

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Romero Hermilioodbor 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: Porovnejte svářecí a mechanické vlastnosti
přídavných materiálů pro svařování litiny
el. obloukem za studena

Pokyny pro vypracování:

- 1) Studium literatury o způsobech obloukového sváření šedé litiny za studena
- 2) Porovnejte svářecí vlastnosti elektrod a to: československých E 44.83, E Cu Fe 25 (EBimetal), E Ni 95 (E Nikelit) a německé ÚTF 08 Nifer
- 3) Zjistěte pevnost spoje
- 4) Stanovte průběh tvrdosti ve spoji
- 5) Proveďte metalografický rozbor struktury spoje

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962 - Věstník MŠK VIII, sešit 24 ze dne 31.8. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5

V 30/1970

Rozsah grafických laboratorních prací: grafy, tabulky, diagramy, struktury

Rozsah průvodní zprávy: asi 50 stran textu

Seznam odborné literatury:

- 1) Ditl: Svařování a pájení litiny a oceli na odlitky - Příručka svařování - Faltus a kolektiv - SNTL Praha 1955
- 2) Ditl: Svařování šedé litiny v zahraničí Zváranie 1967 str. 384
- 3) Vutkovski: Svařování šedé litiny za studena Zváranie 1967 č. 11
- 4) Krňák R., Svařování litiny SNTL Praha 1960
- 5) Čabelka J.: Mechanická technológia VSAV Bratislava 1967

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Josef Ditl CSc.

Konzultanti: Ing. Ján Alaxín

Datum zahájení diplomové práce: 1.10.1969.

Datum odevzdání diplomové práce: 17.11.1969



Josef Ditl

vedoucí katedry

Prof. Ing. Josef Ditl CSc.

Cyril Höschl

děkan

Prof. Ing. Cyril Höschl

V Liberci

dne

196 9

VŠST Liberec	Svařování litiny elektr. obloukem za studena	Katedra SM
Fakulta strojní		DP 787/70 str.1

O B S A H

1. Úvod	str.1
2. Litina	3
2.1 Složení litiny	3
2.2 Šedá litina	4
2.3 Bílá litina	5
2.4 Tvárná litina	5
3. Význam svařování šedé litiny	6
3.1 Vady vzniklé chybnou technologií	6
3.2 Vady lití objevené po mech.obrobení	6
3.3 Vady zaviněné provozem stroje	7
4. Způsoby svařování litiny	8
4.1 Svařování elektrickým obloukem	9
4.2 Svařování plamenem	12
4.2.1 Pravidlo pro svař.litiny plamenem	13
4.3 Svařování termitem	13
4.4 Svařování slévárenské	14
5. Zásady svařování litiny	15
5.1 Požadavky na svar	16
6. Elektrody pro svařování litiny	16
6.1 elektrody s litinovým jádrem	17
6.2 Elektrody s ocelovým jádrem	17
6.3 Elektrody s Monelova kovu a niklu	18
6.4 Elektrody bimetalické	19
6.5 Elektrody bronzové	19
6.6 Elektrody chromniklové	20
7. Experimentální část	21
7.1 úvod	21
7.2 Základní materiál	21
7.3 Výbrus zákl.mat.a metalograf.vyhodnocení ...	22
7.4 Zkouška pevnosti v tahu zákl.materiálu	27
7.5 Zkouška tvrdosti základního materiálu	28
7.6 Použité elektrody	28
7.7 Posup při svařování	33
7.8 Vyhodnocení svařového spoje	34
7.8.1 E 44.83	34
7.8.2 E Bimetal	37

VŠST Liberec	Svařování litiny elektr. obloukem za studena.	Katedra SM
Fakulta strojní		DP 787/70 str.2
<p>7.8.3 E Ni 95 /E Nikelit/ str.39</p> <p>7.8.4 UTP 08 Nifer 41</p> <p>7.8.5 E Bronz 44</p> <p>7.8.6 E Monel 46</p> <p>7.9 Vyhodnocení makrostruktury svar.spoje 49</p> <p>7.9.1 E 44.83 49</p> <p>7.9.2 E Bimetal 50</p> <p>7.9.3 E Ni 95 50</p> <p>7.9.4 E Bronz 51</p> <p>7.9.5 E Monel 51</p> <p>7.10 Metalograf.vyhodnocení svar.spoje 52</p> <p>7.10.1 E 44.83 52</p> <p>7.10.2 E Bimetal 53</p> <p>7.10.3 E Ni 95 54</p> <p>7.10.4 E Bronz 55</p> <p>7.10.5 E Monel 56</p> <p>8. Závěr 71</p> <p>9. Literatura 72</p>		

I. Ú V O D

Všechny přednosti svařování je možno využít jen za určitých podmínek, pokud vyřešíme dosti často složitě otázky metalurgické, pevnostní a tepelné. Požadavek provozní spolehlivosti a hospedárnosti svařovaných konstrukcí vyžaduje, aby byla věnována jakosti svaru zvýšená pozornost.

Výzkumy v oboru vyzikální chemie a metalurgie svařování umožnily zlepšovat jakost svařovaných konstrukcí a rozšířit oblast použití svařování.

Provedení dokonalého svařovaného spoje závisí na mnoha činitelích, které zahrnujeme pod pojem svařitelnost kovu. Svařitelnost definujeme jako schopnost kovu vytvořit svarem spoj požadované jakosti.

Technologie svařování litiny za studena je zaměřena hlavně na největší zúžení křehkého pásma, snížení jeho křehkosti a zmenšení jeho namáhání během svařování. Aby se vyhovělo těmto požadavkům, používá se vhodného druhu a průměru elektrody, vhodného svařovacího proudu, techniky svařování, jako je postup kladení housenek, vedení elektrody, vystřídávání návarů atd. Při svařování šedé litiny elektrickým obloukem za studena je nutno úzkostlivě dodržovat každý detail technologie svařování předepsané pro svařování těchto litiny.

Úkolem této práce je porovnávat svářecí a mechanické vlastnosti přídatných materiálů pro svařování šedé litiny elektrickým obloukem za studena se předepsanými elektrodami.

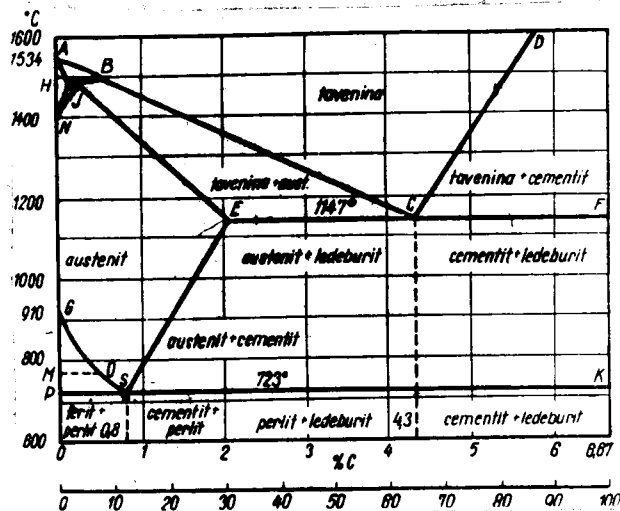
J. Hrnčík

2. LITINA

2.1. Složení litiny

Litinou označujeme slitinu železa s uhlíkem o obsahu více než 1,7% C, které lze dát zřídany tvar litím nebo obráběním třískovým, nikoliv však tvářením za tepla nebo za studena.

V závislosti na složení a rychlosti chlazení může z tekutého stavu buď v soustavě metastabilní /uhlík jako karbid železa, bílá litina/ nebo stabilní /uhlík jako grafit, šedá litina/ - jeho nejdůležitějším komponentem po uhlíku je křemík, snižuje bod tání a posouvá eutektoidní složení doleva.



Obr. 1. Rovnovážný diagram železo - uhlík

Čím více je v litině křemíku, tím méně může železo vázat uhlík a tím více uhlíku se vylučuje jako grafit.

Nikl je dalším prvkem, podporujícím vylučování grafitu v litině. Proto často ke svařování litiny používá se elektrod, dávajících svárových kov nikl.

Měď má podobný vliv jako nikl, vyvolává tvorbu grafitu.

Mangan jest v malém množství bez vlivu na pochody tuhnutí, zvyšuje však pevnost litiny.

Síra zhoršuje tekutost litiny a zvyšuje její smršťování. Tím, že zrychluje tuhnutí železa, vznikají často bubliny a páry. Vyšší obsah síry je proto z hlediska svářeče nežádoucí.

Abychom správněji posoudili vliv prvků na vlastnosti litiny, nesmíme na ně přenášet představu, získanou při posuzování kujné oceli. Litina se musí posuzovat zcela jinak. Mení kujná, chybí jí tedy plastičnost a ohebnost. Litina je velmi křehká. Má býti namáhána hlavně v tlaku. Požaduje se od ní hlavně dobrá opracovatelnost a hustá jemnozrná struktura. Obé jest velmi důležité u svarového spojení.

2.2. Šedá litina

Je poměrně měkká, obvykle asi 140 - 220 HB a dobře opracovatelná. Poněvažď křemík posunuje značně eutektické složení litiny, je důležité z hlediska chemického složení zjistit, zda jde o litinu nad eutektickou nebo pod eutektickou. Označíme-li eutektickou šedou litinu jako nasycenou, dá se udat stupeň nasycení číselně podle Rayna.

Pevnost grafitu se udává hodnotou 2 kg/mm^2 , je tedy nepatrná, proto nositelem pevnosti kovová je základní hmota. Čím více bude grafit přerušovat souvislost základní hmoty, tím bude mít litina menší pevnost.

Odlitky se zpravidla tepelně nezpracovávají, tj. vlastní prnutí z tuhnutí ve formě v nich zůstává.

Šedá litina má vysokou pevnost v tlaku, asi 3 x vyšší než pevnost v tahu. Její tažnost a vrubová

houževnatost je minimální. Mez únavy se udává 0,4 - 0,6 pevnosti v tahu. Při posouzení mechanických vlastností šedé litiny má největší význam zkouška na ohyb, při níž se měří mez zatížení a průhyb normalizované tyče / ϕ 30 mm, délka 650 mm/ mezi podpěrami vzdálenými 600 mm.

2.3. Bílá litina

Rozeznáváme litinu bílou v celém lomu a litinu bílou na povrchu, tj. skořepovou. Používá se jí tam, kde má zdolávat velké opotřebení, mívá značné vlastní prnutí a je velmi křehká. Je velmi tvrdá /350 - 550 HB/. Svařovat se nedá, nebo jen velmi obtížně. Dá se spojovat nyní Ms60 Ag.

2.4. Tvárná /modulární/ litina

Litinu "tvárnou" vyrábíme při odlévání tak, aby vznikl grafit kuličkový /zrnitý/, který nesnižuje tolik pevnost litiny, protože má přibližně kulovitý tvar. Vzniká tak velmi kvalitní a tažná litina tvárná či modulární o pevnosti v tahu až 70 kg/mm^2 . Grafit tvoří v tvárné litině chumáčky a shluky, uložené v základní hmotě perlitické nebo feriticko-perlitické. Tím se zvětší množství souvislé základní hmoty, zvýší se pevnost v tahu i houževnatost litiny. Žiháním při 725°C po čtyři nebo osm hodin se rozpadne i perlitický karbid a uhlík se vyloučí jako grafit na původních zrnech. Tím klesne pevnost, ale tažnost vzroste na 15%. Tvárná litina se dá též dobře svařet.

3. VÝZNAM SVAŘOVÁNÍ ŠEDÉ LITINY

Opravami odlitků nejen zachraňujeme materiál, nýbrž ušetříme pracovní čas, nutný pro vyrobení nového odlitku. Odlitky se začínají velmi často opravovat již hned po odlití a další opravy následují po obrobení a v provozu.

