

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 \varnothing 3,15 a E Castolin 2240 \varnothing 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

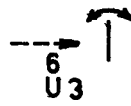

Jaroslav Horáček

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	[cms ⁻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 $400 - 600^\circ\text{C}$. Po svařování následovalo zejména u větších odlitků popouštění v peci na teplotu 600°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°C .

Pro způsob svařování plamenem za tepla se používá liti-
nová tyčinka G 701 společně s tavidlem TP 13. Zajišťuje řídi-
ce 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 převýší 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.

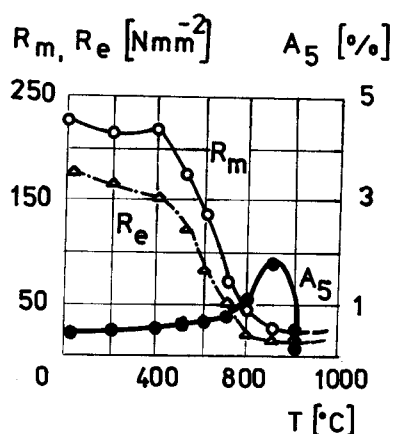
V zahraničních pramenech /13, 14/ jsou uvedeny pro tento druh litin zvláštní svařovací postupy.

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.

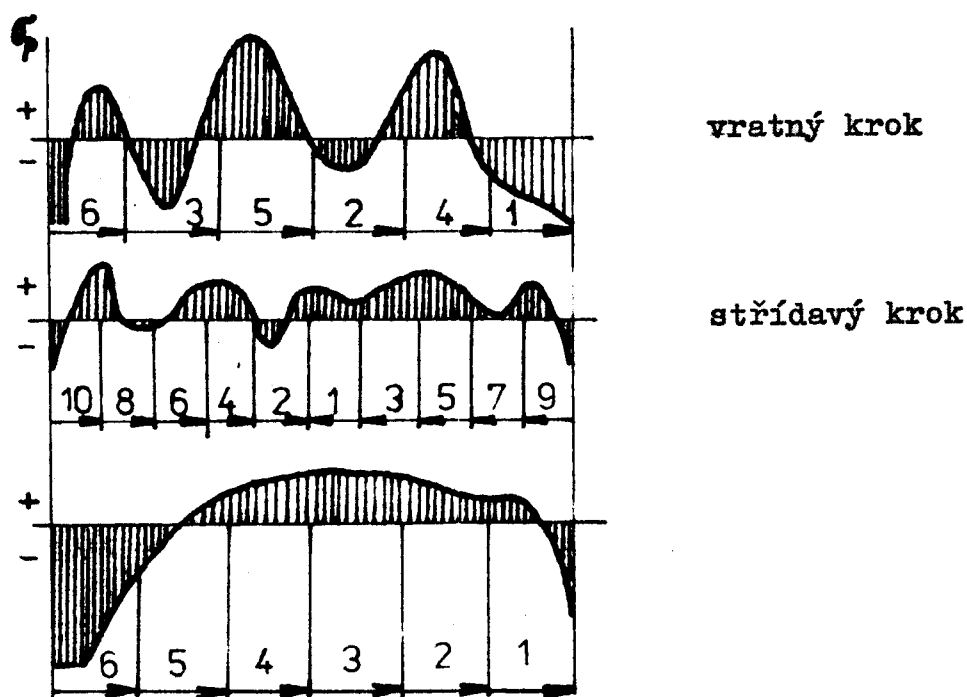
Z průběhu křivek lze konstatovat, že litina vykazuje zvýšenou plasticitu při vysokých teplotách. Proto tlaková pnutí vzniklá ohřevem litiny nemusí být ještě příčinou vzniku trhlin.

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

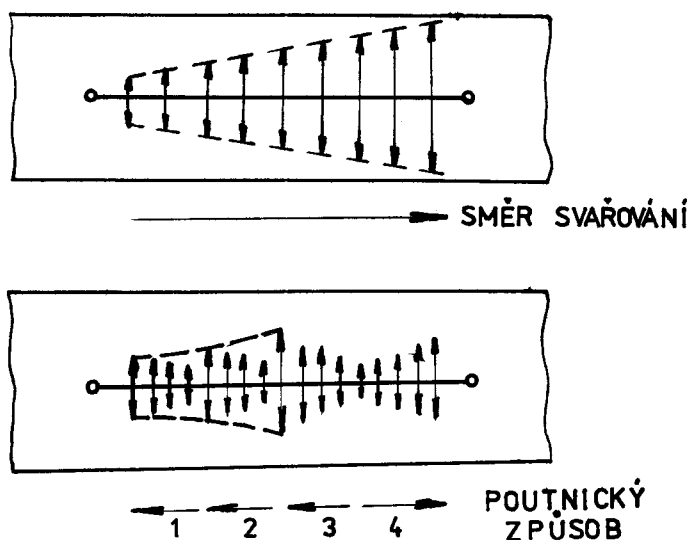
To lze uskutečnit pouze vnesením plastických deformací do svarového spoje. Pro dosažení optimálního efektu je žádoucí, aby k uvolnění napětí došlo dříve, než dojde k přeměně tlakových napětí na tahové. Z těchto poznatků vyplývá nutnost svary důkladně naklepat bezprostředně po navaření.

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).



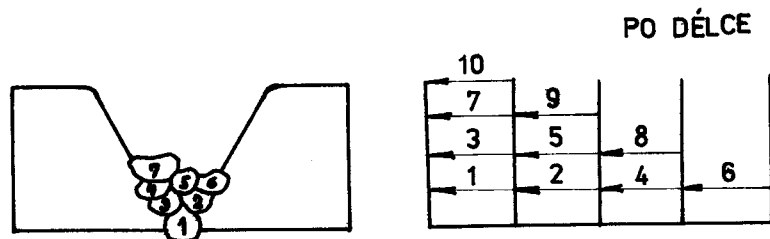
Obr. 2 Průběh příčných napětí při různých postupech svařování



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

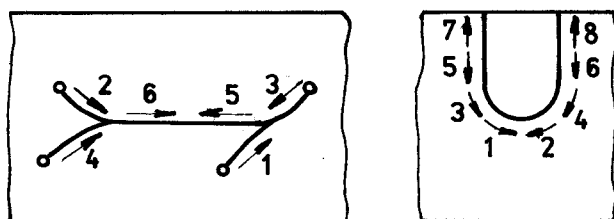
Průřezy větší tloušťky (více než 10 mm) se svařují vícevrstevnými spoji typu U, V. Vyplňování spoje (obr. 4) se provádí kladením jednotlivých vrstev příčnou metodou /6/.

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



Obr. 4 Způsob vyplňování svarového úkosu

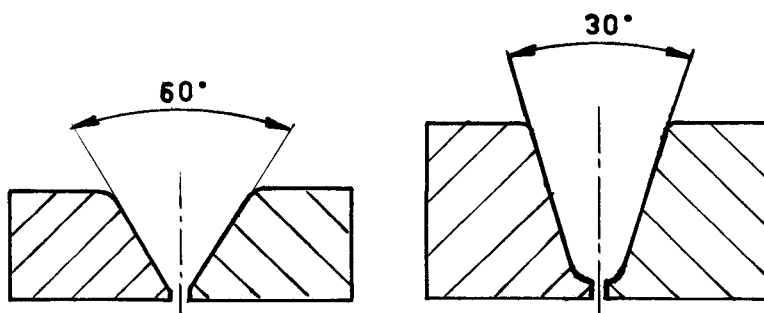
Trhliny v odlitcích se svařují vždy směrem k místu s nižší tuhostí. U rozvětvených trhlin se svaří nejdříve podružné trhliny, hlavní trhlina se svařuje jako poslední. Příklad opravy trhlin ukazuje obrázek 5 /6/.



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 svařitelnosti 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

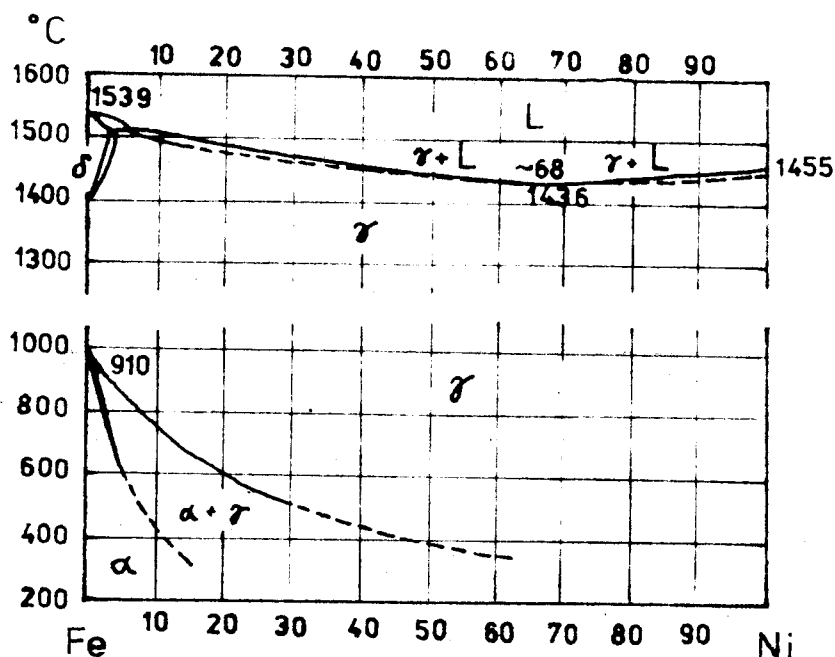
Na mechanickou pevnost spoje mají vliv především vlastnosti základního materiálu. O této problematice bylo pojednáno v kapitole 2.2.

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.

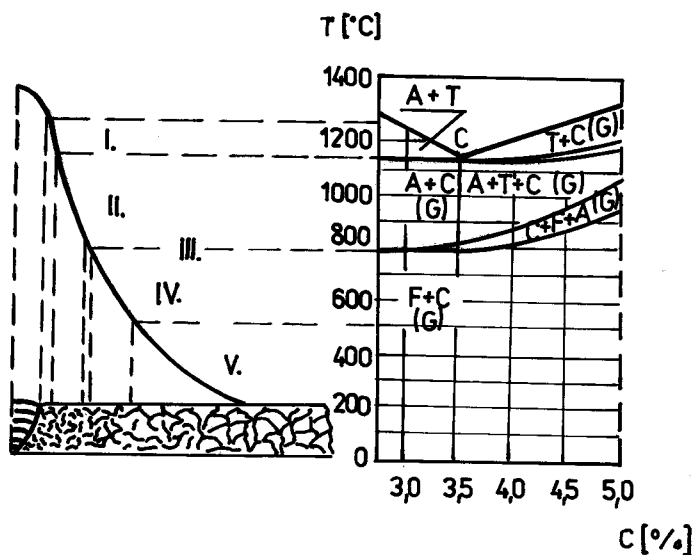
Pro výpočet množství tepla uvádí literatura /14/ tento vztah:

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

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 rozbohem 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.

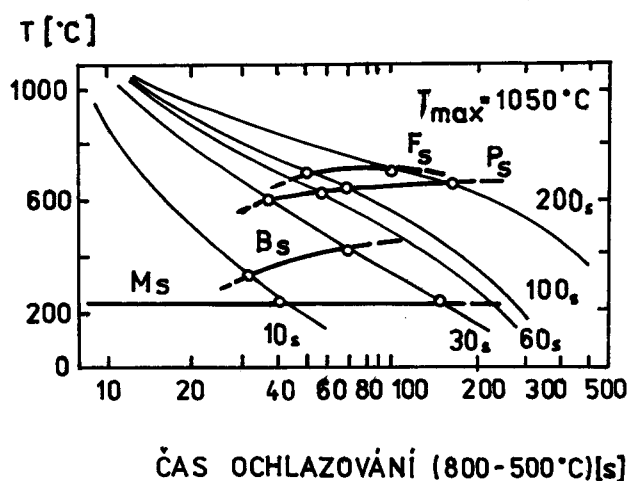
V této oblasti dochází k ohřevu na teplotu 800- 1150 °C. Austenit vzniká přednostně v oblastech eutektických buněk v místech s nejnižším obsahem křemíku (na hranicích perlitických kolonií). Rozpouštěním perlitického cementitu vzniká ferit. Nesouvislý růst austenitu je podporován difuzí křemíku z austenitu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

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 ZÁKLADNÍ MATERIÁL

Návary byly provedeny na nelegované šedé litině s vyloučeným lamelárním grafitem.

