Oblast výchozí struktury

Značný teplotní spád způsobí, že teplota v oblasti III. dosahuje pouze 800 °C. Vysoká rychlost ohřevu zabráňuje transformaci perlitu na austenit. Pouze část perlitického cementitu se rozpustí - ve struktuře se vylučují ojedinělé útvary feritu. To znamená, že v oblasti III., IV., V. nedochází k podstatným strukturním přeměnám.

V oblasti I. a II. jsou strukturní změny výrazné.

Oblast I.

Litina podeutektického složení zde dosahuje teplot v rozmezí 1150 - 1250 °C (likvidus - solidus). Oblast se v průběhu svařování nachází v tuhém i kapalném stavu. Ze směsi tvořené produkty tuhé a kapalně fáze (austenit a tavenina) se při ochlazování počínaje eutektickou teplotou může vylučovat ledeburit = bílá litina. Vlivem difuze se však mění podmínky metastabilní rovnováhy na podmínky anizotermického rozpadu austenitu. Vysokou rychlostí ochlazování (desítky Ks^{-1}) se austenit transformuje bezdifuzní přeměnou na martenzit. Tím je nepříznivý vliv bílé litiny z části potlačen.

Oblast II.

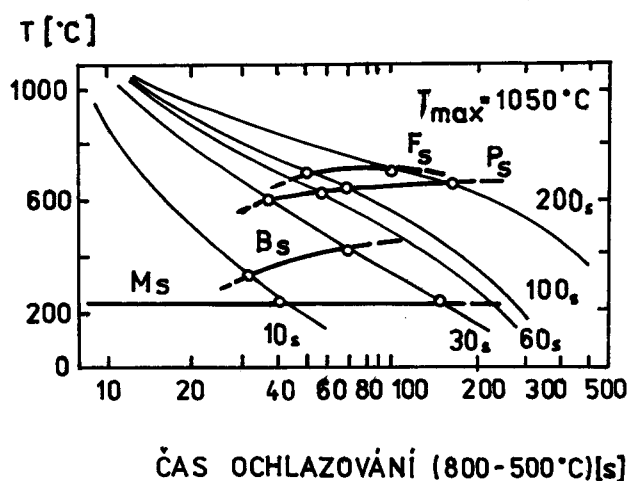
V této oblasti dochází k ohřevu na teplotu 800- 1150 °C. Austenit vzniká přednostně v oblastech eutektických buněk v místech s nejnižším obsahem křemíku (na hranicích perlitických kolonií). Rozpouštěním perlitického cementitu vzniká ferit. Nesouvislý růst austenitu je podporován difuzí křemíku z austenitu do feritu.

Vzniká členitá, zpočátku austeniticko-cementitická, později austeniticko-feritická struktura.

Ochlazováním nadkritickou rychlostí proběhne bezdifuzní přeměna austenitu na martenzit.

Literatura /9/ udává kritické rychlosti ochlazování pro vznik martenzitu v rozsahu $0,56 - 6 \text{ }^\circ\text{C s}^{-1}$. Náchylnost na tvorbu martenzitu je tím větší, čím je ve struktuře méně grafitu.

Na obr. 9 je pravděpodobný ARA diagram TOZ kořene svaru uvedený v literatuře /9/.



Obr. 9 Pravděpodobný ARA diagram TOZ

Diagram potvrzuje předcházející úvahy o strukturním složení. Čistě perlitické struktury lze dosáhnout až při čase ochlazování 60 s, což znamená v praxi předehřev na teplotu 200 - 300 °C.

Uvažujeme-li průměrnou ochlazovací rychlost v hodnotě 40 K s^{-1} , lze podle diagramu předpokládat v oblasti II. částečné vylučování perlitu, vznik bainitu a jeho transformaci na martenzit. Převládající složkou ve struktuře je martenzit.

Získané poznatky o průběhu strukturních přeměn jsem použil pro metalografický rozbor zkušebních návarů, které jsou součástí této diplomové práce.