3.1. Vady vzniklé chybnou technologií

Vady vzniklé chybnou technologií nebo jejím nedodržením při lití, které se obvykle objeví až po čištění odlitku. Jsou to staženiny, řediny, trhliny, nárosty, zálupy, přesazení, výronky apod., a to v rozsahu, který by byl na závadu jejich použití. Opravit nebo zakrýt /tmelem apod./ slévárenské vady je dovoleno jen s výslovným souhlasem spotřebitele.

Podružné slévárenské vady, jako stopy po nárostech a zadrobeninách a povrchové vady vzhledu může výrobce buď vyspravit nebo ponechat nevyspraveny, nepředepíše-li spotřebitel výslovně, aby takové vady byly vyspraveny. Vady na hrubém odlitku, schopné opravy, se pak opravují přímo ve slévárně.

3.2. Vady lití objevené po mechanickém obrábění

Jsou nejčastěji řediny, zavaleniny, struskové a jiné vměstky atd. Opravují se nejčastěji ve strojírenských závodech po prvních nebo konečných operacích obrábění. Dále jsou to zmetky zaviněné vlastní výrobou nebo chybnou konstrukcí. Zmetky vznikají např. chybným obráběním, nedodržením rozměrů, polámáním odlitku během dopravy. Řádně opravit odlitek a vrátit jej ze zmetků do výroby je důležité pro plnění výrobního plánu. V seriové výrobě lze vadný odlitek nahradit dalším a chybějící objednat, kdežto kusové výrobě nebo u slo-

žitého odlitku je oprava jediným východiskem.

3.3. Vady zaviněné provozem stroje

Vady zaviněné provozem stroje, v němž litá součást pracuje, vznikají opotřebením, přemáháním, popraskáním, požárem apod. Méně často se vyskytují trhliny vzniklé při vnitřním pnutí, nejvíce v přechodech průřezů různé tloušťky, např. mezi páprsky a věncem kol řemenic, ozubených kol nebo u dutých těles s chladícím pláštěm. Vnitřní pnutí v odlitku, nevyrovná-li se těsně po odlití trhlinou, může později spolupůsobit při porušení odlitku. Tento druh oprav lze ještě rozdělit na hromadné opravy ve specializovaných dílnách, např. pro součásti automobilů, traktorů, železniční opravy, a na příležitostné opravy zpravidla malých i velkých jednotlivých kusů.

Činitelů, kteří mají vliv na opravu a použití opravovaného odlitku je mnoho. Před rozhodnutím o opravě či zmetkování je důležitý rozsah všech závad, tvar odlitku, tj. průřezové změny, tloušťka stěn, materiál, váha a členitost odlitku. Naproti tomu nutno porovnávat okolnosti, za nichž se odlitku používá, což znamená hlavně druh namáhání, tlak, teplota a td. Spolupůsobí zde i přístupnost k místu závady, což podmiňuje kvalitu opravy. Rozhodnutí, má-li se vada opravit, závisí také na ceně odlitku, spěšnosti či nutnosti opravy, stupni pracovní opravy a konečně i na tom, lze-li vadný odlitek nahradit novým.

4. ZPŮSOBY SVAŘOVÁNÍ LITINY

4.1. Svařování elektrickým obloukem

Za tepla - svařovací předmět se opatrně zahřeje do tmavě třešnového žáru /asi kolem 650°C /, svar se provede při vysoké teplotě a poté se předmět nechá často několik dní zvolna stejnoměrně schladnout. Tím nenastane zakalení vedle svaru a společně s vhodnou volbou složení přidávaného materiálu se zamezí vytvoření pásma bílé litiny a dosáhne se toho, že svar je dobře opracovatelný a svařovaný kus prakticky bez pnutí. Poněvadž svarový kov je litina, má součinitel roztažnosti, což je důležité při ohřívání kusu v provozu, i barvu stejnou jako svařovaný kus. Spojení svarového kusu se základním materiálem a těsnost spoje splňují všechny požadavky. Byly-li dodrženy všechny podmínky svařování, vzniká spojení, jež se jakostí vyrovná odlitku novému. Jako přidávaného materiálu se používá litinových tyčinek.

Za polovičního tepla - celý odlitek pomalu a rovnoměrně ohřejeme na teploty mezi $250 - 400^{\circ}\text{C}$. Ke svařování se používá litinových holých nebo namáčených elektrod, bohatých křemíkem. Též u velkých odlitků lze ohřívát jenom místně, nepřevyšují-li podle Barmanova rozměru vad 100 x 50 x 40 mm, hlavně zavařujeme-li vadu, vyskytující se na výstupku. Použije se rovněž místního předehřátí, má-li ohřátý díl se svarovým kovem podobný způsob smršťování. Takto se svařují kusy, kde nebezpečí trhlin není tak veliké. Lze svařovat i v poloze poněkud šikmé.

Účelem svařování za polotepla je spojit výhody svařování za tepla, při němž se dosahuje téměř též mechanických vlastností svařovaného spoje jako má

VŠST Liberec	Svařování litiny elektr.	Katedra SM
Fakulta strojní	obloukem za studena.	DP 787/70-str. 10

základní materiál, s výhodami svařování za studena, při němž nastávají jen malé deformace. Svářeč je méně obtěžován teplem a konečně se uspoří předehřívací teplo.

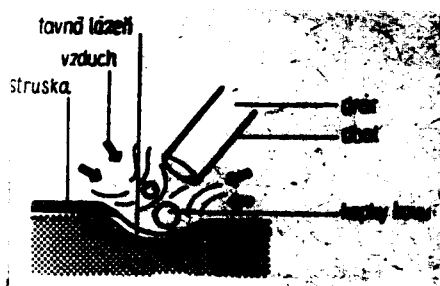
Pro svařování za tepla lze použít téměř všech způsobů svařování a pájení plamenem i elektrickým obloukem neželeznými a speciálními elektrodami, dávajícími litinový svarový kov.

Někdy se stává, že před svařováním nelze použít žádného způsobu ohřevu odlitku, a to pro jeho velké rozměry, pro nebezpečí ztráty přesných rozměrů atd., a proto se musí používat svařování za studena.

Za studena - proti svařování za tepla má tu velkou přednost, že lze svar provádět v libovolné poloze, dokonce někdy bez demontáže poškozeného litinového kusu, který není nutno zaformovat ani předehřívát. Naproti tomu obvykle svar není těsný ani úplně prost trhlinek v přechodovém pásmu. Proto by se neměla svařovat za studena tam, kde se žádá od opravovaného kusu těsnost a vysoká pevnost. Používali se při svařování litiny za studena litinových tyčinek, svarový kov se stykem s nepředehřátým základním materiálem rychle ochladí a tím ztuhne jako bílá nebo maková /směs bílé a šedé/ litiny. Totéž platí o přechodovém pásmu vedle svaru. Museli bychom při tomto způsobu svařování počítat vždy s tím, že svary a přechodové vrstvy budou tvrdé, křehké a velmi náchylné ke tvoření trhlin. Nemí radno proto používat litinových elektrod k svařování za studena. Kromě toho při svařování obloukem litina odkapává z tyčinky v kapkách, které nespojí s dosud chladným základním materiálem.

Naproti tomu se dobře osvědčilo svařování litiny za studena cizím přídavným materiálem. Provádí se pouze obloukem, poněvadž při svařování nepředehřáté litiny musí být přívod tepla úzce ome-

zen, aby se zamezilo nebo alespoň zmenšilo nebezpečí tvoření trhlinek. Zvláště při tom záleží na přídatném materiálu.



Obr. 2. Hoření tenké obalené elektrody Obr. 3. Hoření tlustě obalené elektrody

Holé elektrody nejsou pro svařování litiny vhodné. Tvoří při něm špatně tekoucí strusku, která se zavařuje do svaru, nebo ruší spojení se základním materiálem.

Při svařování litiny za studena musíme dbát bedlivě toho, abychom do svaru vnášeli co nejméně tepla a aby ohřátá oblast byla úzce omezena. Dosáhneme se toho použitím elektrod slabšího průměru a co možno malých proudů, sváření krátkých housenek, které mají před započatím navařování další housenky zchladnout na teplotu ruky, asi 40°C.

Při svařování litiny za studena se někdy doporučuje svar kovat lehkým kladivem. Nutno však kovat opatrně, aby se přílišným rozkovením svaru nevnášelo pnutí větší, než které jsme chtěli kovením zmenšit.

Vlastní pnutí způsobuje vznik vlasových podélných i příčných trhlinek právě v pásnu bílé litiny a v pásmech zakalených. To je příčina, proč jsou tyto sváry obvykle netěsné a proč je nutno je často utěsnit tmelem nebo nějakým jiným

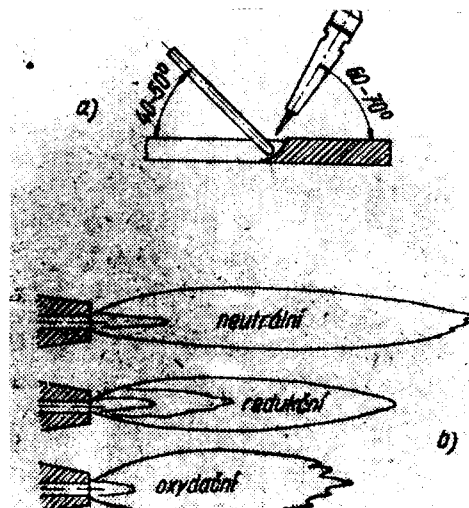
způsobem, např. asi 8° C teplým roztokem křemičitanu sodného pod tlakem.

Nej slabší místo, jak uvidíme ze struktury, je vždy přechodová oblast mezi svařovým kovem a základním materiálem. K zvětšení přechodových ploch volíme větší otevřené spáry, větší šířku horního návaru nebo zesílujeme její pevnost mechanicky kolfičky apod.

4.2. Svařování plamenem

Lze svařovat za studena a za tepla.

Za studena se svařují jen jednoduché částky a provádějí poměrně krátké svary, u nichž není nebezpečí vzniku tak velkých tahových vlastních pnutí, že by ohrozila zdar práce. Za tepla se svařují složité odlitky a odlitky, u nichž se klade důraz na opracovatelnost svaru. Při svařování za tepla se odlitky obvykle před svařováním ohřívají asi na $600 - 750^{\circ}$ C. Není třeba se obávat zakalení přechodových pásem předehřátého kusu, poněvadž přivedené teplo zpomalí jejich ochlazování tak, že chladnou menší rychlostí, než je kritická. Svařuje se neutrálním plamenem a litinovými svářecími tyčinkami za použití tavidla.



Obr. 4. Svařování litiny plamenem

Na obřáté návarové plochy se nasype svářecí prášek nebo se v něm obaluje horký konec svářecí tyčinky.

4.2.1. Pravidlo pro svařování litiny plamenem

- a/ ponořme svařovací tyčinku do lázně, když přidáváme svarový kov, nenechme ho skapávat. Konec tyčinky i tavná lázeň musí být stále v redukční oblasti plamene.
- b/ roztavme návarové plochy dříve, než na ně začneme natavovat svarový kov.
- c/ užíjme dobrého tavidla pro šedou litinu, abychom odstranili nečistoty.
- d/ vypracujeme z tavné lázně všechny plynové bubliny. Tvoří péry a dutiny a zeslabují svar.
- e/ vyberme nečistoty z lázně koncem svářecí tyčinky.

4.3. Svařování thermitem

Kolem opracovaného lomu se vyformuje chybějící část a do takto vzniklého prostoru se nechá po předehřátí součástí zatěci kov, vzniklý thermitovou reakcí.



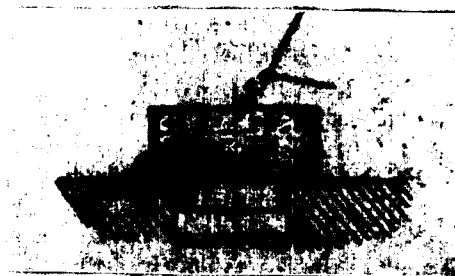
Obr. 5. Tavné svařování thermitem

Vzniklý kov /ocel/ je pevnější než litina.