Směrné chemické složení:

Prvek	C	Mn	Si	P	S
Obsah v objem. %	3,370	0,590	2,140	0,146	0,120

Tabulka 1

Kritéria klasifikace litiny podle /1/

uhlíkový ekvivalent

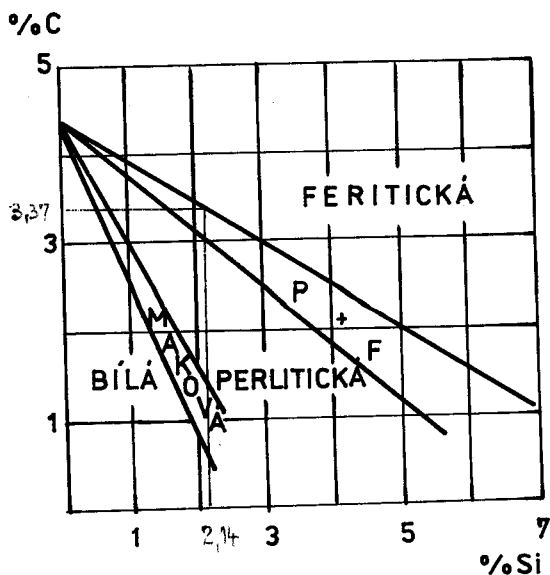
$$C_e = 3,370 + 0,312 \cdot 2,140 + 0,275 \cdot 0,146 = 4,078$$

stupeň eutektičnosti

$$S_c = \frac{3,370}{4,23 - 0,312 \cdot 2,14 - 0,275 \cdot 0,146} = 0,957$$

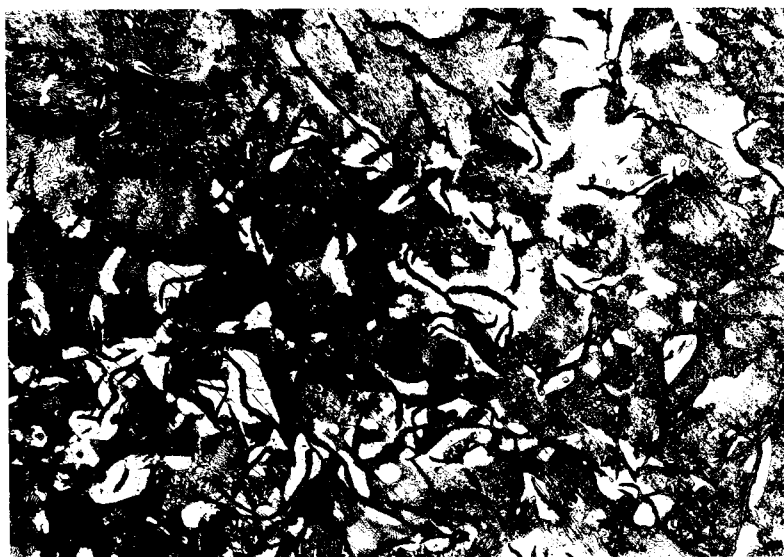
Obě tato kritéria naznačují, že posuzovaná litina je podeutektická.

Na obr. 10 je Maurerův diagram s vyznačeným obsahem prvků použitého základního materiálu. Vzhledem k tomu, že v tomto diagramu není zahrnut vliv ostatních přísadových prvků, je možné považovat základní hmotu šedé litiny za perliticko-feritickou s převládajícím obsahem perlitu.



Tento předpoklad byl potvrzen studiem mikrostruktury šedé litiny po naleptání Nitalem. Základní kovová matrice je perlitická s malým množstvím vyloučeného feritu. V některých místech sledovaných struktur byl prokázán zvýšený obsah feritu (až 20 %). Tento stav odpovídá podmínkám odlévání litiny do pískových forem.

Obr. 10 Maurerův diagram podle /2/



Obr. 11 Základní materiál Nital (200 x)

Na obr. 11 je fotografie průměrné struktury šedé litiny použité ke zkouškám z místa maximálního obsahu feritu. Vyloučený grafit je lístkový, rovnoměrně rozložený. Maximální délka grafitických vyloučenin dosahuje 150 μ m. V rozsahu pozorovaných struktur nebyl nikde nalezen sklon k tvorbě hnízd nebo přechlazených grafitických vyloučenin.

Vyloučeniny steaditu jsou vzhledem k poměrně nízkému obsahu fosforu ve struktuře pouze ojedinělé. Množství sirníků zjištěných ve struktuře je mimořádně nízké. Hodnocení struktury bylo provedeno v souladu s ČSN 42 0461.

3.2 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ

3.2.1 Složení svar. kovu a vlastnosti elektrod

Údaje v následujících tabulkách 2, 3 byly zjištěny z literatury /12/ a podle údajů získaných v servisu CASTOLIN Praha.

Elektroda	Prvek	Chem. slož. - [%]	Rm	Svar.kov		Svař. proud [A]	Zapojení
				A ₅	HV 30		
	Ni	92,0	240		min. 180	Ø 2,5:40-60	
<u>E-S 723</u>	Mn	2,0	350	4 %		Ø 3,15:70-100	= (+)
	Fe	3,0				(90-130)	

Tabulka 2 Údaje v závorce jsou uvedeny ve starším katalogu ŽAZ Vamberk

Elektroda	Prvek	Chem. slož. - [%]	Rm	Svar.kov		Svař. proud [A]	Zapojení
				A ₅	HV 30		
	C	0,1 - 0,2					
	Si	0,1 - 0,25				Ø 3,2 :	
<u>CASTOLIN</u>	Mn	0,1 - 0,2	400	17	160	minimální promíšení	= (-)
<u>XUPER 2240</u>	Fe	1,0 - 1,5	- 450	- 26	-180	90 - 100	(~)
	P	max. 0,01				max. svař. rychlost	
	S	max. 0,02				110 - 120	
	Ni	97,9 - 98,7					

Tabulka 3

Vlastnosti elektrod a jejich použití

E - S 723:

Výrobce doporučuje použití elektrody pro svařování v poloze vodorovné shora (A 1) dle ČSN 05 0024. Použité elektrody v ostatních polohách se neudává. Elektrodu je nutné důkladně přesušit v peci dle ČSN. Zvláštní pozornost je třeba věnovat čistotě svarových ploch. Délka návarů nemá překročit 3 cm v závislosti na tloušťce svarku, šířka návaru by neměla být větší než 3 x průměr jádra elektrody. Pro snížení napětí ve struktuře základního materiálu se doporučuje příčná metoda kladení housenek. Po ukončení svařování je třeba návar ihned důkladně naklepat /12/.

CASTOLIN - 2240:

Výrobce udává velmi dobrou svařitelnost v každé poloze. Zaručuje vysokou pevnost svarového spoje a odolnost proti vzniku trhlin. Šířka přechodového pásma je zúžena na minimum, z čehož vyplývá velmi dobrá opracovatelnost svarového spoje. Svařuje se obloukem o střední délce (= průměru elektrody). Elektrodu je třeba vést svisle, kolmo ke svarové ploše.

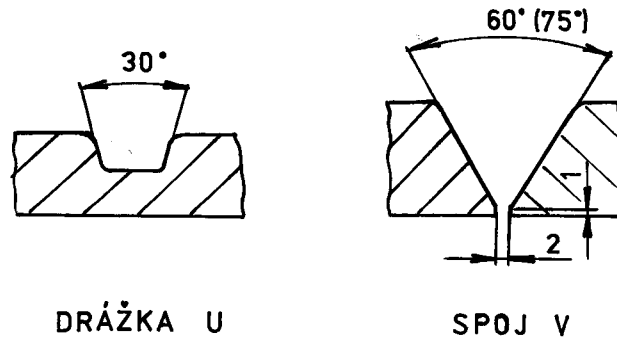
3.2.2 Příprava svarových ploch

Základní materiál byl získán rozřezáním bloku automobilového motoru na desky různé tloušťky. Pro ověření vlastností elektrod bylo rozhodnuto provést návary v poloze A2 do drážky U a spoje typu V.

Příprava svarových ploch byla provedena broušením (stolní a ruční bruska).

Rozměry svarových ploch jsou uvedeny na obrázku 12.

Pro omezení odvodu tepla při svařování byly hrany všech úkosů otupeny na radius 0,5 mm.



Obr. 12 Rozměry svarových ploch

Plochy byly připraveny pro svařování po následném očištění ocelovým kartáčem.

Při přípravě svarových ploch nebyly zjištěny žádné známky vnitřních necelistvostí základního materiálu.

3.2.3 Svařovací a měřicí aparatura

Pro svařování byl použit rotační stejnosměrný zdroj TRIODYN K - 320.

Měřicí aparatura se skládá z těchto přístrojů:

Ampérmetr - typ ML 20
rozsah 0 - 150 A
výrobce - Metra Blansko

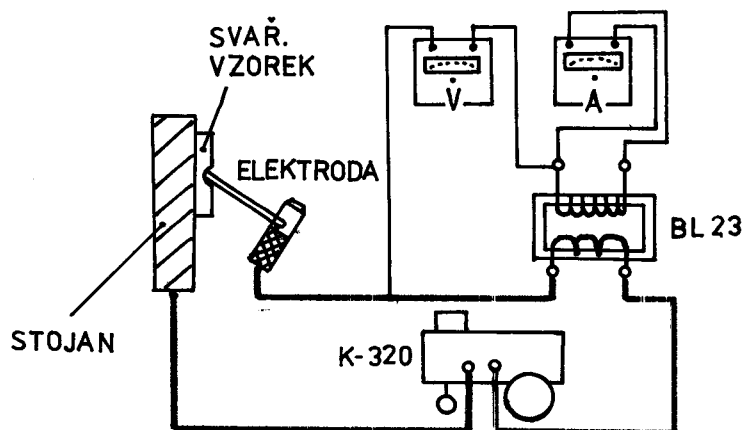
Voltmetr - typ ML 20
rozsah 1,5 - 700 V
výrobce - Metra Blansko

Proudový bočník BL 23.

Kontrola měřicích přístrojů byla provedena dotykovou zkouškou.

Do proudového obvodu zdroj - elektroda byl připojen proudový bočník BL 23 a přes něj ampérmetr a voltmetr.

Na těchto měřicích přístrojích byly odečítány hodnoty svařovacího proudu a napětí. Schéma aparatury je na obr. 13.



Obr. 13 Schéma zapojení aparatury

Vzhledem k vysoké citlivosti nebylo možné nastavit svařovací proud pomocí stupnice regulátoru svářečky. Ukázalo se jako velmi výhodné, provést nastavení pomocí závislosti napětí naprázdno U_0 na svařovacím proudu. Tato závislost byla zjištěna pro každou elektrodu zvlášť před vlastním navařením zkušebních vzorků. Pro požadovaný svařovací proud jsme odečetli z grafu příslušnou hodnotu U_0 a tu jsme nastavili na voltmetru.

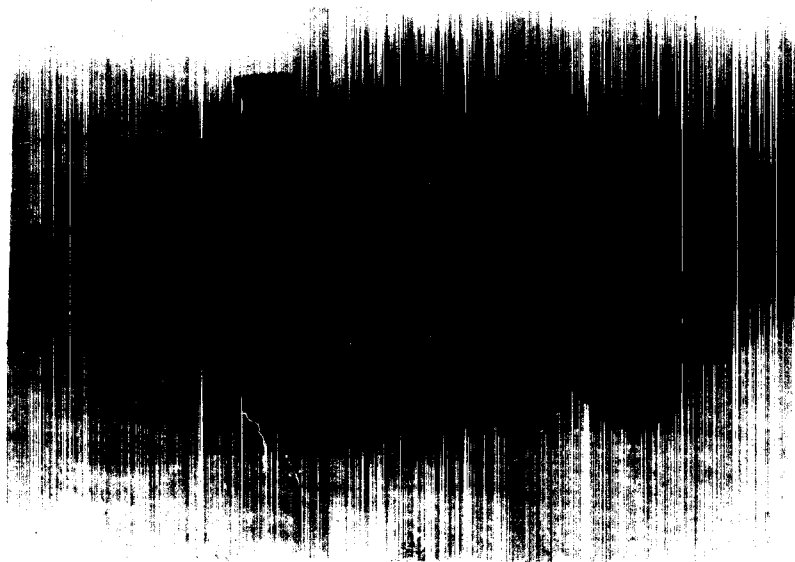
Z porovnání vy značených závislostí vyplývá velký rozdíl v hodnotách U_0 pro stejný svařovací proud. Např. pro svařovací proud = 100 A je třeba nastavit u elektrody CASTOLIN $U_0 = 82$ V a u elektrody E - S 723 $U_0 = 48,5$ V na stejném proudovém rozsahu regulátoru.

Přesné a rychlé nastavení U_0 a tím i svařovacího proudu usnadnilo práci svářeči a mělo příznivý vliv na kvalitu svarů, i když ta závisí ještě na dalších podmínkách svařování (na délce oblouku apod.).

Vzhledem k malému rozptylu naměřených hodnot lze uvažovat průběh závislostí jako přímkový.

3.2.4 Technologický postup svařování

Pro účel svařování na svislé stěně (poloha A 2) byl zhotoven opěrný stojan umožňující důkladné naklepání svaru. Svařovaná součást byla upínána na stojan dvěma způsoby. Pro úkosy tvaru U bylo použito volné upnutí. Pro malou hloubku drážky se nepředpokládaly podstatnější úhlové deformace. Návary byly provedeny bez naklepání. Spoje typu V byly upínány na tuho, vzhledem k pouhému sestehování svařovaných částí. Volným upnutím by došlo k nežádoucímu úhlovému smrštění. Fotografie makrostruktury na obr. 14 tento fakt potvrzuje.



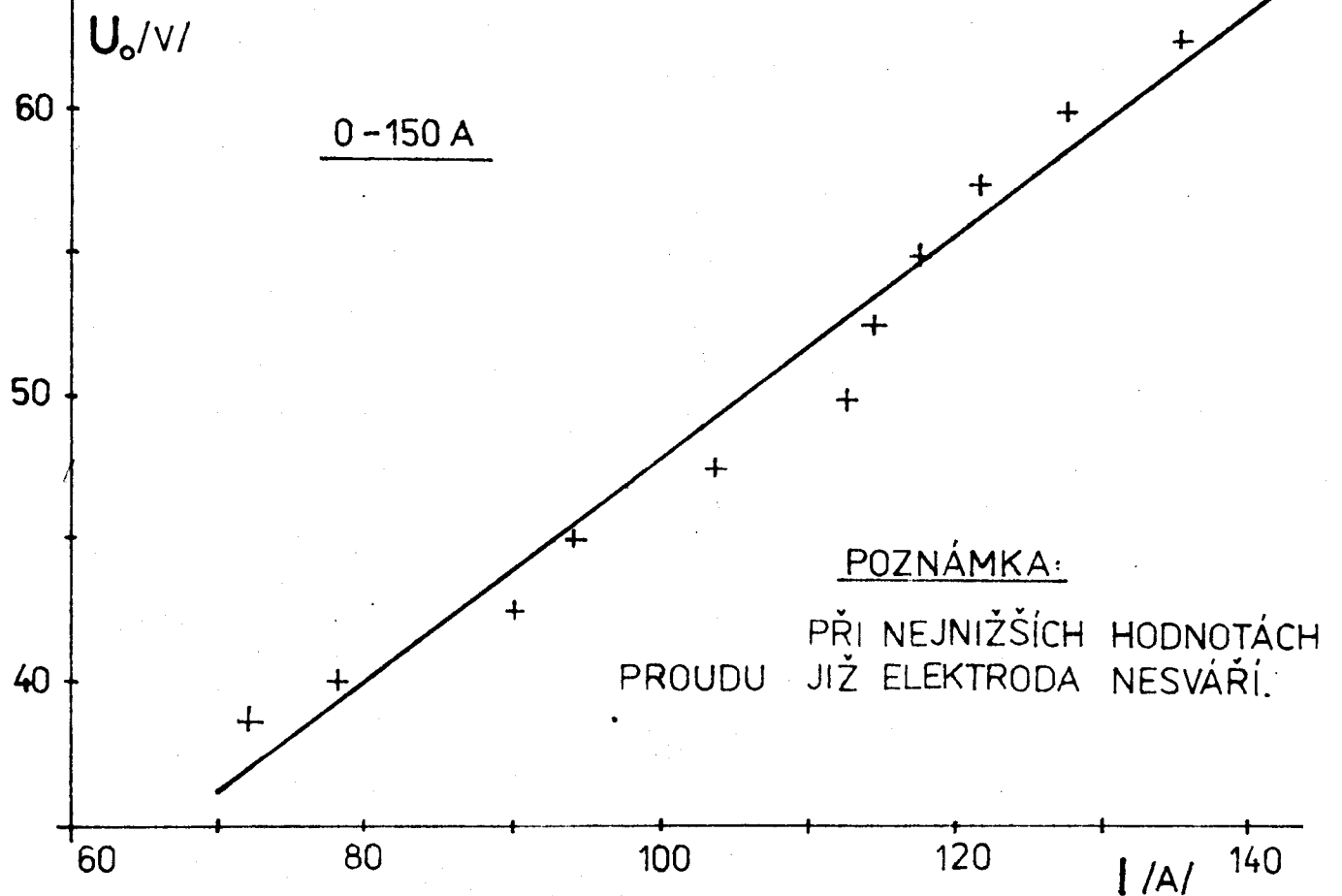
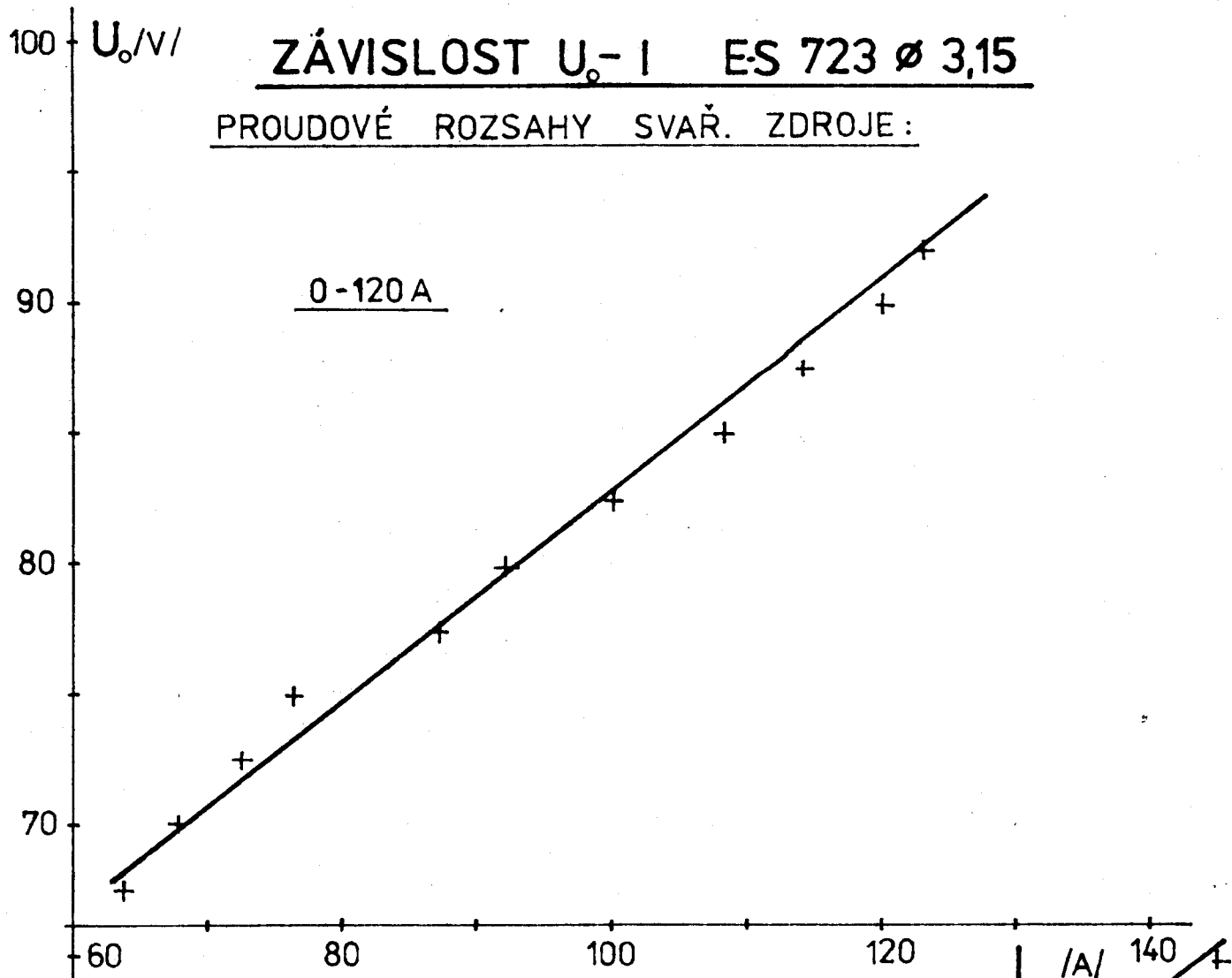
Obr. 14 Úhlové smrštění svarku při volném upnutí

Návary byly ihned po skončení svařování důkladně proklovány.

Schematické znázornění opěrného stojanu a způsobů upínání je na obr. 15 a 16.

ZÁVISLOST $U_0 - I$ ES 723 \varnothing 3,15

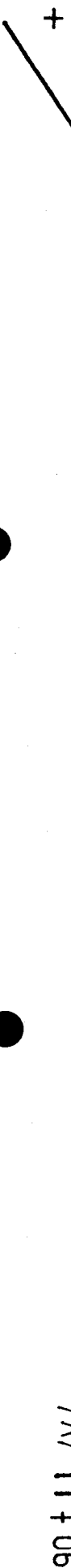
PROUDOVÉ ROZSAHY SVAŘ. ZDROJE:



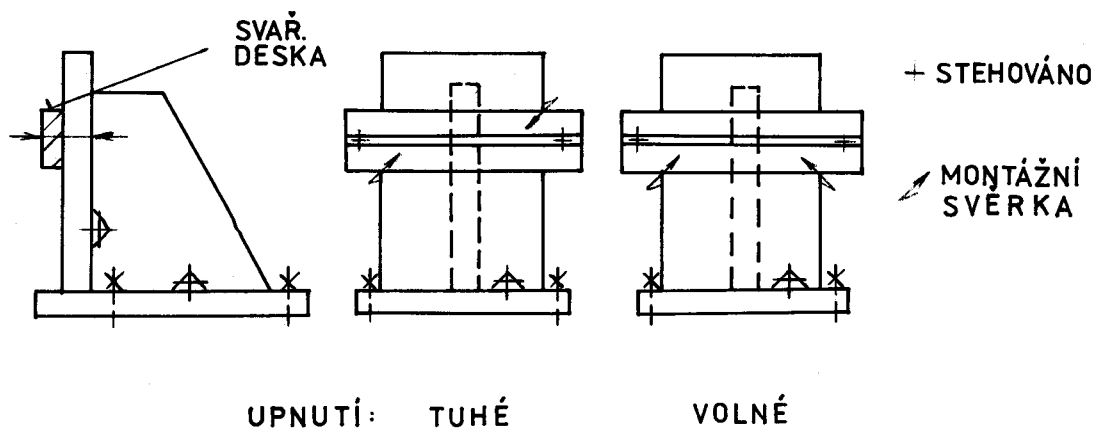
90 + U_0 / V

CASTOLIN - 22 40 Ø 3,2

0 - 150 A



80 90 100 110 120 130



Obr. 15 Opěrný stojan

Obr. 16 Způsoby upnutí součásti

Elektroda byla vedena plynule, kolmo k svařované desce. V úkosu typu V lze doporučit počáteční vychýlení elektrody 60° pro dosažení kvalitního svařového spoje na vrchní ploše úkosu.

Počáteční vrstvy návarů nebyly prokovány. Délka provedených svarů většinou nepřesahuje 30 mm. Na jedné zkušební desce byly navařeny průměrně dva svary.

Použitím střídavého kroku se částečně omezila velikost pnutí. Vyskytl-li se návar se zvýšenou pórovitostí, byl o provedeno jeho částečné odbroušení.

Hotový svar byl po vychladnutí rozříznut na strojní pile a předběžně přebroušen na dílenské brusce.

3.2.5 Příprava a rozbor metalografického výbrusu

Po následujícím broušení na metalografických papírech byly vzorky přešetřeny leštídem Ferogen. Pro zviditelnění a rozlišení jednotlivých strukturních složek byly výbrusy leptány v 1 % Nitalu.

Svarový kov obou elektrod obsahuje téměř čistý nikl. Jeho strukturu nelze Nitalem naleptat. Použil jsem leptadla Rollason, běžně užívaného na niklové oceli, o složení 5 g FeCl_3 , 50 ml HCl , 100 ml H_2O .

Bezprostředně po naleptání byly struktury návarů podrobeny metalografickému pozorování na mikroskopu Neophot 2. Fotografie mikrostruktur byly pořízeny při dvěstěnásobném zvětšení; čas expozice = 4 s.

Rozbor makrostruktury byl proveden na základě pozorování na stereomikroskopu Zeiss Technival při desetinásobném zvětšení.

Průběhy tvrdosti byly zjištěny v linii procházející svarovým kovem, přechodovým pásmem i neovlivněným základním materiálem. Měření bylo provedeno dle ČSN 05 1313 na mikrotvrdoměru PMT - 3.

Vzhledem k značným rozdílům v tvrdosti svarového kovu a základního materiálu jsem zvolil zátěžnou sílu o velikosti 9,81 N (tvrdost HV 1).

Výsledky provedených měření tvrdosti jsou zpracovány v následující kapitole.

3.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

3.3.1 Základní parametry svařování

ELEKTRODA CASTOLIN XUPER 2240 - průměr 3,2 mm

Poř. č.	Poloha	Úkos	H [mm]	z	I [A]	U [V]	t [s]	l [cm]	v [cm ^s ⁻¹]	Q [Jcm ⁻¹]	Poznámka
1	A 1	6 U 3	7	1	95	13	10	2,2	0,22	0,56.10 ⁴	přeruš. oblouk
2	A 2	nad sebou	14	3	117 120 117	18 15 18	12 11 9	3,0	0,25 0,27 0,33	2,13.10 ⁴	
3	A 2	10 U 3	12	2	120 120	15 15	14 10	2,6	0,19 0,26	1,66.10 ⁴	
4	A 2	9 U 2	10	2	120 120	15 15	12 13	2,5	0,21 0,19	1,8.10 ⁴	1. návar ↑
5	A 2	60° V	11	2	95 97	15 15	16 17	3,7	0,23 0,22	1,28.10 ⁴	T
6	A 2	60° V	11	2	100 102	14 14	16 18	3,5	0,22 0,19	1,38.10 ⁴	T

pokračování

ELEKTRODA E - S 723 - průměr 3,15 (2,5 mm)

7	A 1	/	8	1	105	23	9	3,0	0,33	0,72.10 ⁴	
8	A 2	nad sebou	9	2	110 110	22	10	3,5	0,35	1,38.10 ⁴	
9	A 2	10 U 3	9	2	115 108	18 20	17 13	2,6	0,15 0,2	2,43.10 ⁴	
10	A 2	60° V	12	1	110	22	11	2,4	0,22	1,11.10 ⁴	T, P
11	A 2	V	12	1	115	17	13	2,4	0,19	1,05.10 ⁴	T, P
12	A 2	V	12	1	120	20	13	2,4	0,19	1,29.10 ⁴	T, P
13	A 2	V	12	1	125	20	15	3,0	0,2	1,25.10 ⁴	T, trhlina v kořeni
14	A 2	V 75°	12	1	129	19	8	2,0	0,25	0,98.10 ⁴	T, neprovař. kořen
15	A 2	V 75°	14	9	115	19	10	3,0	0,3	6,85.10 ⁴	T
16	A 2 Ø 2,5	V	15	12	82	17	14	3,0	0,21	8,17.10 ⁴	T max. vychý- lení elektrody

Tabulka 4

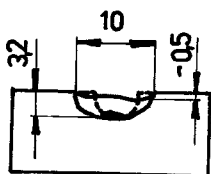
Rozměry v místě příčného řezu návaru (délka návaru, převýšení, hloubka závaru) byly zjišťovány posuvným měřítkem. Čas svařování byl měřen stopkami.