Tohoto způsobu se používá ke zpojování velkých průřezů, také u litiny nízkolegované a vysoko-
legované. Nedá se použít všeobecně pro špatnou
opracovatelnost spojovacího kovu, avšak na urči-
tých pracích se s ním dosáhlo dobrých výsledků.

4.4. Svařování slévárenské

Slévárensky svařujeme dvě části tak, že
tekutým kovem nejen vytvoříme vlastní spoj,
nýbrž použijeme ho též k předehřátí spojovaných
částí do plastického stavu, aby se dosáhlo dob-
rého metalurgického spojení.



Obr. 6. Svařování slévárenské

Slévárenského svařování používáme k opra-
vě větších vad odlitků ze šedé litiny, oceli,
anebo i z neželezných kovů.

Celý postup slévárenského svařování lze roz-
dělit:

- a/ úprava svařovaného místa odlitku a zaformování
tvaru navařované části odlitku
- b/ předehřátí opravovaného odlitku
- c/ vlastní navařování tekutým kovem
- d/ chlazení opravovaného odlitku a jeho konečná
úprava.

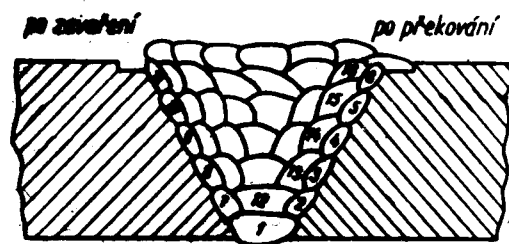
5. ZÁSADY SVAŘOVÁNÍ LITINY

Šedá litina není houževnatá ani pružná. Nesnáší deformace ani tepelná pnutí a při sváření je vždy nebezpečí vzniku trhlin ve svaru, v přechodu nebo daleko mimo svar v oblasti největšího namáhání vzniklého roztahem nebo smršťováním části ohřáté při svařování.

Tam, kde jde o svařování plamenem nebo obloukem za tepla, lez svařovat jen ve vodorovné poloze.

Litina, která má v důsledku nízkého obsahu křemíku jemnější rozdělení grafitu, se svařuje lépe než litina s vysokým obsahem křemíku. Hrubé grafitové listy se chovají při svařování nepříznivě a mohou dokonce vyloučit dobré provedení svaru. Není všeobecných pravidel pro svařování litiny, jejichž dodržení by zaručilo zdárný výsledek.

Svářeč se má na počátku práce přesvědčit, dá-li se daný druh litiny vůbec svařovat. Na kuse určeném ke svařování odstraní osekáním povrchovou vrstvu a nanese svárovou housenku. Sekáčem pak zkusí, zda housenka dobře drží. Musíme pečovat o to, aby kus po sváření pomalu chladl, případně žíhat složitě odlitky po sváření na odstranění pnutí.



Obr. 7. Pokládání housenek

Někdy se před svářením celý kus předehřívá proto, aby se snížila rychlost ochlazování a tím se zamezilo praskání odlitku snížením pnutí od svařování. Nutno však počítat s tím, že rozměry kusu poněkud změní. Předehřátí má být co nejstejně-
noměrnější a dosti pomalé. Ideální je, může-li se provádět v peci. Teplota předehřátí se volí asi 550°C pro odlitky z obyčejné šedé litiny. Teplota je omezena směrem nahoru teplotou, při níž daná litina začíná ztrácet svou pevnost a tvrdost. Tato teplota má být pro každou litinu zjištěna a předehřívání se má na teplotu $0\text{--}30^{\circ}\text{C}$ nižší.

5.1. Požadavky na svar

Při svařování litiny bychom měli vyhovět těmto požadavkům:

- a/ dosáhnout dobrého spojení obou kovů
- b/ zabránit vytvoření bílé litiny v přechodové vrstvě
- c/ způsobit co nejmenší pnutí v odlitku
- d/ zabránit tvoření dutin a plynových bublin
- e/ dosáhnout téhož součinitele roztažnosti u odlitku a přídavného materiálu
- f/ použít svařovaného materiálu o přibližně stejných vlastnostech jako má svařovaná litina

Požadavkům e a f se vyhoví volbou vhodného přídavného materiálu, požadavkům a, b, d vyhovíme předehřátím celého kusu nebo jeho částí, požadavku e předehřátím celého kusu.

6. ELEKTRODY PRO SVAŘOVÁNÍ LITINY

6.1. Elektrody s litinovým jádrem

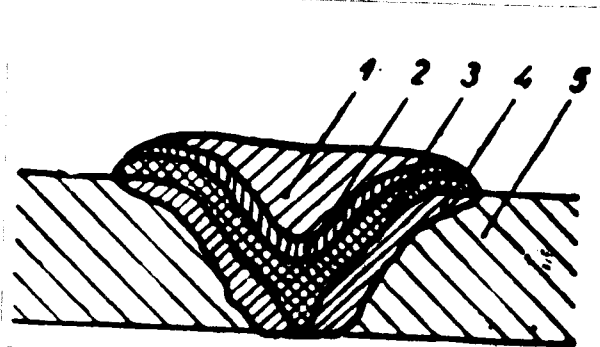
Elektrody s litinovým jádrem mají obal, jehož hlavní součásti jsou grafit, ferrsilicium, někdy hliník, užívá se jich k svařování litiny za tepla nebo za polovičního tepla. Svarový kov se neliší barvou a svými vlastnostmi od svářeného materiálu. Svary jsou těsné, dobře opracovatelné. Grafit, křemík a hliník v obalu podporují tvorbu šedé litiny ve svaru. Křemík snižuje bod tavení svarového kovu. V kombinaci s grafitem dává dobře tekoucí kov, v němž grafitové závodky, přestože je kov tekutý jen krátkou dobu, způsobují vytvoření litiny šedé. Strukturu svaru, provedeného litinovou elektrodou s předehřátím základního materiálu, tvoří hrubé grafitické žíly, přetínající základní hmotu tvořenou perlitem, v něm jsou uloženy malé ostrůvky steaditu, navazuje svarový kov s velmi jemnou strukturou, ferit - perlit - steadit, grafitové eutektikum. Nemí nikde stopy po základní ani po pásnu bílé litiny. Jde o spoj velmi kvalitní, rovnocenný nové litině, velmi dobře opracovatelný.

6.2. Elektrody s ocelovým jádrem

Tence a středně obalených nebo namáčených elektrod se užívá na zaváření menších chyb, hlavně proto, že pracují při malých proudech a tím přivádějí do svaru málo tepla.

Těži tlustě obalené elektrody základní jsou vhodné ke svařování litiny. Přivádějí do svaru málo tepla, mají malý závar a tím se méně mísí se základním materiálem a mají výbornou tažnost. Dostí blízko svaru se ohřeje na 720°C , což je kalicí teplota pro základní perlitickou strukturu litiny, a pásmo se rychlým přirozeným ochlazením obyčejně zakalí /vrstva 4/. Těsně vedle svaru

vznikne vrstva bílé litiny, označená 3, poněvadž ohřátím původní šedé litiny na vysokou teplotu a jejím natavením se spálila značná část křemíku a část uhlíku a vrstva rychle ochladla, což jsou podmínky pro vznik bílé litiny. Vlastní svarový kov ocelové elektrody má obsah uhlíku asi 0,1%. Tím, že se nanášením svarového kovu litina /obsah asi 3% C/ nataví a smísí se svarovým kovem elektrody, vznikne slitina s obsahem uhlíku asi jako nástrojová ocel /nad 1% a to rychlým ochlazením rovněž zakalí /vrstva 2/. Další vrstva je obohacena uhlíkem již podstatně méně /vrstva 1/, takže se už nezakalí, a vrstva následující je už čistý svarový materiál elektrody /0/. Máme tedy tři neopracovatelné vrstvy v přechodovém pásmu, z nichž dvěma můžeme předejít pomalým ochlazením /nejlépe předehřátím/.



Obr. 8. Schema svaru šedé litiny ocelovými elektrodami

6.3. Elektrody s jádrem z Monelova kovu a niklu

Těchto elektrod se používá pro kvalitní svary. Při stejnosměrném proudu se elektroda zapojuje na kladný pól. Nevznikne zakalená uvnitř svaru, poněvadž monel ani nikl se uhlíkem nesytlí a nekalí. Vytvoření vrstvy bílé litiny vedle svaru lze za-

bránit, poněvadž nikl a měď podporují tvoření grafitu, spolupůsobí-li pomalé chlazení spoje v důsledku přehřátí. Svařuje se obvykle jen ve vodorovné poloze stejnou technikou jako při svařování elektrodou z plávkové oceli tak, aby se přivedlo do varu nejméně tepla. Obvykle se ihned po nanesení svaru, dlouhého nejvýše 5 cm, svar ková opatrně malým kladivkem za účelem zmírnění pnutí a zvětšení těsnosti. Těsnosti se dosáhne snáze než při svařování elektrodou s ocelovým jádrem. Je-li to možno, svar se předeře alespoň na 50° C, raději však na 250° C. Pro úsporu niklu a snížení nákladů se navaří těmito elektrodami jen návarové plochy. Zbývající prostor se vyplní svařovým kovem některé elektrody s ocelovým jádrem. Pro lepší opracovatelnost, hlavně u svaru bez předeřtí, se někdy také poslední vrstva navařuje těmito elektrodami.

6.4. Elektrody bimetalické

Jsou elektrody s jádrem ze dvou kovů, tj. buď ocelový drát ovinutý drátem nebo páskem mědi, nebo niklový drát ovinutý mědí, nebo ocelový drát ovinutý mědí a niklem. Na tomto jádře je pak nanesena malá obalová hmota jako u ostatních elektrod. Elektrody bimetalické se podobají svým účinkem skupině elektrod niklových.

6.5. Elektrody bronzové

Jsou neželezné elektrody, velmi užívané při svařování litiny. Pracuje se s nimi podle možnosti v poloze vodorovné, i když jich lze použít i pro plochu svíslou. Připojují se na plus pól. Poněvadž bod tavení bronzu je jen o něco málo nižší než litiny a poněvadž není žádoucí, aby se tekutá litina míchala s bronzem, protože tím vznikají v bronzu

tvrdá místa, dává svařování nejmenším proudem nejlepší výsledek. Grafit musí být z návarových ploch úplně odstraněn, nejlépe opískováním nebo opálením hořákem. Předehřívá se jen na 100 - 150° C, nejvýše však na 200° C. Vyšší teploty mají za následek utavování litiny při svařování a vytvoření návaru křehkého za tepla. Poněvadž měď je poměrně slabý grafitizátor, je v přechodu dosti tlustá vrstva bílé litiny. Dosáhne se dosti dobré těanosti svaru.

6.6. Elektrody chromniklové

Někdy se používá elektrod o složení 18% Cr; 8% Ni, avšak o nízkém obsahu uhlíku, maximálně 0,07%. Doporučuje se lehké kování svaru za tepla, aby se uvolnilo vlastní prnutí svaru. Pásmo bílé litiny vedle svaru je mnohem vyšší se srovnáním s pásmem při svařování halou nebo bronzovou elektrodou.

7. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

7. 1. Ú v o d

Při svařování šedé litiny dochází vlivem rychlého ochlazování ke vzniku vrstvičky bílé litiny, která je mimořádně křehká a odprýskavá od základního materiálu. Kromě toho je odlitek z šedé litiny křehký a nesnáší proto pnutí, která vznikají při svařování a snadno praská. Dalším nedostatkem je pórovitost, která je způsobena hořením grafitu. Pórovitost je velmi intenzivní, zejména u starších odlitků nasáklých olejem.