Množství tepla bylo vypočteno dle vzorce (1). V poznámce jsou uvedeny nejdůležitější údaje charakterizující provedený návar.

3.3.2 Metalografický rozbor

Návary provedené elektrodou CASTOLIN - 2240

Návar č. 1



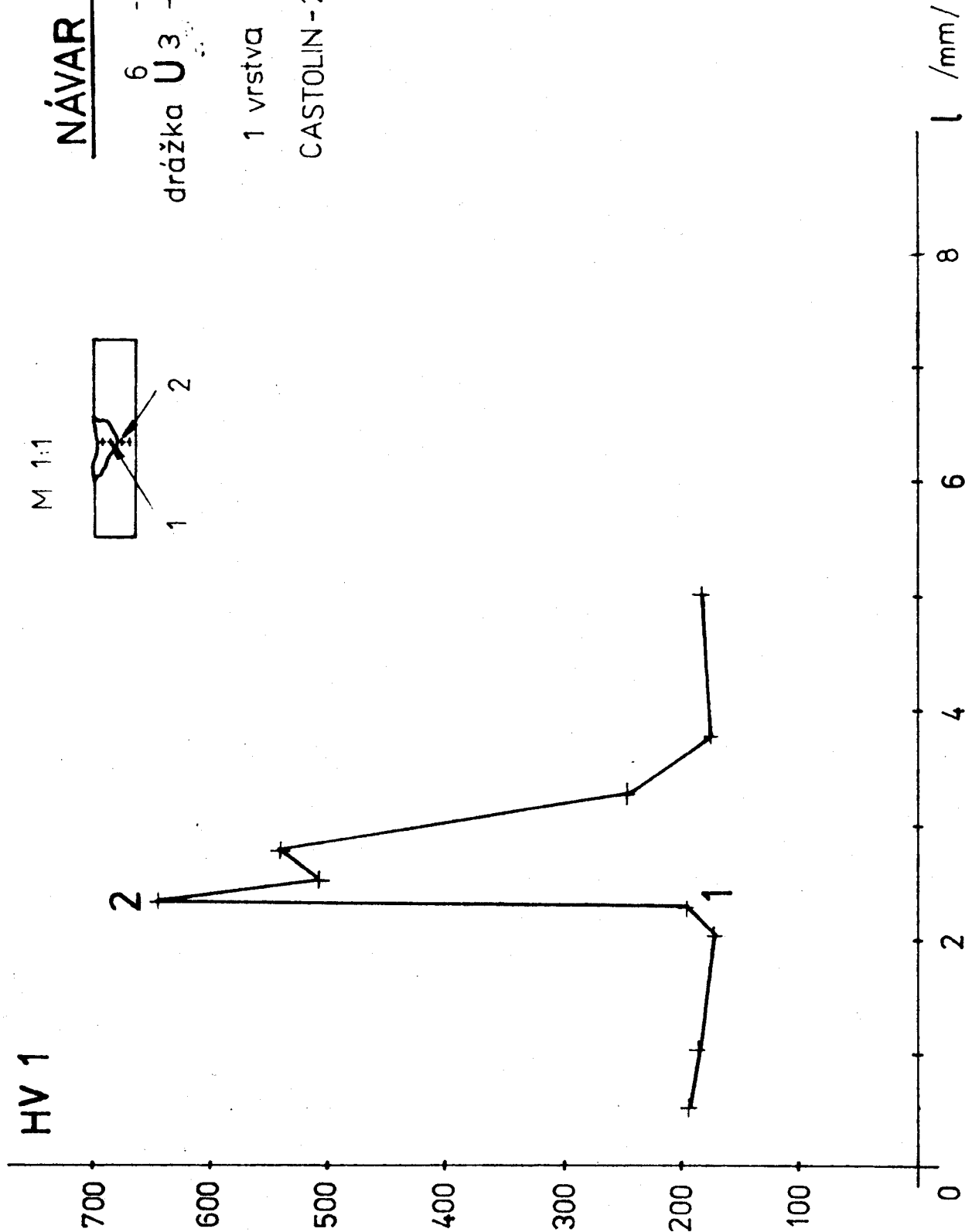
H [mm]	z	I [A]	Q [μcm^1]
7	1	95	$0,56 \cdot 10^4$

Návar byl proveden v poloze A 1 do drážky U o šířce 6 mm a hloubce 3 mm. Rozbor makrostruktury v místě řezu prokázal mírné prohloubení povrchu svaru. V kořeni svaru se vyskytuje studený spoj o délce 2 mm a šířce 0,3 mm. Svarový kov nevykazuje žádné vnitřní necelistvosti.

Rozbor makrostruktury

Hloubka difuzního ovlivnění základního materiálu svarovým kovem je malá a dosahuje průměrné tloušťky $25 \mu\text{m}$. Tloušťka tepelně ovlivněné oblasti je 1,5 mm. Struktura základního materiálu je v blízkosti svar. kovu tvořena původními vyloučeninami lupínkového grafitu a jehlicovitým středně hrubozrnným martenzitem. Vysoký podíl základních struktur potvrzuje tvrdost 650 HV naměřená na hranici ztavení a tvrdosti přesahující 500 HV zjištěné ve vzdálenosti 0,75 mm od této hranice. S rostoucí vzdáleností od průvaru se hrubost martenzitu snižuje. Původní stav struktury šedé litiny byl potvrzen v hloubce 3 mm od průvaru.

HV 1



M 1:1



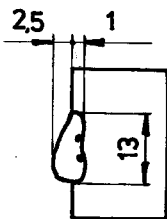
NÁVAR 1

6 - šířka
drážka Ú3 - hloubka

1 vrstva

CASTOLIN-2240

Návar č. 2



H [mm]	z	I [A]	Q [Jcm ⁻¹]
14	3	117 120	2,13·10 ⁴

Návar je třívrstvý, provedený na svislé stěně bez úkosu. Rozhraní tří vrstev návaru je dobře znatelné. Okraje svaru prokazují dobrou smáčivost svarového kovu s povrchem šedé litiny. Ve styku svarového kovu se základním materiálem jsou patrné ojedinělé bubliny o velikosti 0,3 mm. Kromě toho svarový kov nevykazuje žádné jiné vady nebo necelistvosti.

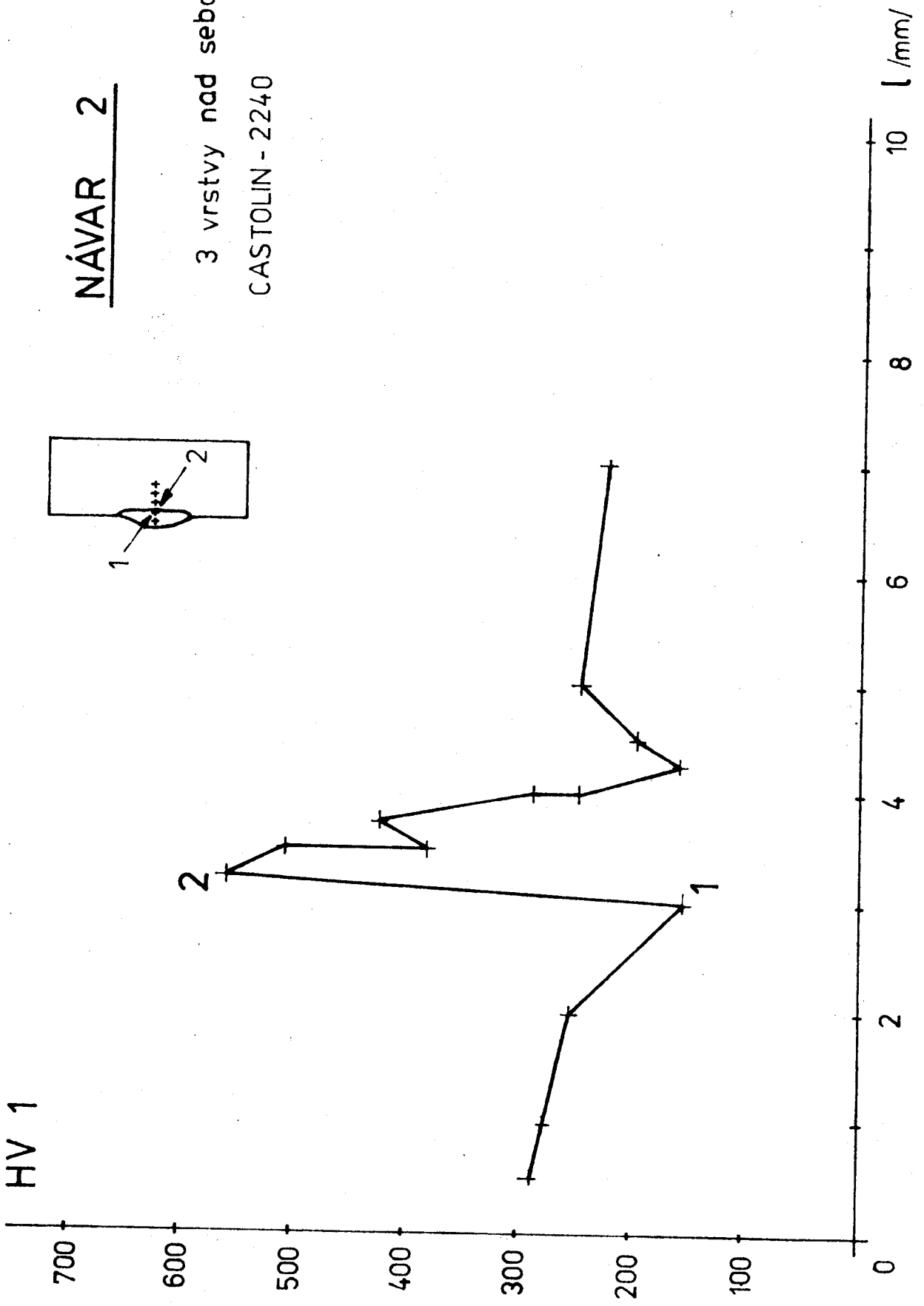
Rozbor mikrostruktury

Vrstvy byly navařovány s maximálním svařovacím proudem dle rozsahu udávaného výrobcem. Hloubka difuze pronikajícího svarového kovu se podél přechodu mění. Maximálních hodnot (50 - 100 μm) dosahuje v kořeni svaru. Jsou zde znatelné známky počátečního natavení projevující se začínající tvorbou dendritů metastabilního eutektika. V rámci pozorovaných struktur zde nebyly zjištěny vnitřní necelistvosti ani vyloučené nečistoty. Ve struktuře základního materiálu se vyskytují shluky martenzitu, což svědčí o sníženém odtavení siričků a vměstků. Známky tvořícího se ledeburitu nebyly v oblasti austenitizace zjištěny. Na obr.17 je fotografie mikrostruktury přechodové oblasti. Původní struktura základního materiálu byla potvrzena měřením tvrdosti v hloubce 2 - 3 mm od hranice ztavení.



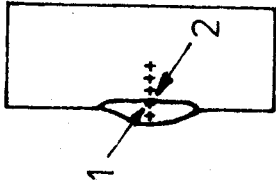
Obr.17 Přechodové pásmo Nital (200 x)

HV 1

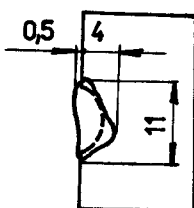


NÁVAR 2

3 vrstvy nad sebou
CASTOLIN - 2240



Návar č. 3



H [mm]	z	I [A]	Q [Jcm ⁻¹]
12	2	120	1,66 · 10 ⁴

Návar je dvojvrstvý, provedený na svislé stěně do drážky U šířky 10 a hloubky 3 mm. Oblouk elektrody hořel plynule, povrch svaru je hladký, bez pórů. V příčném řezu svaru nebyly zjištěny žádné chyby svarového spoje klasifikované ČSN 05 0005.

Rozbor mikrostruktury

Struktura tepelně ovlivněné oblasti je tvořena převážně martenzitem a původními grafitickými vyloučeninami.

V oblasti průvaru 1. vrstvy se projevuje vliv tepelného působení svarovým kovem následující vrstvy. Struktura této oblasti je hrubozrnnější.

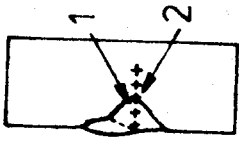
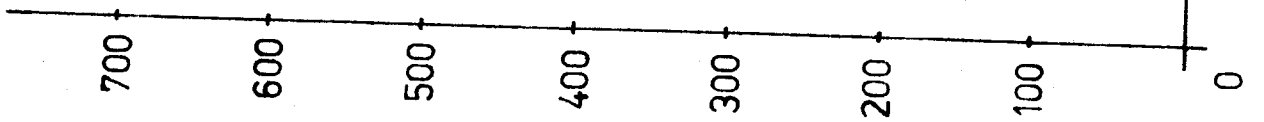
Na obr. 18 je fotografie mikrostruktury z okolí průvaru 1. vrstvy.

Vzhledem k nízké tvrdosti strukturních složek lze přechod klasifikovat jako dobře obrobitelný.



Obr. 18 Přechodové pásmo Nital (200 x)

HV 1



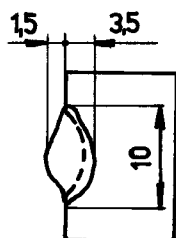
NÁVAR 3

¹⁰
U3

2 vrstvy

CASTOLIN - 2240

l /mm/



H [mm]	z	I [A]	Q [Jcm ⁻¹]
10	2	120	1,8 · 10 ⁴

Vzhledem k pozitivním výsledkům rozboru předchozího návaru bylo svařování provedeno stejnými parametry do drážky šířky 9 a hloubky 2 mm. Pro posouzení vlivu techniky svařování s rozjížděním a kýváním elektrody byla první vrstva navařena tímto způsobem. Bylo konstatováno, že návar provedený tímto způsobem vykazuje zvýšenou pórovitost. Po jeho částečném obroušení byla navařena druhá vrstva bez rozjíždění.

Rozborem makrostruktury byla zjištěna značná hloubka závaru (1,5 mm). Rozhraní obou vrstev je dobře znatelné. Svarový kov nejeví žádné známky vad.

Rozbor mikrostruktury

Prokázal značnou hloubku difuzního ovlivnění základního materiálu (50 - 200 μm). Ve styku svarový kov - zákl. materiál byl identifikován tuhý roztok niklu. Tepelně ovlivněná oblast dále obsahuje značné množství jemně vyloučeného martenzitu a troostitu v základní perlitické matici. Ve struktuře lze pozorovat i ojedinělé vyloučeniny feritu. Na obr. 19 je fotografie mikrostruktury z oblasti 1. vrstvy.

Provedené měření tvrdosti potvrzuje obrobitelnost spoje. V krajních oblastech návaru dosahuje tvrdost přechodu podstatně nižších hodnot než v podhousenkové oblasti.

Obr. 19 Přechod SK-ZM
Nital 200 x

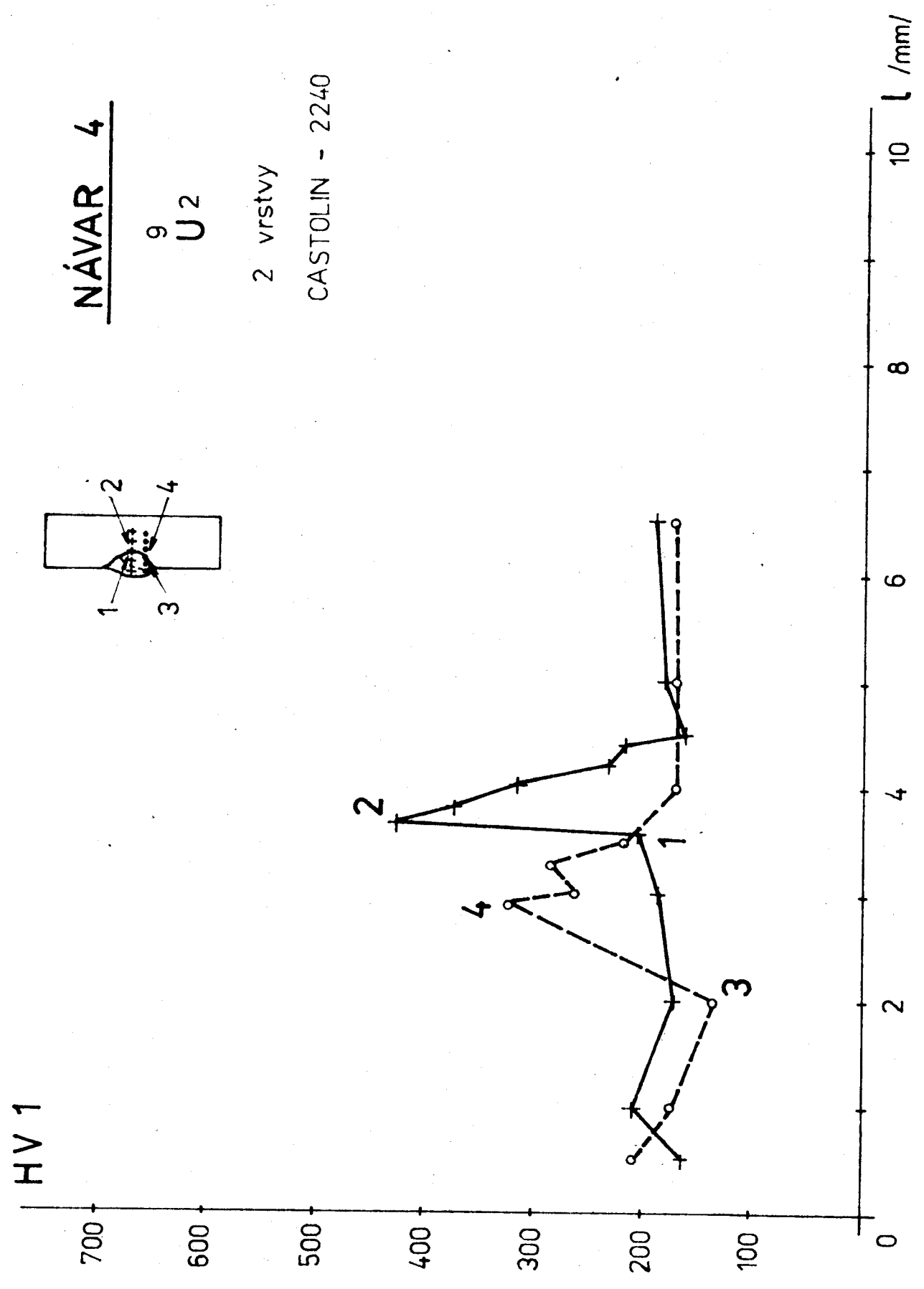
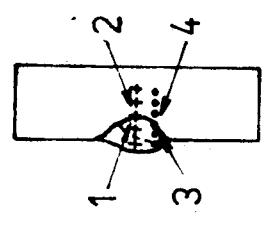


NÁVAR 4

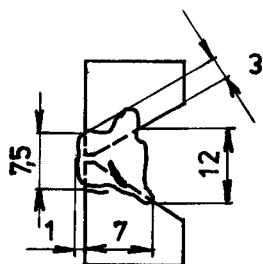
⁹U₂

2 vrstvy

CASTOLIN - 2240

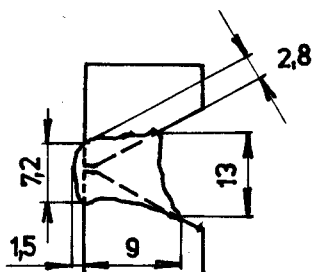


Návar č. 5



H [mm]	z	I [A]	Q [J cm ⁻¹]
11	2	95 97	1,28 · 10 ⁴

Návar č. 6



H [mm]	z	I [A]	Q [J cm ⁻¹]
11	2	100 102	1,38 · 10 ⁴

Návary jsou provedeny do drážky tvaru "V" s vrcholovým úhlem 60°. Rozbor makrostruktury prokázal velkou hloubku závaru (3 mm). Šířka kořene dosahuje 7 mm.

Návar č. 5

V horní svarové ploše úkosu došlo při maximálním vychýlení elektrody k vypálení dutiny. V místě řezu se vyskytuje ve svarovém kovu pór o délce 1,8 mm a šířce 1 mm.

V tepelně ovlivněné oblasti kořene svaru byla pozorována trhlinka o délce 3 mm.

Návar č. 6

Příčný řez nevykazuje žádné známky vnitřních necelistvostí.

Rozbor mikrostruktury

Potvrdil vysoký obsah zákalných struktur v přechodovém pásmu kořene svaru. Vliv difuze je velmi malý. Rozbor prokázal značné rozdíly tvrdosti mezi spodní a vrchní svarovou plochou. Struktura je tvořena jemnozrnným martenzitem. V blízkosti průvaru se vyskytují lamely zbytkového austenitu.

Na obr. 20 je fotografie mikrostruktury z oblasti kořene návaru č. 6.



Obr. 20 Přejchod v kořeni svaru, Nital (200 x)

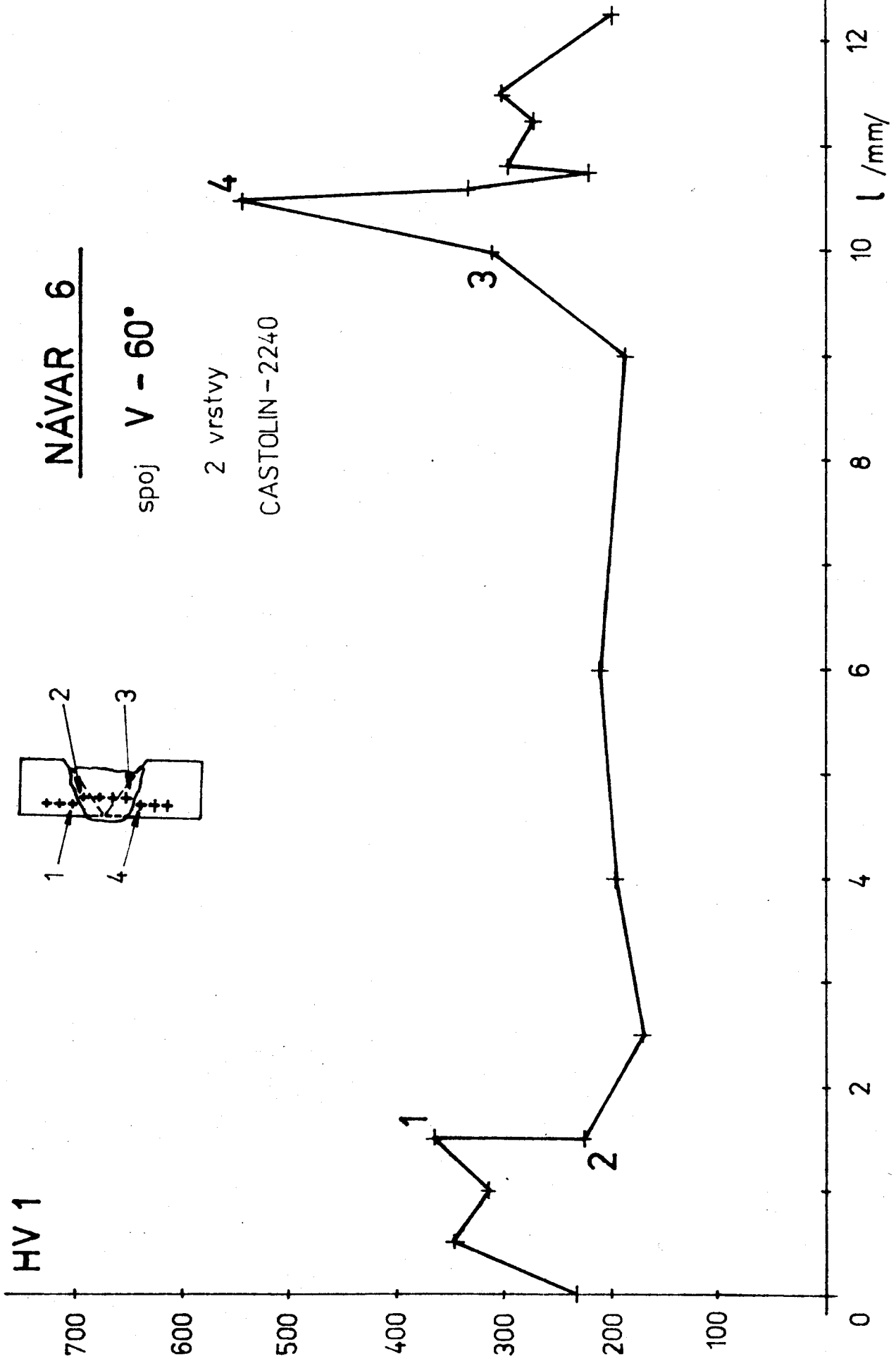
Rozbor svarového kovu

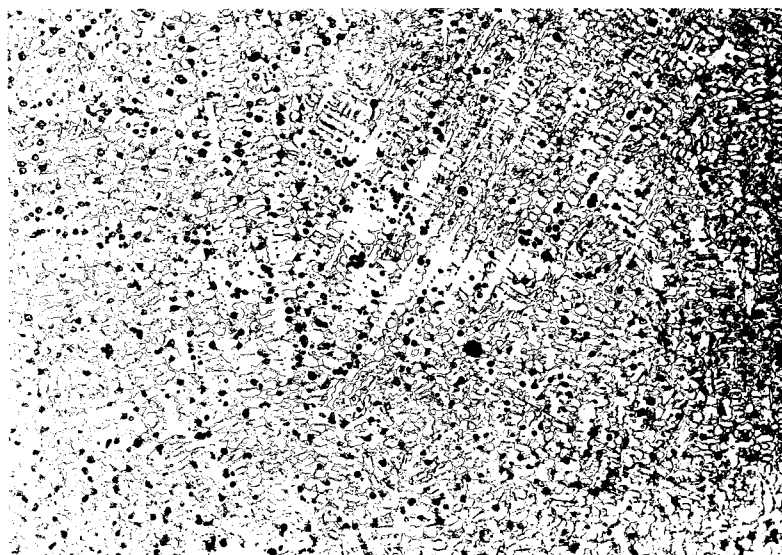
Struktura svarového kovu obou elektrod je tvořena základním tuhým roztokem a mezidendriticky vyloučeným uhlikovým eutektikem. Dendrity tuhého roztoku jsou středně hrubozrné, soustředěné v liniích kolmých k povrchu svaru. Krystalizace probíhá přednostně ve směru největšího ochlazování svarového kovu. V blízkosti základního materiálu se struktura svarového kovu zjemňuje a mizí směrové uspořádání dendritů. Tvorba globulárního eutektika přispívá k dobrým mechanickým vlastnostem.

Na obr. 21 je fotografie mikrostruktury svarového kovu elektrody Castolin.