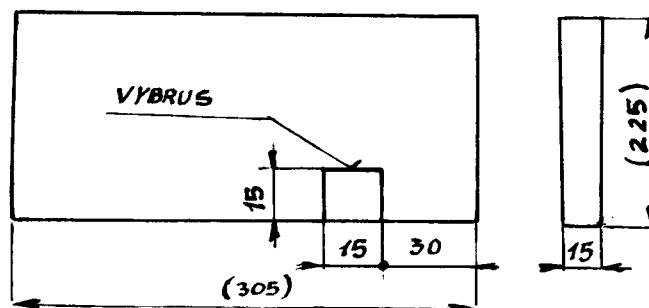
Tyto nedostatky jsou různé pro různé elektrody. V experimentální části máme srovnávat a určit podle mechanických zkoušek průběh tvrdosti a metalografického rozboru, která z elektrod předepsaných je nejlepší pro svařování šedé litiny elektrickým obloukem za studena.

7. 2. Z á k l a d n í m a t e r i á l

Základním materiálem je šedá litina. Lom šedé litiny má šedou barvu. Je to způsobeno tím, že velké množství uhlíku v litině je ve formě lupínkového grafitu, který se vylučuje hlavně na hranicích perlitických zrn. Pod mikroskopem se nám struktura jeví jako na obr. 10. Lupínky grafitu jsou tenké, zabírají proto značnou část příslušné lomové plochy a značně snižují pevnost litiny.

Pro experimentální část byla vybrána šedá litina, která byla odlita v rozměrech 305 x 255 x 15. Chemická analýza nebyla provedena, bylo provedeno pouze hodnocení metalografické, zkoušky v pevnosti v tahu a tvrdosti.

7. 3. Výbrus základního materiálu a metalografické vyhodnocení.



Obr. 9.

Ze základního materiálu byl oddělen hranol, /který je patrný z obr. 9./po hrubém obroušení zalit do dentakrylu a po jemném vybroušení na šesti metalografických papírech byly vzorky leštěné.

Mikrostruktury byly ofotografovány na metalografickém mikroskopu "Zeiss".

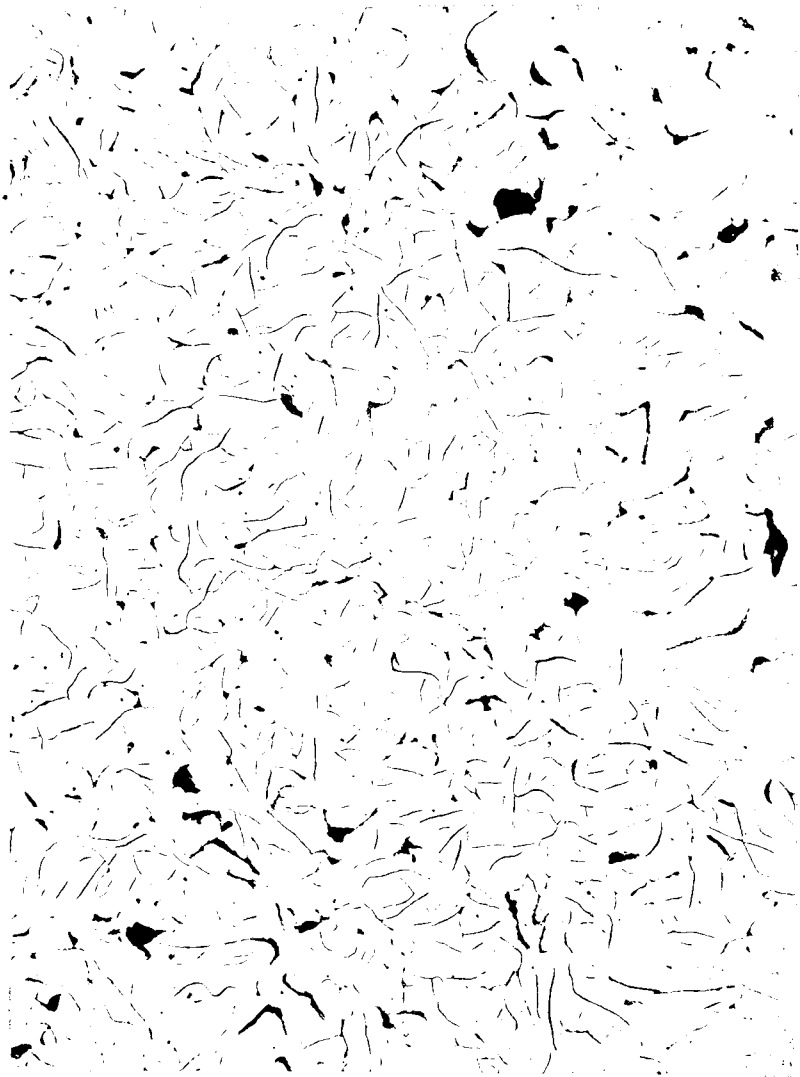
Z hlediska metalografické bylo ohodnocení provedeno podle ČSN 420 461, a byly hodnoceny základní struktury šedé litiny:

Grafit: rozložení grafitu je patrné z obr. 10. ,
způsob a druh vyloučení - G1 lupínkový,
G14 zvlněný

Ferit: viz obr. 11. - způsob vyloučení del grafitových lupínků

Perlit: viz obr. 12. - tvar perlitu: lamelární perlit
hustota lamel perlitu: středně hrubý

Steadit: viz obr. 13. - rozložení steaditů: jednotlivý útvar



Obr. 10

Rozložení grafitu /tmavý/ v litině. Neleptaný
výbrus. Zvětšeno 100 x

Způsob a druh vyloučení: G1 lupinkový, G14 zvlněný



Obr. 11

Mikrostruktura šedé litiny - zvětšeno 630 x
leptáno 1 % HNO_3
5 % feritu
Způsob vyloučení feritu: Del grafitových lupínků



Obr. 12

Mikrostruktura šedé litiny - zvětšeno 630 x

leptáno 1 % HNO_3

Tvar Perlitu: lamelární perlit

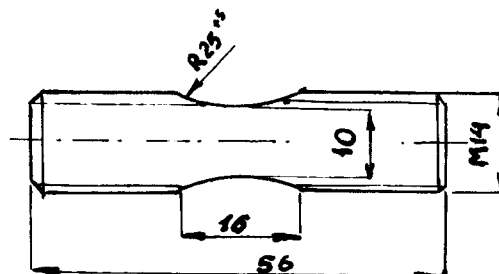
Hustota lamel perlitu: středně hrubý



Obr. 13

Mikrostruktura šedé litiny - zvětšeno 1.260 x
leptáno 1 % HNO₃

Rozložení stadií: jednotlivý útvar

7. 4. Zkouška pevnosti v tahu základního materiálu

Obr. 14. Zkušební tělísko pro zkoušku v tahu

Pro určení pevnosti v tahu základního materiálu se udělalo 5 zkušebních tyčí, podle ČSN 420 330, ČSN 420 310. Pevnost tyčí se zkoušela v trhačím přístroji "Veb Prüf Maschinen".

ČÍSLO VZORKU	P_{max} [kF]	σ_{pt} [kF/mm ²]	ϕ [σ_{pt} [kF/mm ²]]
1	1875	23,6	24,33
2	1900	24,2	
3	1850	23,55	
4	1900	24,2	
5	2050	26,1	

Tabulka č. 1

7. 5. Zkouška tvrdosti základního materiálu

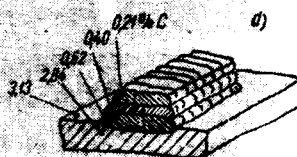
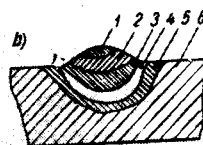
Bylo uděláno 5 zkoušek podle Brinella, použito kuličky ϕ 10 a síle 3.000 kp a převedeno do Vickerse /viz tabulka č. 2/.

ϕ H _B	H _V
195	197

Tabulka č. 2

7.6. Použité elektrody

Elektrody s ocelovým jádrem /E44.83/. Těchto elektrod se používá hlavně pro opravy odlitků s vadami povrchů, které se nebudou dále obrábět řeznými nástroji. Hlavním nedostatkem těchto elektrod je, že způsobuje tvrdá, křehká pásma v šedé litině, viz obr. 14 b. Také vlastní návar, který se smíchá se šedou litinou se stává tvrdý a teprve třetí vrstva návaru má obsah uhlíku přibližně stejný jako měkká ocel, viz obr. 14 d.



Obr. 14. Svařování litiny elektr. obloukem za studena

Elektrody s neželezným jádrem /E-nikelit, ~~E~~-bronz, E-bimetal/. Výhoda neželezných typů elektrod spočívá v tom, že nepohlcují mnoho uhlíku ze základního kovu a tím dávají obrobitelné svary i při svařování za studena. Svarový kov také není křehký a snáší lépe pnutí vznikající svařováním. Také nízká tavicí teplota niklu a zejména mědi umožňuje navařovat jakostní housenky při velmi malých rozměrech tavné lázně a bez podstatného vlivu na základní materiál odlitku. Při svařování elektrodami obsahujícími měď /~~E~~-bronz, E-bimetal/ vniká tato /difunduje/ do základního materiálu a tím zpevňuje spojení svarového kovu s litinou. Nikl /E-nikelit/ podporuje vylučování grafitu a tím vzniká šedá litina.

Přehled a parametry elektrod v následujících tabulkách.

ElektrodyTECHNICKÁ DATA

UTPSFN /ferronikel/

Pevnost v tahu: až 55 kg/mm²
 Tažnost: až 20 %
 Tvrdost: až 185 HB

ANALYZA

Drát: Ferro-Niklu
 Obal: basický

Pro střídavý a stejnosměrný
 proud /minus pól na elektrodu

Poznávací barva
 zelená

Ø elektrod	2,5	3,25	4	5	mm
Nastavovaný proud	60	90	110	130	A

tabulka č. 3

Při svařování se musí dodržovat:

- maximální délka svaru 10 x Ø elektrody
- po každé operaci hladit /po každém svaru/
- můžeme svařit v různých místech v tomtéž lomu /přerušíme a svaříme jinde/
- zapálit v housence
- oblouk udržovat krátký
- elektrodu vést kolmo k materiálu

K čemu slouží :

- Svařování za studena
- Svařování šedé litiny
- Svařování ocel litiny

možnost svařovat v
 kombinaci s ocelí

TECHNICKÁ DATA

U T P 8

Pevnost v tahu:

až 50 kg/mm²

Tažnost:

až 35 %

Tvrdość:

až 175 HB

ANALYZA

Drát:

čistý nikl /svar totěž/

Obal:

basický

Pro střídavý a stejnoměrný
proud /mínus pól na elektrodu/Poznávací barva
bílá

Ø elektrod	2	2,5	3,25	4	5	mm
Nastavovaný proud	45	60	90	110	130	A

tabulka č. 4

- 1/ Dá se dobře svařit ve všech polohách
- 2/ Speciálně je pro spojení šedé litiny s ocelí, s železem, s mědí a monelem
- 3/ Pro svařování ocel litiny, a temperovaná litina
- 4/ Svar není porozní
- 5/ Svar má dobrou pevnost a tažnost

TECHNICKÁ DATA

U T P Nifer

Pevnost v tahu: až 55 kg/mm²
 Tažnost: až 23 %
 Tvrdost: až 220 HB

ANALYZA

Drát:

Obal:

Pro střídavý a stejnosměrný
 proud /minus pól na elektrodu/

Poznávací barva
 červená

Ø elektrod	2,5	3,25	4	5	mm
Nastavovaný proud	50-70	7-100	90-130	120-150	A

tabulka č. 5

Používáme ke svařování za studena

Je speciální elektroda se speciálním obalem vysoce
 basickým.

Má zvýšenou výtěžnost /na basi nikl - železo/.

Legující prvky na obalu vyrovná strukturu na svá-
 řovací okolí.

Pro sváření ocel litiny a temperovaná litina
 /se používá jako UTP 8/

Poznámka: Všechny tyto elektrody mají zaručenou
 obrobiteľnosť, vysoce mechanické vlast-
 nosti, výhody této elektrody se k svařování je
 třeba malý proud /teplo/.

7. 7. Postup při svařování

Při svařování se dodrželo požadavku zmenšit pnutí vznikající teplem svařovacího oblouku.