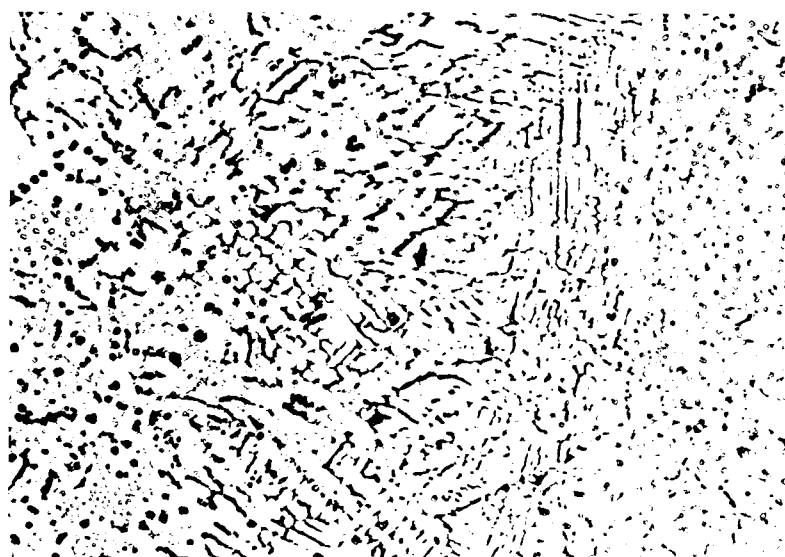
Obrázek 22 představuje mikrostrukturu svarového kovu elektrody E-S 723 z místa styku dvou vrstev návaru.

Bylo konstatováno, že rozbor mikrostruktury nezjistil podstatné odlišnosti ve struktuře svarového kovu naší a zahraniční elektrody.





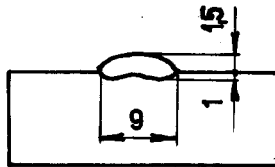
Obr. 21 Svarový kov E - CASTOLIN
Rollason (200 x)



Obr. 22 Svarový kov E - S 723
Rollason (200 x)

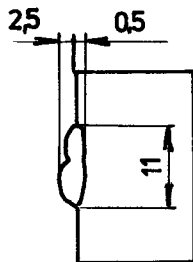
Návary provedené elektrodou E-S 723:

Návar č. 7



H [mm]	z	I [A]	Q [Jcm ⁻¹]
8	1	105	0,73 10 ⁴

Návar č. 8



H [mm]	z	I [A]	Q [Jcm ⁻¹]
9	2	110	1,38 10 ⁴

Návar č. 7 je proveden jako jednovrstvý, ve vodorovné poloze, svarová plocha je bez úkosu.

Návar č. 8 je dvojrvtvý. Makrostruktura příčného řezu je u obou návarů bez jakýchkoliv známek vad nebo nežádoucích vyloučenin. Rozbor mikrostruktury návaru č. 7 prokázal existenci několika odlišných vrstev v TOZ. V blízkosti přechodu se ve SK vyskytuje pásmo grafitických vyloučenin. V místě přechodu je souvislá vrstva čistého niklu. Tuto zvláštnost lze dokumentovat na obr. 23. Natavení litiny nebylo v oblasti průvaru pozorováno. Struktura základního materiálu je středně hrubozrnná se základem martenzitickým. V blízkosti průvaru byly identifikovány oblasti zbytkového austenitu. Vzhledem k velmi vysoké tvrdosti lze přechodové pásmo šířky 2 mm pokládat za obrobitelné pouze broušením.

Návar č. 8: převažující strukturální složkou v TOZ je martenzit a troostit. Potvrzuje to i získaný průběh tvrdosti. Hranice ztavení je členitá, hloubka difuze dosahuje 100 μm.

Pásno grafitických vyloučenin se již nevyskytuje. Na obrázku 24 je fotografie mikrostruktury z oblasti rozhraní mezi vrstvami svarového kovu. Tato oblast je charakteristická zvýšenou tvorbou zbytkového austenitu, což potvrzují i nižší hodnoty naměřené tvrdosti, (550 HV).



Obr. 23 Přechodové pásmo
Nital (200 x)

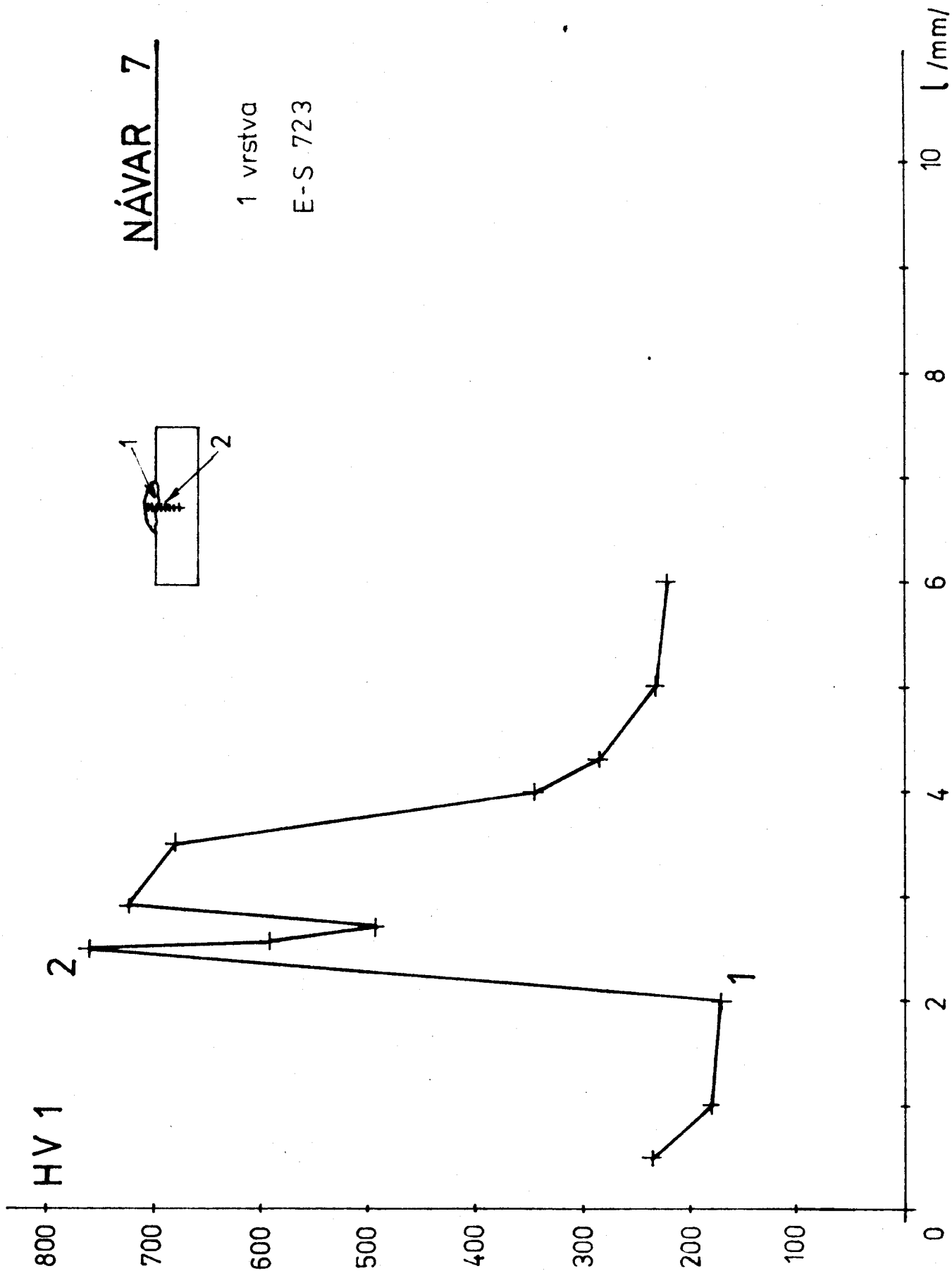
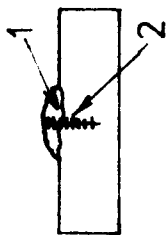


Obr. 24 Přechodové pásmo
Nital (200 x)

NÁVAR 7

1 vrstva

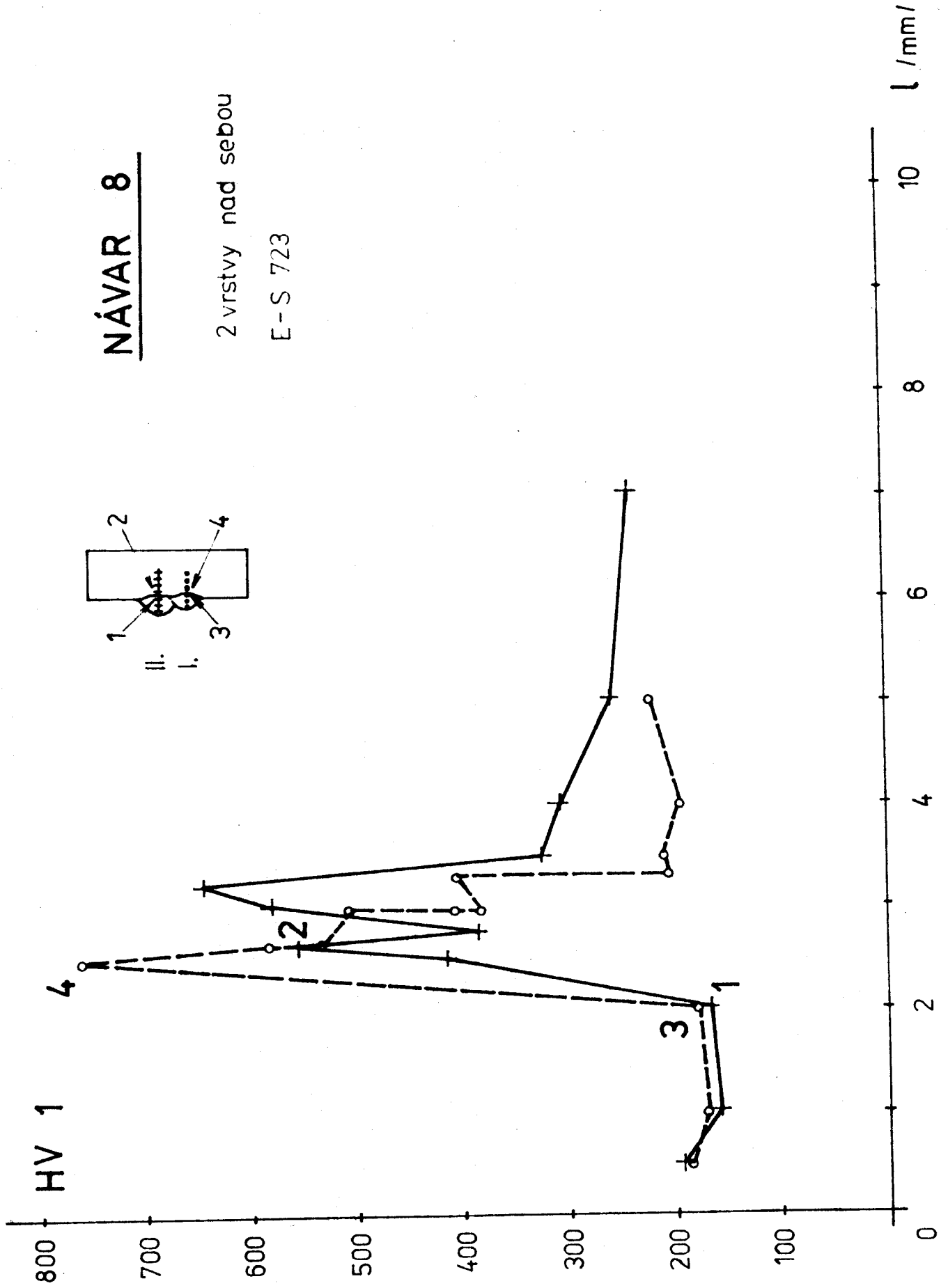
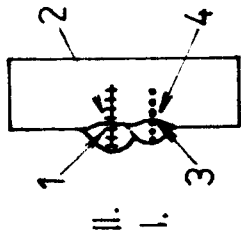
E-S 723



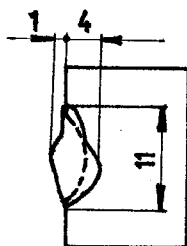
NÁVAR 8

2 vrstvy nad sebou

E-S 723



Návar č. 9



H [mm]	z	I [A]	Q [Jcm ⁻¹]
9	2	115 108	2,3 · 10 ⁴

Návar byl proveden do drážky U šířky 10 a hloubky 3 mm. Svarový kov i přechodové pásmo je bez bublin nebo studených spojů. Metalografický rozbor (obr. 25) prokázal stejné strukturní složení TOZ jako u návaru č. 8.

Na obr. 25 je fotografie mikrostruktury z oblasti průvaru první vrstvy.



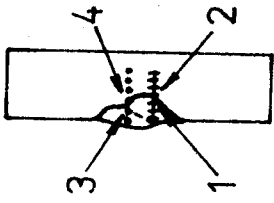
Obr. 25 Přechodové pásmo Nital 200 x

Spoje V provedené E-S 723:

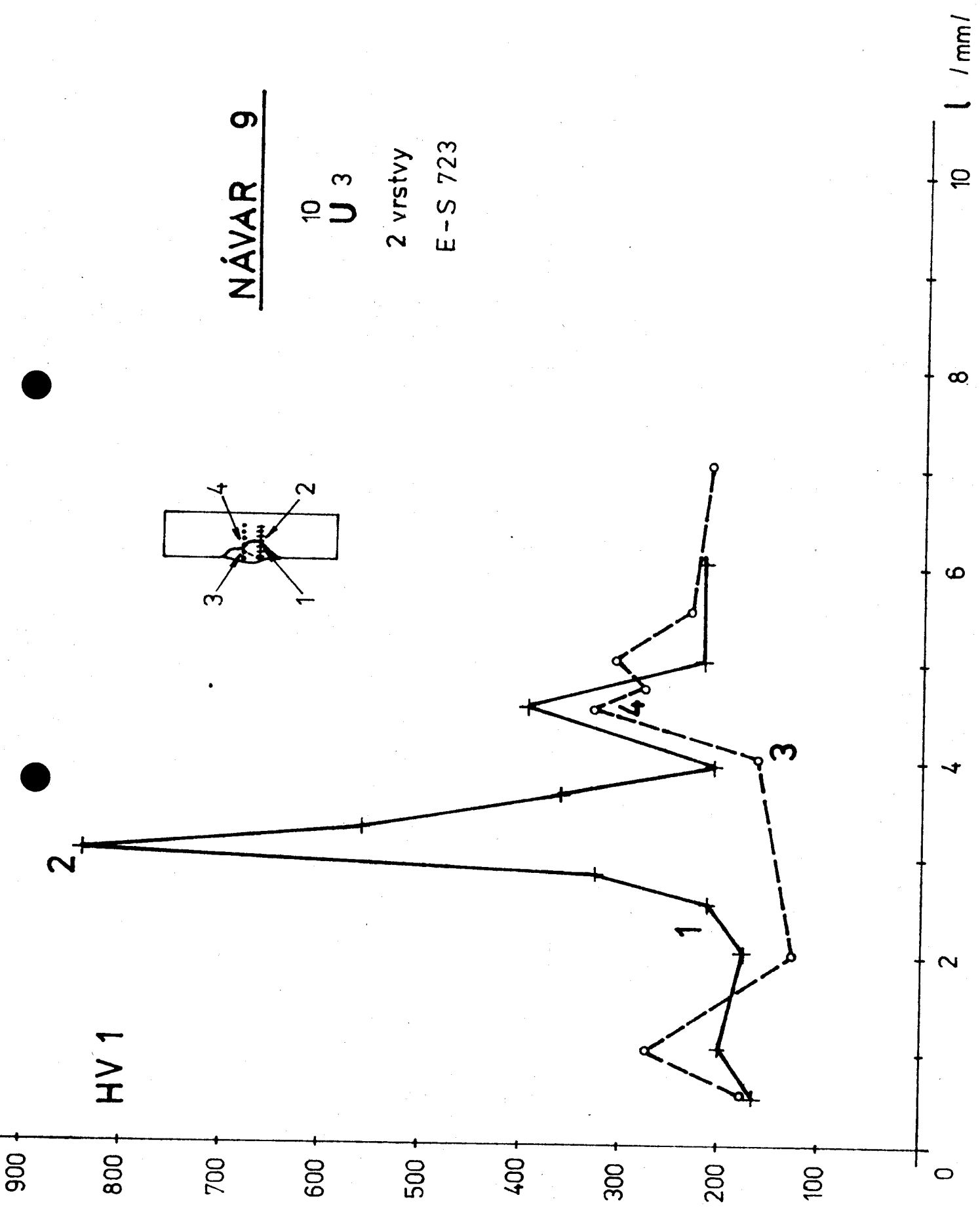
Rozbor makrostruktury: návary provedené do úkosu 60 ° jsou značně pórovité. Metalurgického spojení nebylo dosaženo. Všechny návary vykazují studené spoje na vrchní svarové ploše úkosu.

NÁVAR 9

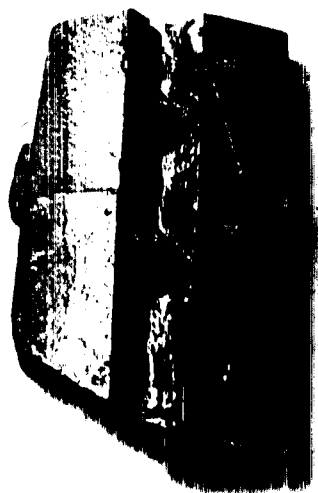
¹⁰
U 3
2 vrstvy
E-S 723



HV 1



Kořeny svaru nejsou provařeny. Mechanická pevnost spoje je velmi nízká, což se projevilo porušením při přípravě vzorku, jak dokazuje snímek makrostruktury návaru č. 10, 11, 12, obr. 26. V kořeni návaru č. 13 vznikla podélná trhлина zřetelně viditelná na obr. 27.

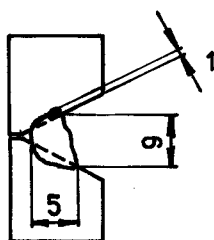


Obr. 26 Snímek makrostruktury návarů č. 10, 11, 12



Obr. 27 Trhлина v kořeni návaru č.13

Návar č. 14



H [mm]	z	I [A]	Q [Jcm ⁻¹]
12	1	129	0,98·10 ⁴

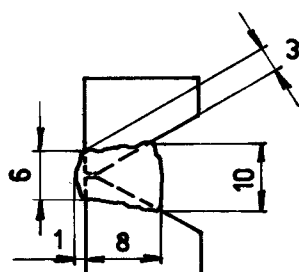
Zvýšením svařovací rychlosti ($0,2 - 0,25 \text{ cms}^{-1}$) a svařovacího proudu (129 A) bylo dosaženo metalurgického spoje s hloubkou závaru 1 mm, avšak kořen svaru zůstal i nadále v místě příčného řezu neprovařen. Měřením tvrdosti byla prokázána široká oblast tvorby zákalných struktur. Přítomnost bílé litiny nebyla v příčném řezu zjištěna, avšak vzhledem k vysoké tvrdosti přechodu (700 - 800 HV) nelze její výskyt vyloučit. Návar lze hodnotit jako neobrobitelný s nízkými mechanickými vlastnostmi.

S ohledem na získané poznatky bylo pokračováno v navařování do úkosů o větším úhlu rozevření - 75° . Vrstvy návarů byly částečně zabrušovány pro omezení mezivrstevových studených spojů. Byl použit způsob vedení elektrody s rozjížděním a kýváním při důkladném naklepání každé vrstvy.

K výraznějším změnám v kvalitě svarového spoje však nedošlo. Návar č. 15 vykazoval opět velmi nízkou pevnost a při přípravě vzorku došlo k jeho porušení.

Návar č. 16

∅ 25



H [mm]	z	I [A]	Q [Jcm ⁻¹]
15	12	82	8,17·10 ⁴

Rozbor makrostruktury příčného řezu však prokázal značný podíl studených spojů mezi vrstvami. Je proto nutno počítat se sníženou pevností svarového spoje.

Krátkým obloukem, maximálním vychýlením elektrody a odbrušováním návarů s následným prokováním jsme získali návar srovnatelný co do struktury přechodového pásma se zahraniční elektrodou, (obr. 28). Vzhledem k naměřené tvrdosti lze považovat přechodové pásmo za dobře obrobitelné, obsahující zákalné struktury pouze v úzkém pásmu 150 μm . Výskyt bílé litiny nebyl v rozsahu příčného řezu pozorován.



Obr. 28 Přechodové pásmo návaru č. 16 v oblasti kořene
Nital 200 x

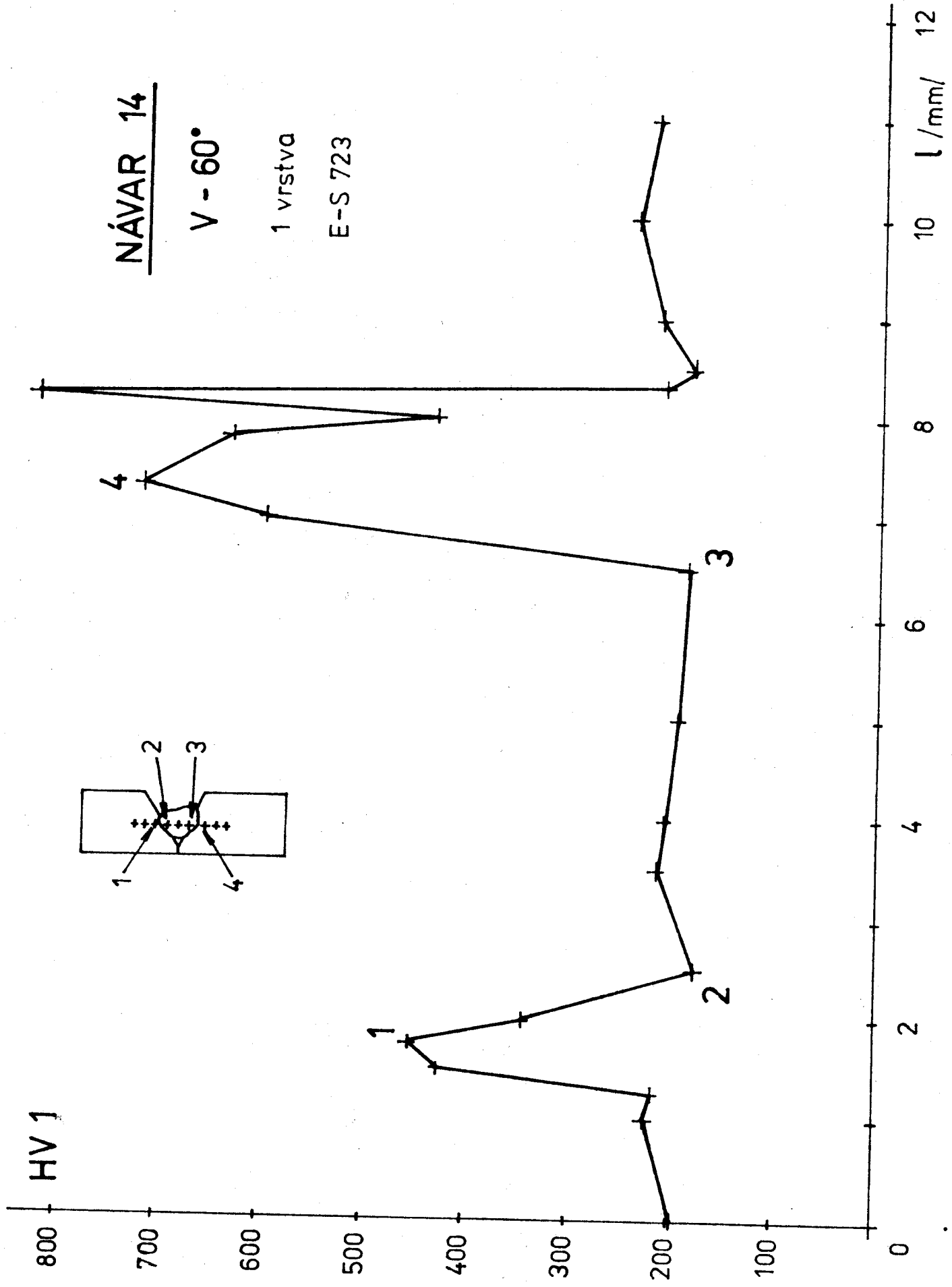
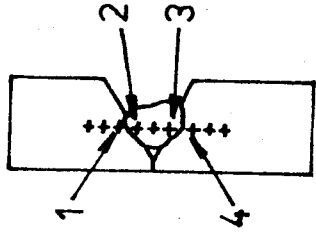
HV 1

NÁVAR 14

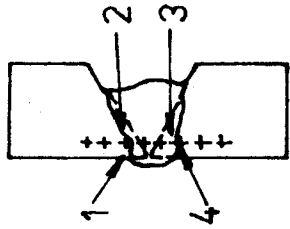
V - 60°

1 vrstva

E-S 723



HV 1

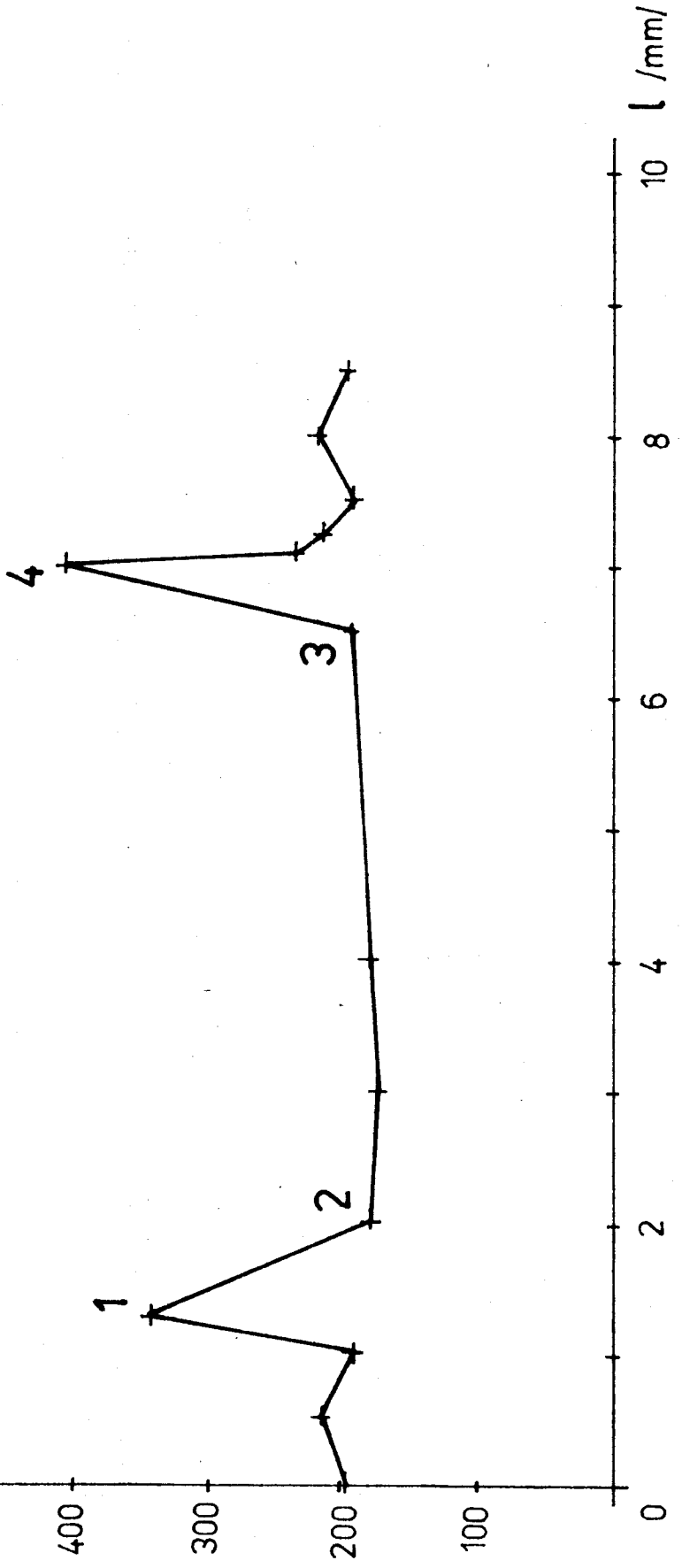


NÁVAR 16

V - 75°

12 vrstev

E - S 723



DISKUSE A ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

Elektroda CASTOLIN - 2240

Při hodnocení výsledků měření byly zjištěny značné rozdíly mezi údaji udávanými výrobcem a naměřenou tvrdostí. Dle údajů výrobce neobsahuje TOZ žádné složky, jejichž tvrdost by překročila HV 350 /14/. Polovina zkušebních návarů však vykazuje výsledky tvrdosti v průměru o 200 HV vyšší.