Housenky jsme kladli jen "krokovým způsobem", tj. neroztírali jsme po celé ploše spoje, tak že položené housenky na začátku, u prostřed i na konci spoje jsou nejvýše 20 mm dlouhé. Tím se umožňuje, aby se okolí svaru mohlo volně roztáhnout po každé navařené housence, a ovšem částečně se využije předchozí housenky při dalším kladení housenek.

Každou navařenou housenku jsme museli ihned pečlivě očistit od strusky.

Svařené desky /spoj/ jsme otočili tak, že spodní část byla nahoru, po ochlazení do teploty dotyku ruky jsme položili obdobně jako na předešlé straně housenky ve spoje. Oblouk nové elektrody se zapaluje jen na navařovaném kovu předešlo housenky. Při navařování jsme řídili oblouk elektrody tak, aby asi tři čtvrtiny tepla oblouku zasahovalo předchozí housenku, vedle které se navařuje.

Vždy jsme položili tři housenky na každé straně krokovým způsobem, a pak jsme otocili a položili další tři housenky a tak pokračovali až do vyplnění úkosy. Tvar úkosy byl udělán pro všechny svary stejný, viz obr. 15.

Používali jsme tyto elektrody:

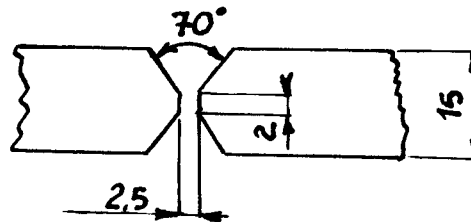
E 44.83 Ø 2,5 mm s el. proudem 80 A

E Cu Fe 25 /E-bimetal/ Ø 2,5 mm s el. proudem 85 A

E Ni 95 /E-nikelit/ Ø 2,5 mm s el. proudem 70 A

UTP 08 Nifer Ø 3,25 s el. proudem 85 A

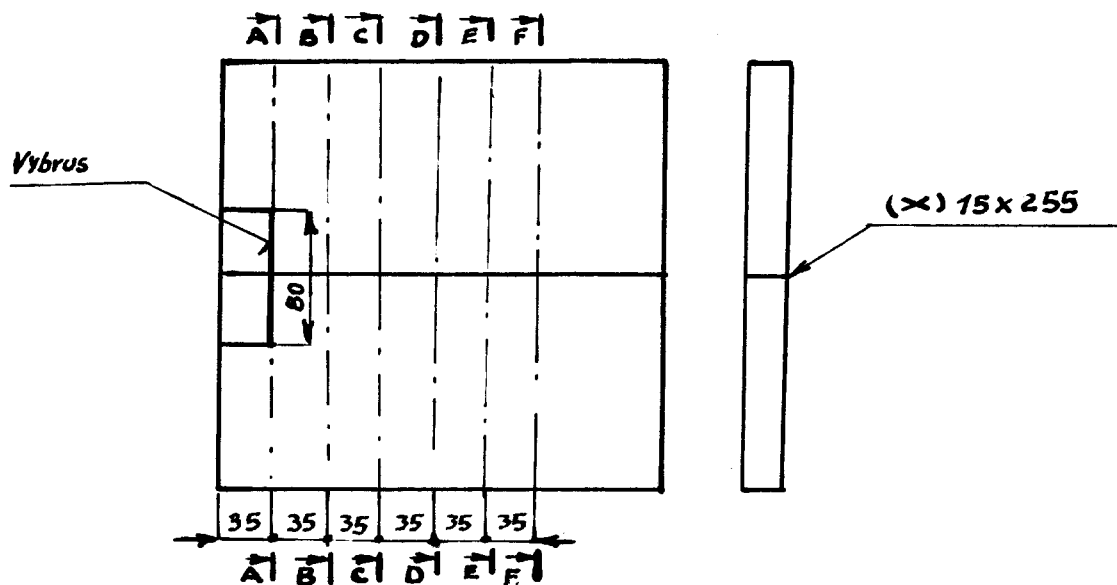
Eronz Ø 2,5 mm s el. proudem 70 A.



Obr. 14. Tvar úkosů

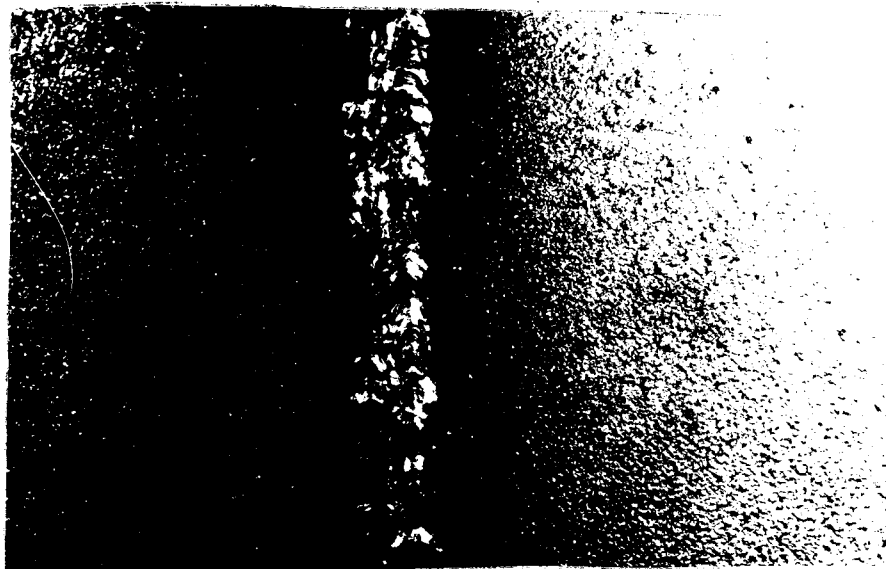
7. 8. Vyhodnocení svarového spoje7. 8. 1. E 44.83

Po svařování došlo ke místním prasklinám a to podélným i příčným. Převládají však příčné praskliny, které jsou ve svaru a v přechodovém pásmu. Praskliny měly velikosti od 2 mm až 15 mm a to 4 příčné, 3 podélné, ve 100 mm naměřeného svaru. Svařovaný kov nebyl kován.



Obr. 15. Řezací plán

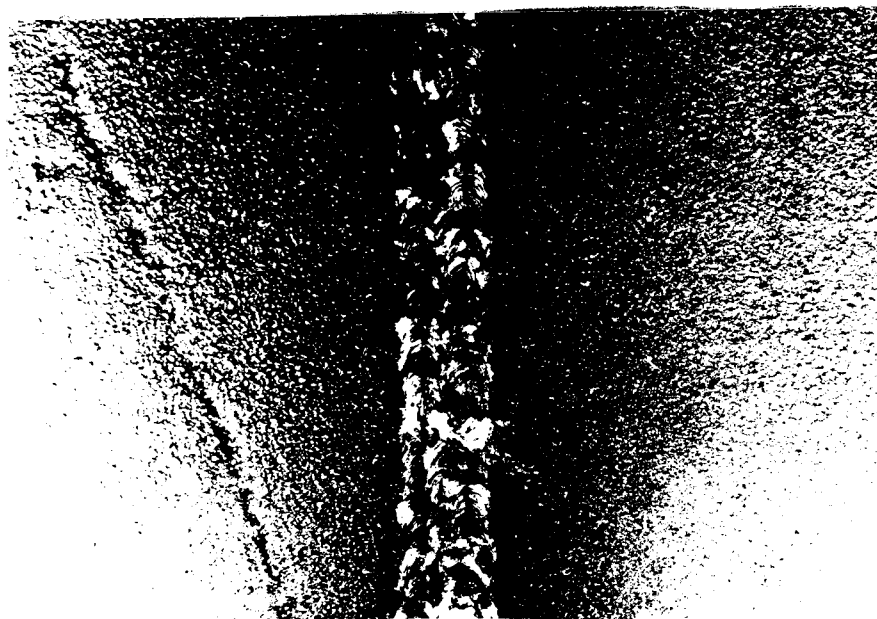
Řez A - metalografický výbrus a průběh tvrdosti ve spoji
Řez B až E - zkoušky pevnosti v tahu



Obr. 16. Svar s elektrodou E 44.83 - A



Obr. 17. Zvětšený detail svaru s elektrodou
E 44.83 obr. 16. - A



Obr. 18. Svar s elektrodou E 44.83 - B

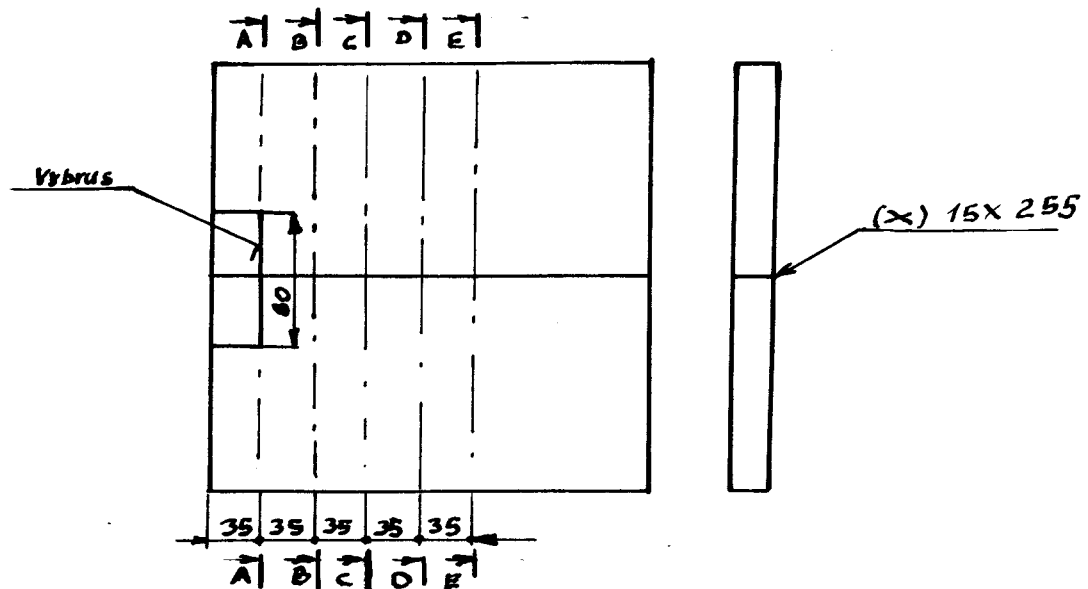


Obr. 19. Detail svaru s elektrodou E 44.83
obr. 18 - B

7. 8. 2. B i m e t a l

Po svařování došlo k místním prasklinám a to podélným i příčným, které jsou ve svaru a v přechodném pásmu.

Svařovaný kov nebyl kován.