Tyto rozdíly lze vysvětlit zvláštnostmi struktury použité litiny, specifickými podmínkami svařování a v neposlední řadě subjektivní chybou při měření tvrdosti.

Návary č. 3 a 4 mají n příznivější strukturní složení v TOZ. V blízkostipřávaru obsahují středně hrubozrnnou martenzitickou strukturu, jejíž tvrdost je na hranici ztavení pouze 382, 425 HV.

Svarový kov má ve styku s litinou velmi dobrou smáčivost. Šířka průvaru v kořeni V spojů dosahuje hodnoty 7 mm. Smáčivost působí příznivě na hloubku difuzního ovlivnění základního materiálu.

Nikl se tím podílí svými mechanickými vlastnostmi na snížení tvrdosti struktury v blízkosti hranice ztavení.

Provedené svary lze hodnotit jako dobře obrobitelné.

Elektroda E-S 723

Návary provedené elektrodou E-S 723 mají velmi tvrdé přechodové pásmo (800 HV na hranici ztavení). Výskyt bílé litiny nebyl v rozsahu pozorovaných struktur potvrzen, což lze zdůvodnit vysokým grafitizačním účinkem svarového kovu. Vzhledem k hodnotám naměřené tvrdosti nelze tvorbu bílé litiny v TOZ vyloučit.

Výskyt zbytkového austenitu v přechodové oblasti návarů č. 7, 8 a 9 lze hodnotit jako následek tepelného ovlivnění litiny navařením více vrstev svaru. V určitých lokalitách základního materiálu, v blízkosti rozhraní vrstev svarového kovu, se několikanásobným ohřevem vytvoří podmínky vhodné pro stabilizaci austenitu. Tím lze vysvětlit pokles tvrdosti těsně za hranicí ztavení u návaru č. 7 a 8. Nízká tvrdost v přechodovém pásmu 2. vrstvy návaru č. 9 je způsobena popuštěním struktury.

Na obr. 23 (návar č. 7) lze pozorovat zvláštní vrstvení přechodu SK-ZM. Následkem zvýšené rychlosti ochlazování se snížila teplota svarové lázně tak, že uvolněný uhlík ze ZM již nestačil difundovat do SK a vyloučil se na hranici ztavení v podobě souvislého pásma grafitu.

Svarová lázeň má vysoké povrchové napětí. Při navařování do spoje V nedošlo na horní svarové ploše prakticky vůbec k smáčení povrchu. Spoje se velmi snadno porušily (obr. 26, 27).

Zvýšením svařovacího proudu na 130 A, maximálním vychýlením elektrody a odbrušováním návarů jsme získali svar (č. 16) srovnatelný co do tvrdosti se zahraniční elektrodou. Nízké hodnoty naměřené tvrdosti lze zdůvodnit možností přeměny martenzitu na sorbit. K podstatnému zlepšení smáčivosti však nedošlo, neboť svar má velké množství studených spojů mezi vrstvami. Hloubka závaru v kořeni je srovnatelná s návary provedenými E - CASTOLIN.

Způsob určování vlastností svarového spoje šedé litiny, použitý v této práci, je z hlediska současných nejnovějších poznatků o litině nedostačující, neboť neposkytuje představu o změnách sledovaných vlastností v celém svaru, ale pouze v ploše příčného řezu.

Litina se chová jako výrazně heterogenní systém, výsledky je možné objektivně zpracovávat pouze statisticky. Z tohoto hlediska má měření tvrdosti pouze význam informativní.

Rozpracování metod vyhodnocování svarových spojů novým způsobem je předmětem studií předních odborníků ve VÚZ Bratislava. Tyto nové metody mohou přinést objasnění některých ne zcela vyřešených problémů chování litiny při svařování. Metoda hodnocení svarových spojů, použitá v této diplomové práci je pro praxi plně postačující a vyhovuje pro základní úkol této diplomové práce - porovnání vlastností elektrod.

4.1 POROVNÁNÍ E-S 723 S ELEKTRODOU CASTOLIN 2240

E- S 723	označení A
CASTOLIN 2240	" B

1. Hodnoty tvrdosti A jsou v průměru o 200 HV vyšší než u návarů B.
2. Martenzitická struktura A se jeví v porovnání s B jako hrubozrnnější (Podmínky ochlazování A se více blíží metastabilnímu rovnovážnému stavu).
3. Elektroda B vykazuje větší hloubku difuzního ovlivnění než A.
4. Kyselé obal elektrody B zajišťuje dostatečně tekutý svarový kov.
Bazický obal elektrody A je příčinou hustě tekoucího svarového kovu (snižená smáčivost - vliv na svařitelnost).
5. Tekutost (smáčivost) svarového kovu elektrody A je závislá na teplotě svarového kovu.

6. Svarový kov A má podstatně nižší smáčivost než B.
7. Elektroda A vykazuje více vad ve svarovém spoji než B (především studené spoje, trhliny v kořeni svaru - obr. 26, 27).

Vlastnosti elektrod pro svařování šedé litiny jsou závislé na přítomnosti stopových legujících prvků obsažených v obalu elektrody.

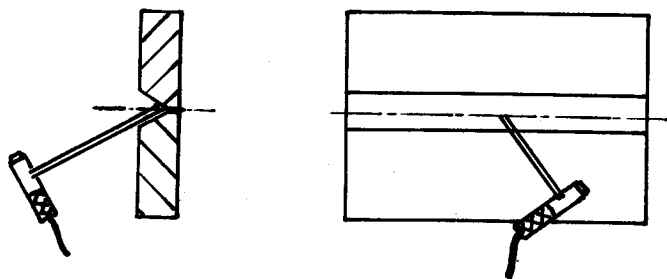
Tyt prvky zajišťují:

- omezení natavení litiny v obl. přechodu,
- urychlení difuze,
- snížení povrchového napětí svarové lázně,
- podporu exotermické reakce.

Omezená přítomnost těchto legur v obalu E-S 723 je v porovnání s CASTOLIN - 2240 zřejmě příčinou snížené kvality svar. spoje a zhoršené ovladatelnosti elektrody v polohách.

Návrh optimálního technologického postupu pro svařování
a navařování šedé litiny

1. Svařujeme najednou pouze krátké housenky (1 - 3 cm), které ihned po navaření naklepáme, očistíme drátěným kartáčem a necháme pomalu vychladnout na teplotu 50 °C. Teprve poté následuje navaření další vrstvy. Šířka housenky nemá překročit 3 x průměr elektrody.
2. První vrstva návaru se nanáší vyšší rychlostí (0,2 - 0,25 cm s^{-1}) s pravidelným příčným pohybem elektrody
3. Vedení elektrody musí být velmi přesné. Udržovat oblouk střední délky (přibližně odpov. průměru elektrody).
4. Elektrodu držet kolmo k svařovanému povrchu. Pro vyplňování V spojů v poloze A2 je třeba vychýlit elektrodu na úhel 60 °. Rozjíždění a kývání elektrody není žádoucí.



5. Při opravě trhliny začínáme svařovat na jejím okraji a postupujeme směrem k jejímu vyústění na povrch součásti nebo k místu s nižší tuhostí.
6. Oblouk se zapaluje velmi krátce vedle drážky bez nanesení kovu.
7. Chceme-li přerušit svařování, je třeba oblouk pomalu prodloužit a zabránit tak vytvoření tvrdých míst ve svarovém spoji.
8. Pro vzhledný povrch svaru navaříme krycí vrstvu s prodlouženým obloukem a nižší rychlostí svařování.
(U E-S 723 snížením svařovacího proudu zabráníme případnému vzniku zápalů).
9. Svařovací proud volíme podle typu použité elektrody na horní hranici rozsahu udávaného výrobcem.

Z Á V Ě R

V této práci bylo provedeno porovnání vlastností elektrody E-S 723 se zahraniční elektrodou CASTOLIN 2240.

Použitelnost obou elektrod pro svařování v poloze A 2 dle ČSN 02 0024 byla ověřena rozborem zkušebních návarů provedených na holé stěně, do drážky U a spoje typu V.

Ze získaných zkušeností, naměřených hodnot tvrdosti a metalografické analýzy vyplývají tyto závěry:

1. Použití obou elektrod v poloze A2 je možné.
2. Zvláštní pozornost je třeba věnovat přesnému dodržení technologického postupu a nastavení parametrů svařování.
3. Výsledky dosažené elektrodou CASTOLIN 2240 potvrzují údaje výrobce uvedené v kapitole 3.2.1.
4. Svarový kov E-S 723 vykazuje sníženou smáčivost. Nedostatek tekutosti lze částečně eliminovat zvýšením svařovacího proudu, což se negativně projeví větším rozstříkem svarového kovu.
5. Pro provedení spojů V použití E-S 723 nedoporučuji. Tato elektroda je dobře použitelná pro svařování v poloze A 1, především pro opravy povrchových vad odlitků. Vzhledem k vysoké tvrdosti TOZ nedoporučuji použití E-S 723 pro opravy odlitků třískově obráběných v automatických linkách. Svařování např. stojanů nebo kotevních patek strojů je možné, není-li svar vystaven přímému, zejména cyklickému namáhání.
Pro polohu A2 je vhodné volit mělkou drážku typu U.
6. Svařovací proud doporučuji nastavit takto:

A-S 723 \emptyset 3,15	poloha A2	drážka U	110 - 120 A
CASTOLIN 2240	A2	drážka U	120 A
\emptyset 3,2		spoj V	100 A

Podrobnější přehled o výsledcích poskytuje provedený metalografický rozbor.

Naměřené hodnoty tvrdosti jsou srovnatelné s výsledky obdobných měření v pracích / 16, 17 /.

Tvrdoost je v porovnání s údajem výrobce / 14 / vyšší zejména u návarů č. 1, 2, 6 E - CASTOLIN.

Hodnoty tvrdosti E - S 723 nelze s dostupnou literaturou porovnat, neboť tato literatura je neuvádí.

Dosažené výsledky mají specifický charakter. Nelze je aplikovat univerzálně, jelikož se vztahují pouze na perlitickou šedou litinu uvedeného složení.

Tato diplomová práce se dotýká pouze části celkové problematiky svařování šedé litiny.

L i t e r a t u r a

- /1/ DORAZIL, E. a kol.: Nauka o materiálu, II.část, 2.vyd. VUT Brno 1976.
- /2/ BAŠISTA, M.: Plamen v opravárstve sivej liatiny 1.vyd. SVTL Bratislava 1966.
- /3/ PLUHAŘ, J.; KORITTA, J.: Strojírenské materiály 2.vyd. SNTL Praha 1977.
- /4/ ČABELKA, J.: Zvariteľnosť kovov a zliatin 1.vyd. Veda Bratislava 1977.
- /5/ MUNCNER, L. a kol.: Deformácie a napätia pri zvaraní 1.vyd. SVTL Bratislava 1964.
- /6/ KRŇÁK, R.: Svařování litiny 1. vyd. SNTL Praha 1961.
- /7/ DITL, J.: Slévárenství, roč.18, 1970, č.9.
- /8/ SMEJKAL, P.: Slévárenství, roč.18, 1970, č.9.
- /9/ VESELKO, J.: Zváranie, roč.28, 1979, č.10.
- /10/ VESELKO, J.: Zváranie, roč.28, 1979, č.12.
- /11/ Greckij, Ju.: Avtomatičeskaja svarka, 1980, č.1.
- /12/ Katalog " Příkladné materiály pro svařování kovů ZAZ VAMBERK
- /13/ Prospekty firmy CASTOLIN a UTP.
- /14/ CASTOLIN + EUTECTIC INSTITUT, Lausanne / Schweiz : Použití způsobu XUPERLIFE a přídavných materiálů pro svařování šedé litiny. 1974.
- /15/ METALS HANDBOOK London 1948.
- /16/ Kohout, J.: Svařování šedé litiny el. obloukem [diplomová práce] , Liberec 1981-VŠST.
- /17/ Škoda, L.: Svařování a navařování šedé litiny el. obloukem [diplomová práce] , Liberec 1981-VŠST.

ČSN 05 0005

ČSN 05 0024

ČSN 05 1313

ČSN 42 0461

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce s. Jenšimu,
konzultantce ing. Moravcové, ing. Beranovi a laborantce
s. Peštové za cenné rady, které mi pomohly při zpracování
této diplomové práce.

V Liberci 12. června 1981

Jaroslav Florek