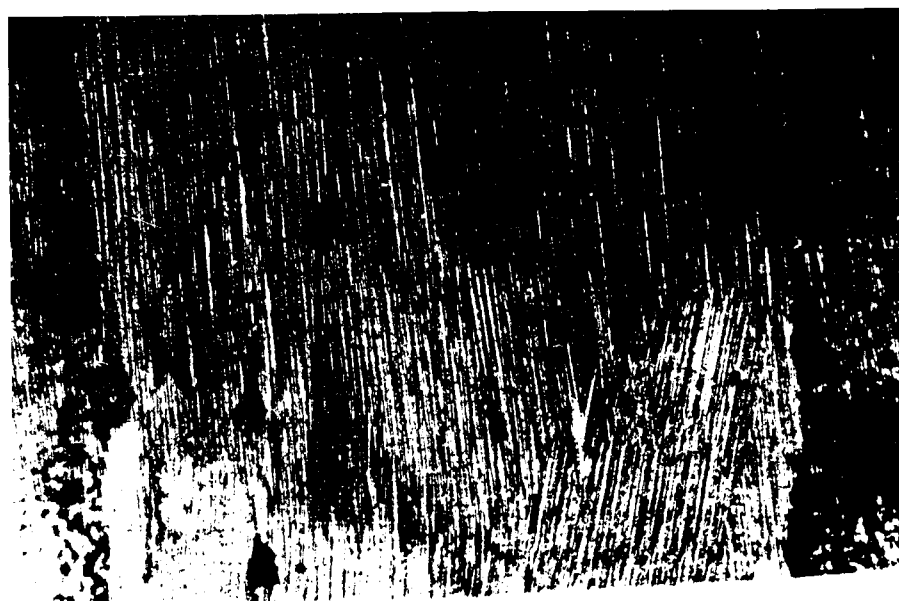
Obr. 20. Řezací plán

Řez ^A - metalografický výbrus a průběh tvrdosti ve spoji

Řez B až E - zkoušky pevnosti v tahu



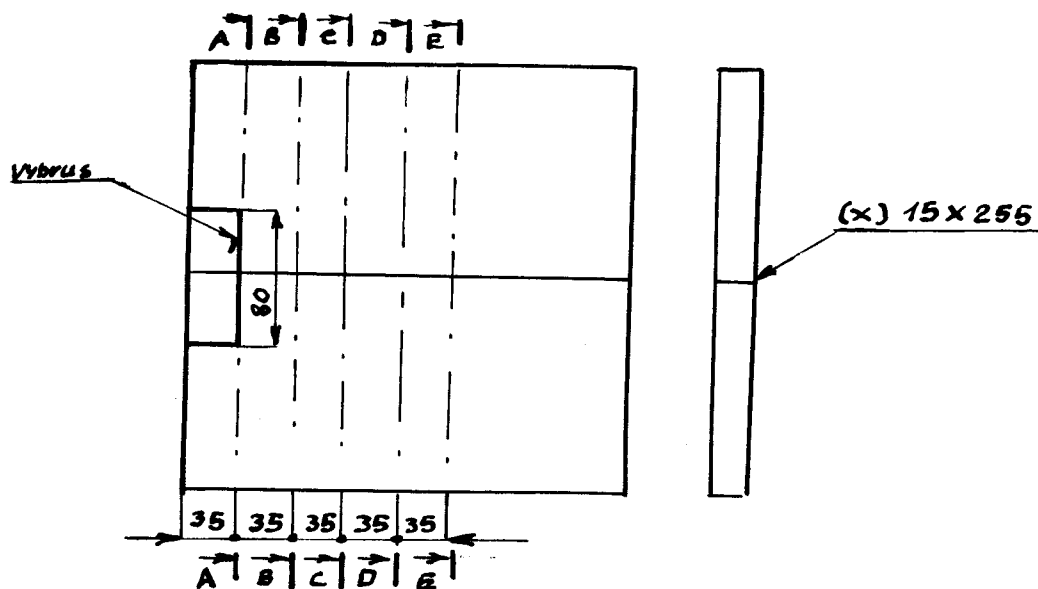
Obr. 21. Svar elektrodou Bimetal - A

Obr. 22. Zvětšený detail svaru s elektrodou
Bimetal - A

7. 8. 3. E - Ni 95 /Nikelit/

Po svařování došlo k místním prasklinám:
3 podélné od 5 do 30 mm, 5 příčných asi do 5 mm -
vztaženo na délku 100 mm svaru.

Praskliny se převážně vyskytují v přechodovém
pásmu svaru.



Obr. 23. Řezací plán

Řez A - metalografický výbrus a průběh tvrdosti ve spoji

Řez B až E - zkoušky pevnosti v tahu



Obr. 24. Svar s elektrodou E-Ni 95 /Nikelit/- A



Obr. 25. Zvětšený detail svaru s elektrodou
E-Ni 95 /Nikelit/ - A



Obr. 26. Svar s elektrodou E-Ni 95 /Nikelit/ - B

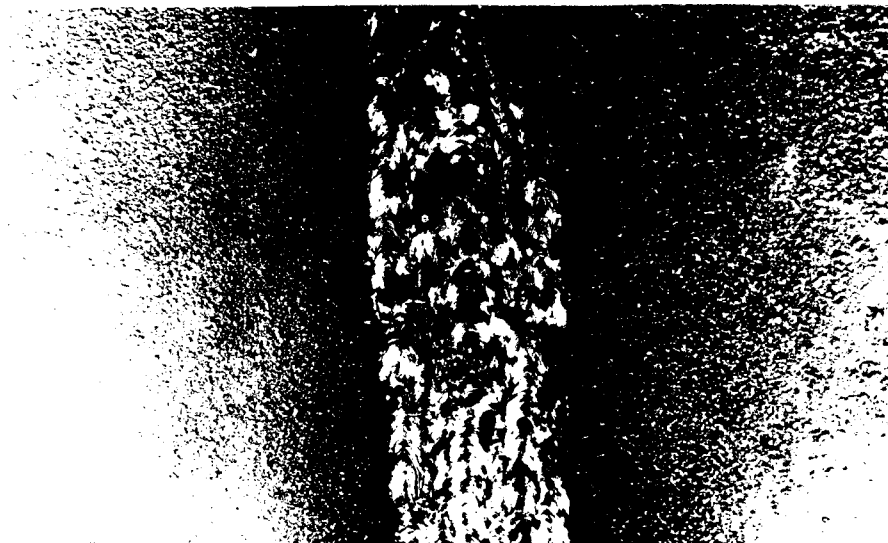
7. 8. 4. UTP 08 Nifer

Po svařování došlo k místním prasklinám a to podélným i příčným, převládly však podélné praskliny, které byly až 70 mm dlouhé, vyskytly se v přechodovém pásmu - vztaženo na 100 mm délku svaru.

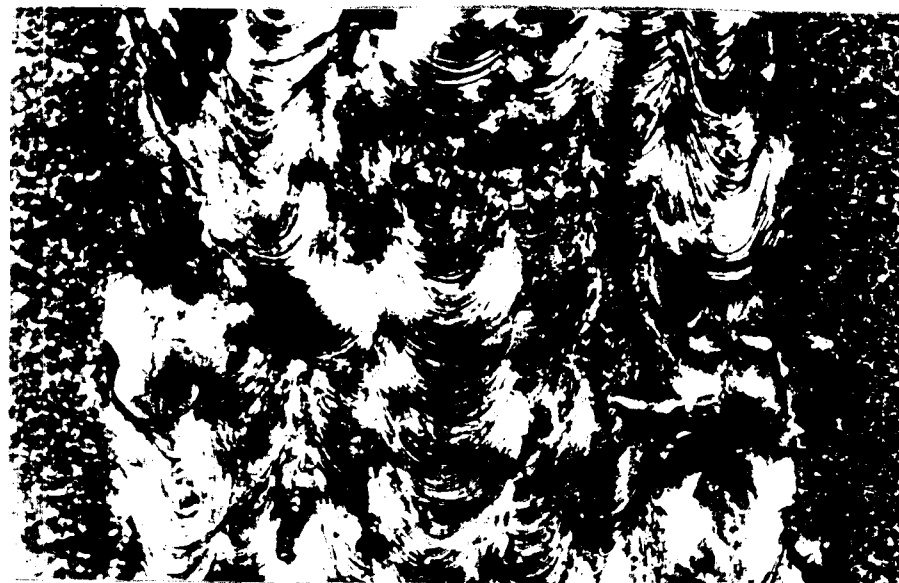
Po svařování vzhledem k velkému smrštění svaru se se vytvořil mezi plochami svařených desek 10° úhel, což je zmatek.

Bylo použité elektrody UTP 08 Nifer ϕ 3,25 - elektrický proud 85 A, úkos svaru je patrný z obr. 27.

Obr. 27. - Úkos litinových pro svařování



Obr. 28. Svar s elektrodou UTP 08 Nifer - A



Obr. 29. Zvětšený detail svaru s elektrodou UTP 08 Nifer-
- A 1



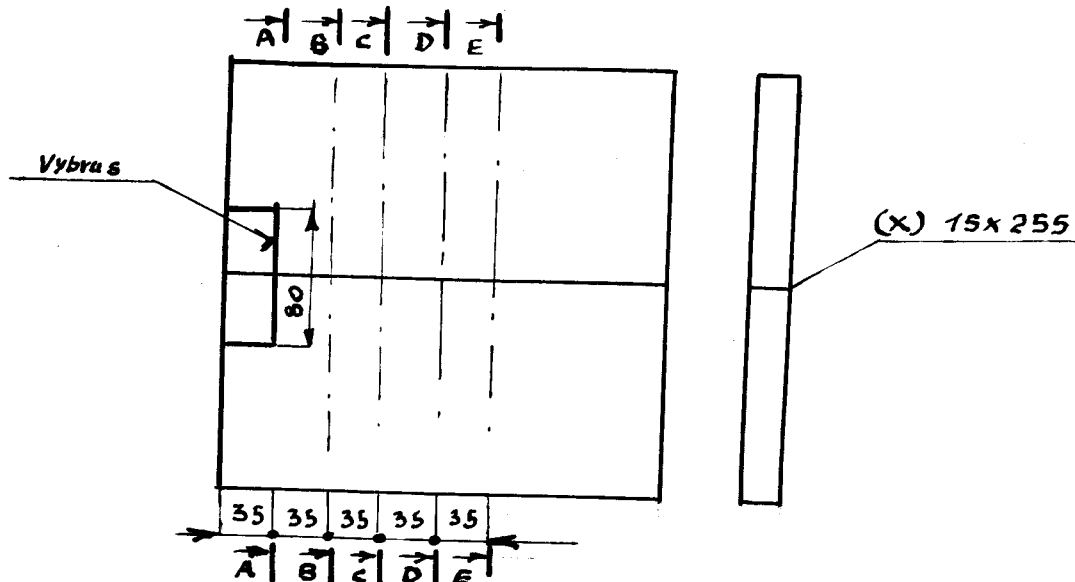
Obr. 30. Zvětšený detail svaru s elektrodou
UTP 08 Nifer - A 2



Obr. 31. Svar s elektrodou UTP 08 Nifer - B

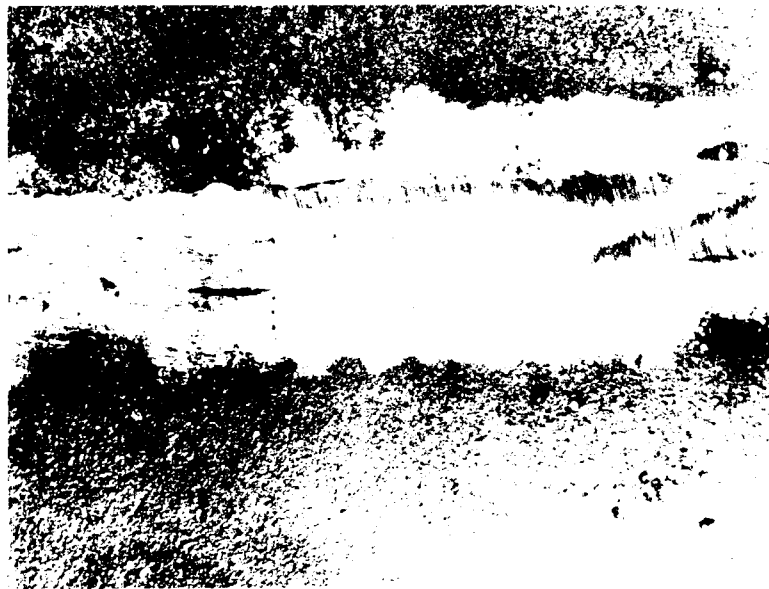
7.8.5. Bronz

Po svařování došlo k místním prasklinám a to podélným a příčným, převážně to byly praskliny příčné /6 - 2 mm až po celou šíři svaru a to v délce 100 mm svaru/.

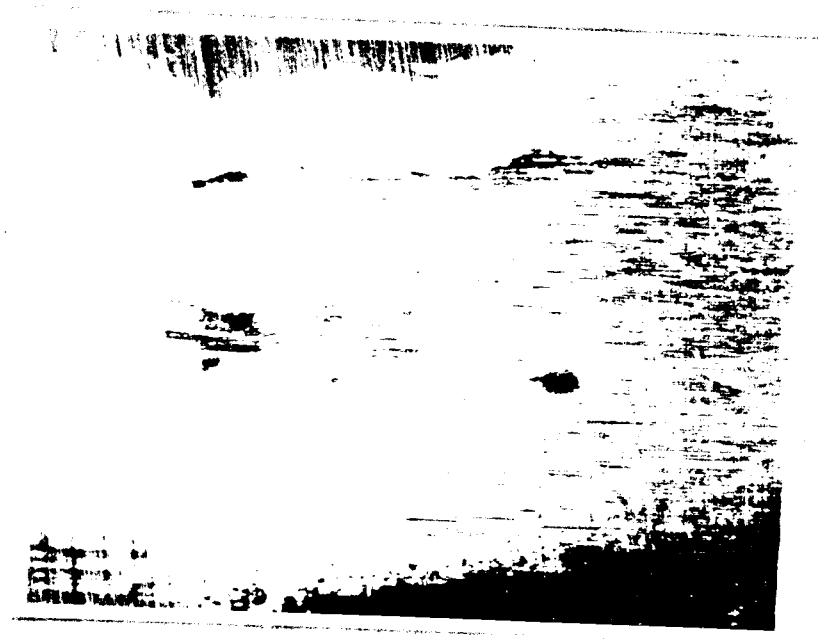


Obr. 32. Řezací plán

Řez A - metalografický výbrus a průběh tvrdosti ve spoji
Řez B až E - zkoušky pevnosti v tahu



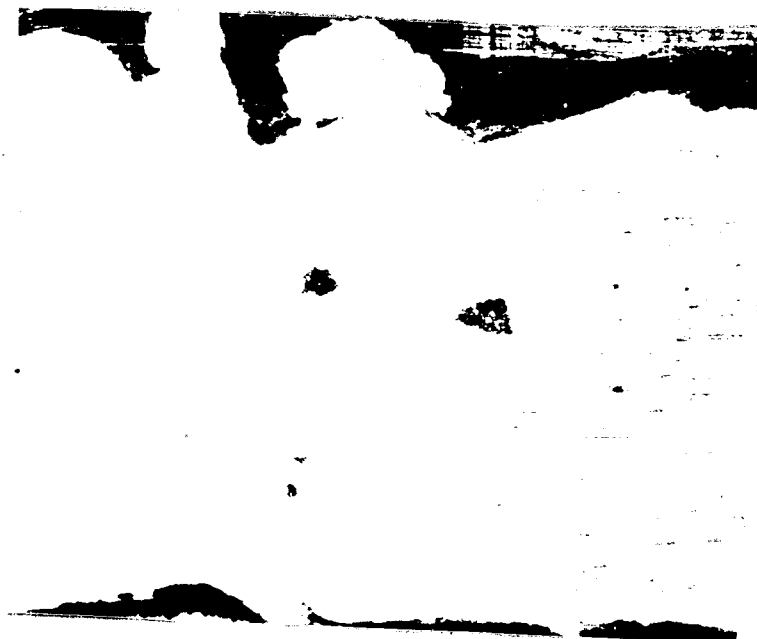
Obr. 33. Svar s elektrodou bronz - A



Obr. 34. Zvětšený detail svaru s elektrodou
bronz A



Obr. 35. Svar elektrodou bronz - B

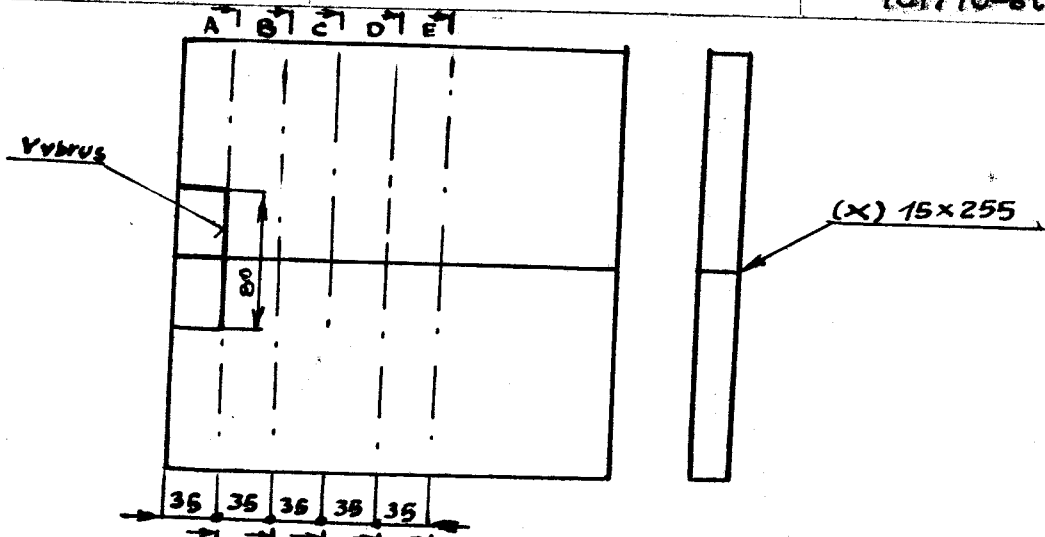


Obr. 36. Zvětšený detail svaru s elektrodou bronz - B

7.8.6. M e n e l

Pe svařování došlo k místním prasklinám a to na straně A - 9 příčných prasklin od 2 mm až po celý svar, 5 podélných prasklin velkých do 15 mm ve 100 mm naměřeného svaru. Ve straně B - 11 příčných prasklin velkých od 3 mm až po celý svar, 3 podélné praskliny velké do 7 mm v délce 100 mm svaru.

Tyto praskliny /podélné i příčné/ se vyskytují převážně ve svarovém kovu a v přechodovém pásma.



Obr. 37. Rezačí plán

Řez A - metalografický výbrus a průběh tvrdosti ve spoji
 Řez B až E - zkoušky pevnosti v tahu



Obr. 38. Svar s elektrodou Monel- A



Obr. 39.

Zvětšený detail svaru s elektrodou Monel - A



Obr. 40. Svar s elektrodou Monel - B

VSST Liberec

Svařování litiny elektr.
obloukem za studena.

Katedra

Fakulta strojní

DP787/70-str. 49

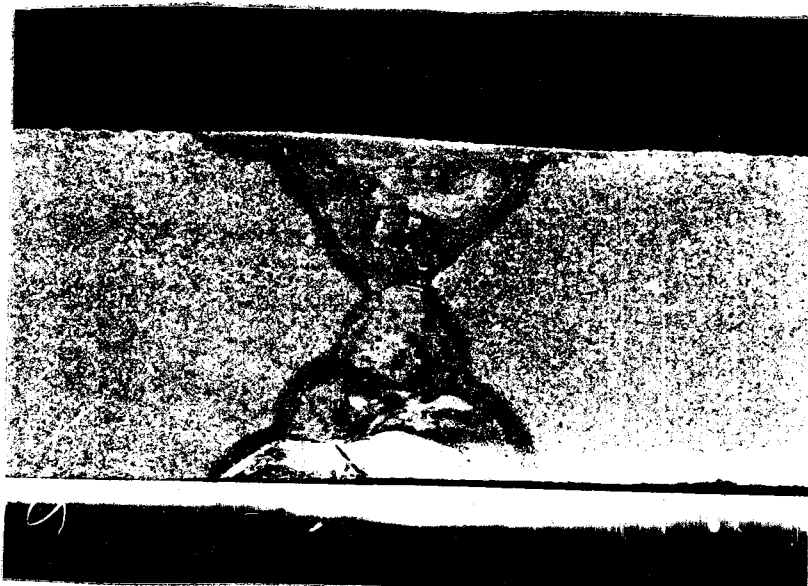


Obr. 41. Zvětšený detail svaru s elektrodou Monel- B

7.9 Vyhodnocení makrostruktury svařového spoje

7.9.1 E44.83



7.9.2. E Cu Fe 25 /E Bimetal/.

3x

Adler

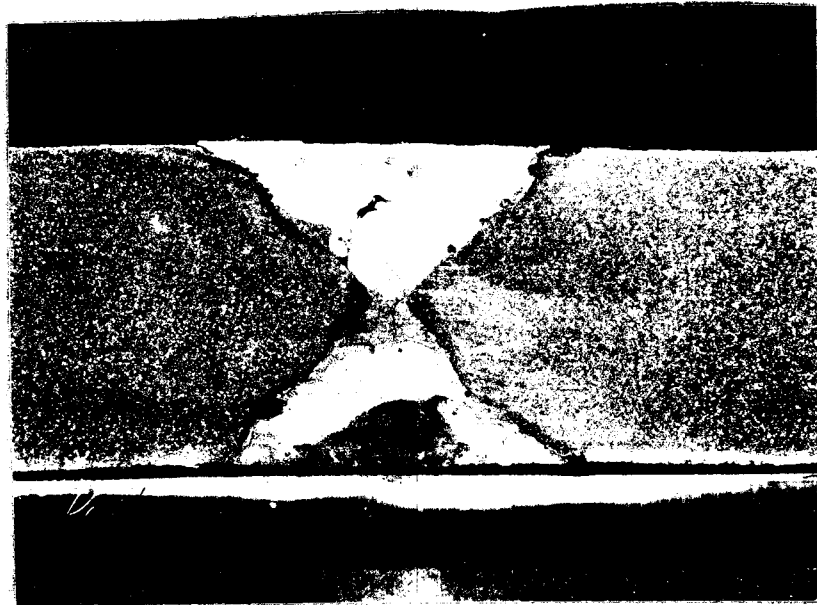
Obr. 43. Poměrně širší přechodové pásmo. Praskliny jsou v přechodovém pásmo. Dutiny se vyskytují poměrně více než v předchozím případě, rovněž tak póry. Svarový kov není homogenní.

7.9.3 E Ni 95 /E Nikelit/.

3x

Adler

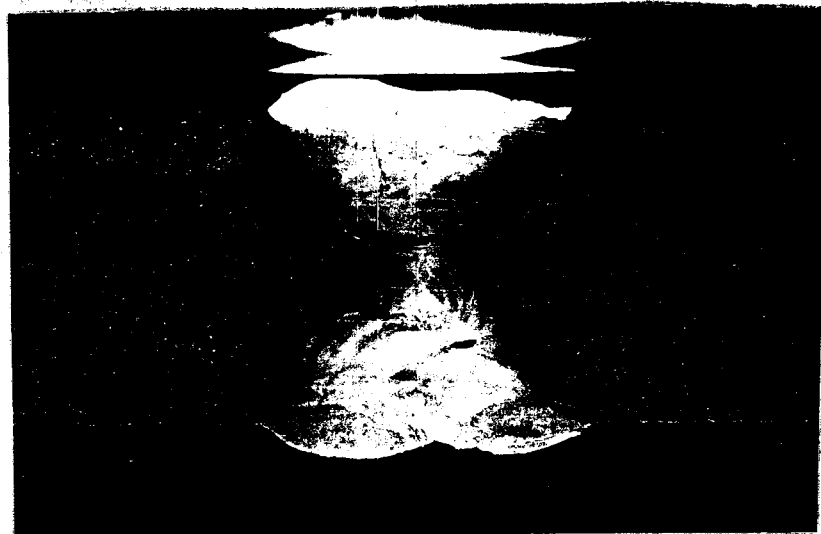
Obr. 44. Velmi široké přechodové pásmo. Praskliny a dutiny jsou v přechodovém pásmu a ve sv. kovu. Svarový kov je poměrně homogenní.

7.9.4. Bronz.

3x

Adler

Obr. 45. Poměrně úzké přechodové pásmo. Praskliny a dutiny v přechodovém pásmu i ve svarovém kovu. Svarový kov je homogenní.

7.9.5. Monel.

3x

Adler

Obr. 46. V přechodovém pásmu nejsou praskliny, ale převážně jen ve svarovém kovu. Přechodové pásmo je užší než ve obr. 42. Svarové kov je homogenní.

7.10. Metalografické vyhodnocení svarových spojů.

Výhodnocení bylo provedeno pouze v přechodovém pásmu a presentované obrázky zobrazují typické místo v přechodovém pásmu.

7.10.1. E 44. 83.

500x

3 % Nital

Obr. 47. V levém horním rohu je široké pásmo bílé litiny. Velmi široké pásmo martensitu /tmavé jehlicovité útvary/, pravděpodobně se zbytkovým austenitem.

7.10.2. E Cu Fe 25 /E Bimetal/.

500x

3 % Nital

Obr. 48. Přejíchodové pásmo charakterizuje jehlicovité martensitické útvary, pravděpodobně se zbytkovým austenitem. Toto přechodové pásmo je poměrně užší než v předchozím obrázku. V pravé části obrázu je vidět struktura základní hmoty litiny s lupinkovým grafitém.

7.10.3. E Ni 95 /Nikeřit/

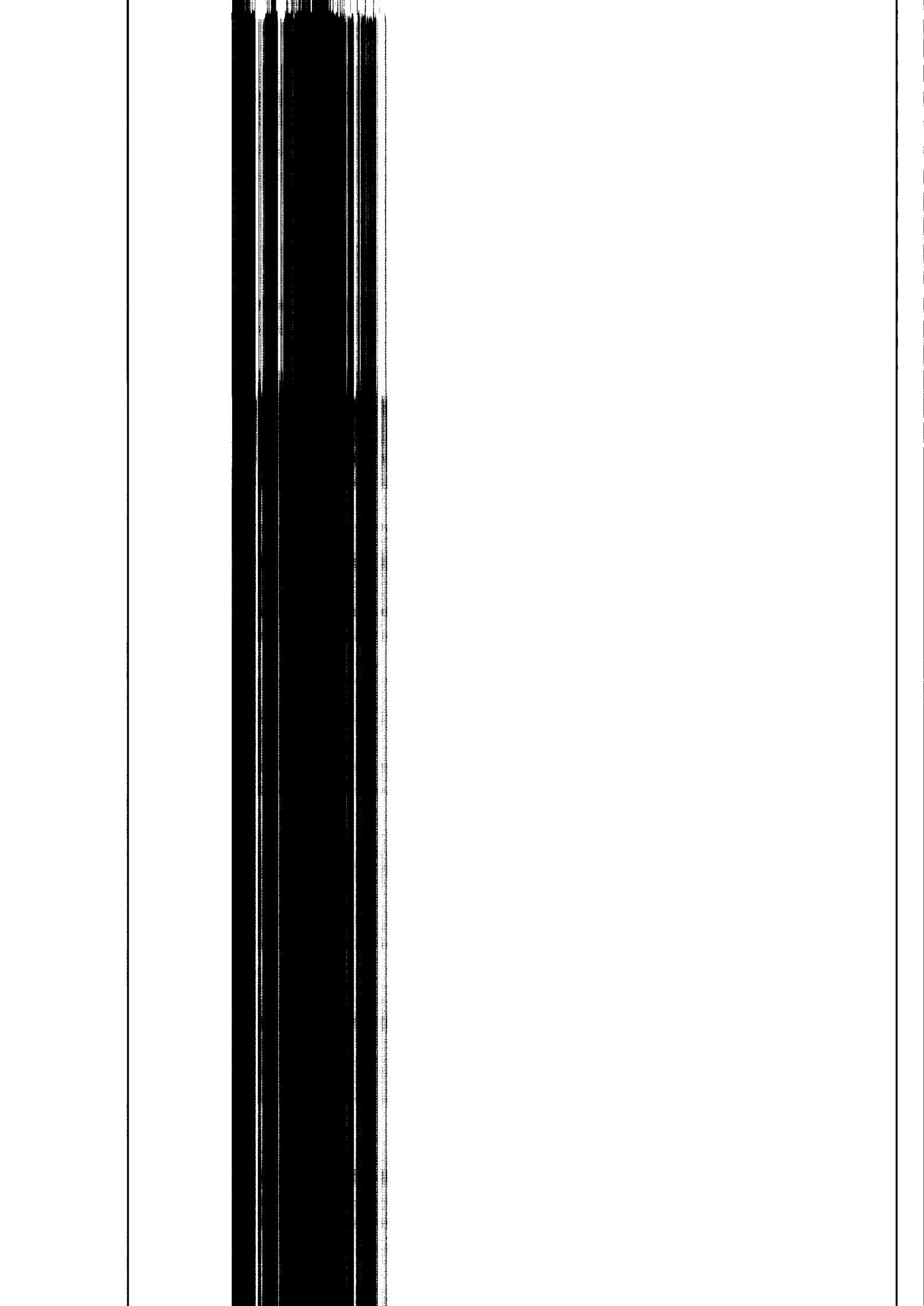


500x

3 % Nital

Obr. 49. Široké pásmo martensitu /tmavý jehlicovité útvary/, pravděpodobně se zbytkovým austenitem. V pásmu martensitu je patrný místy i grafit.

7.10.4. Bronz.



7.10.4. Bronz.

500x

3 % Nital

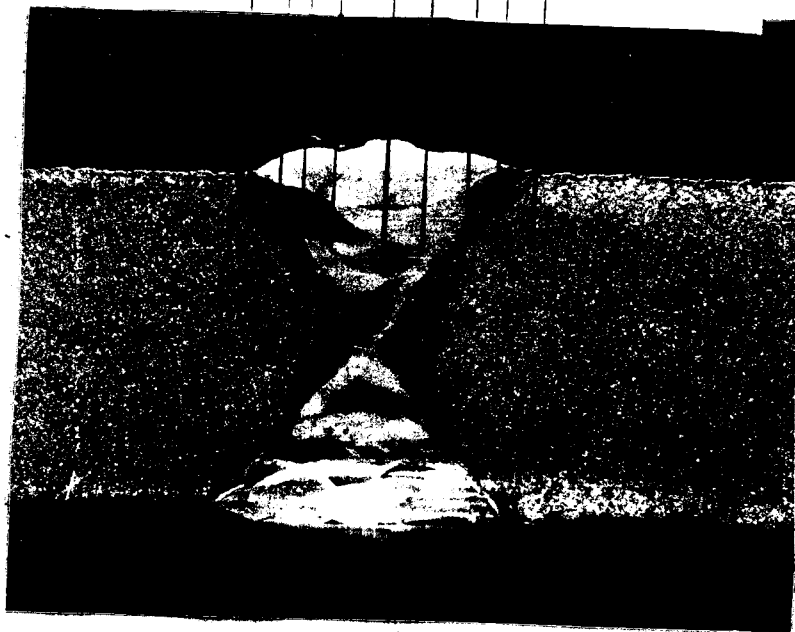
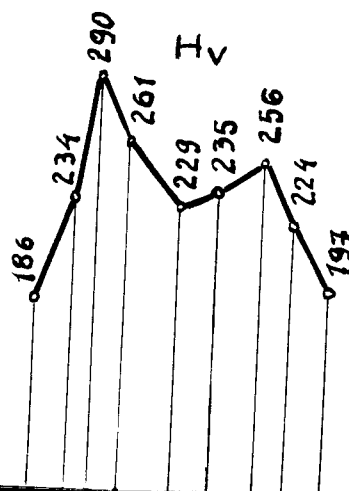
Obr. 50. V přechodovém pásmu je velmi široké pásmo bílé litiny (1) Malé pásmo martensitu /tmavé jehlicovité útvary/, pravděpodobně se zbytkovým austenitem. V pravé části obrazu je vidět strukturu základní hmoty litiny s lupinkovým grafitem.

7.10.5. Monel.

500x

3 % Nital

Obr. 51. Přechodové pásmo prochází z dole /na levé straně/nahoru, a pak pokračuje nahore na pravou stranu. Pásmo martensitu /tmavé jehlicovité útvary/, pravděpodobně se zbytkovým austenitem je v přechodovém pásmu v němž je místy i grafit, který sahá až do svarového monelového kovu.

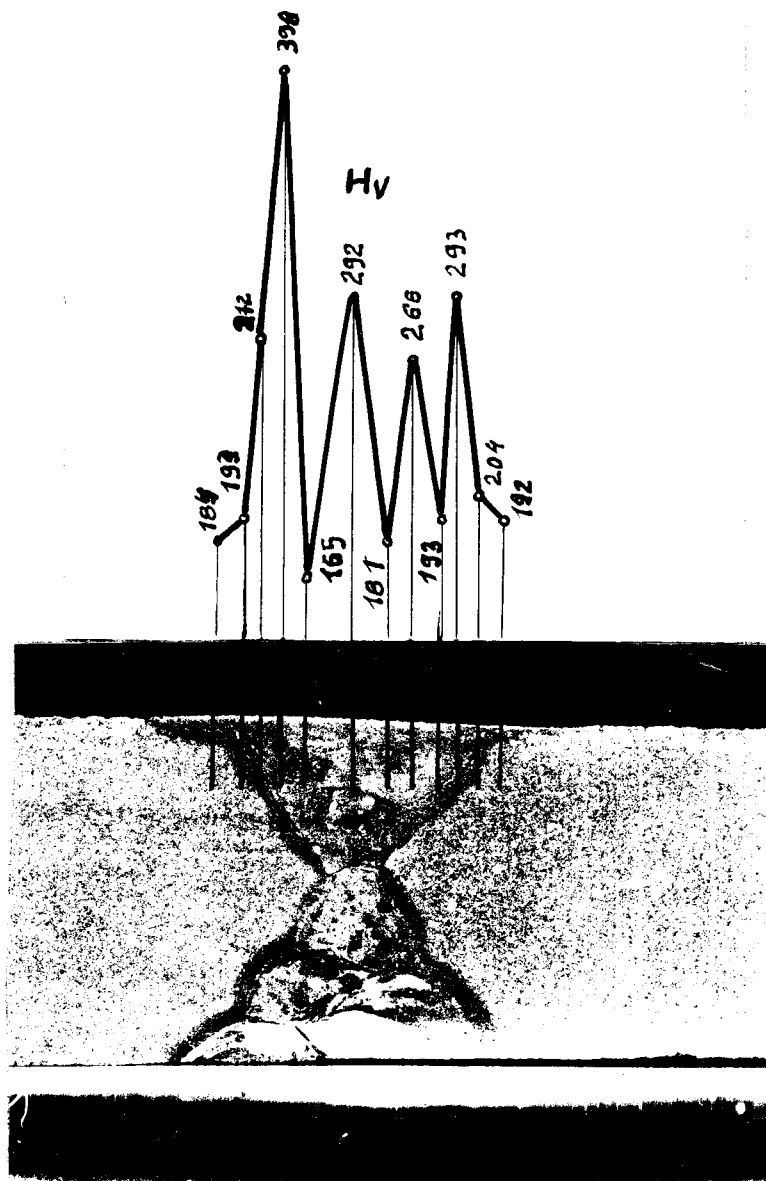
7.II. Průběh tvrdosti ve spoji.7.II.1. E 44. 83

3x

Adler

Obr.52. Průběh tvrdosti ve spoji elektrodou svařovanou

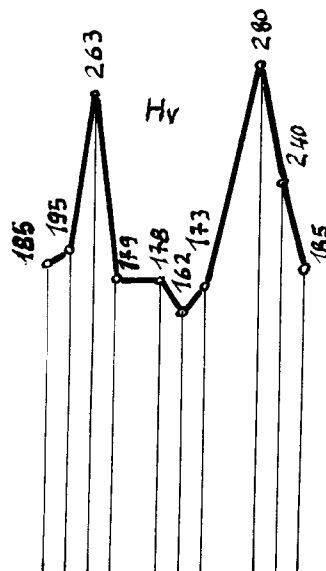
7.11.2. E Cu Fe 25 /E Bimetal/.



3x

Adler

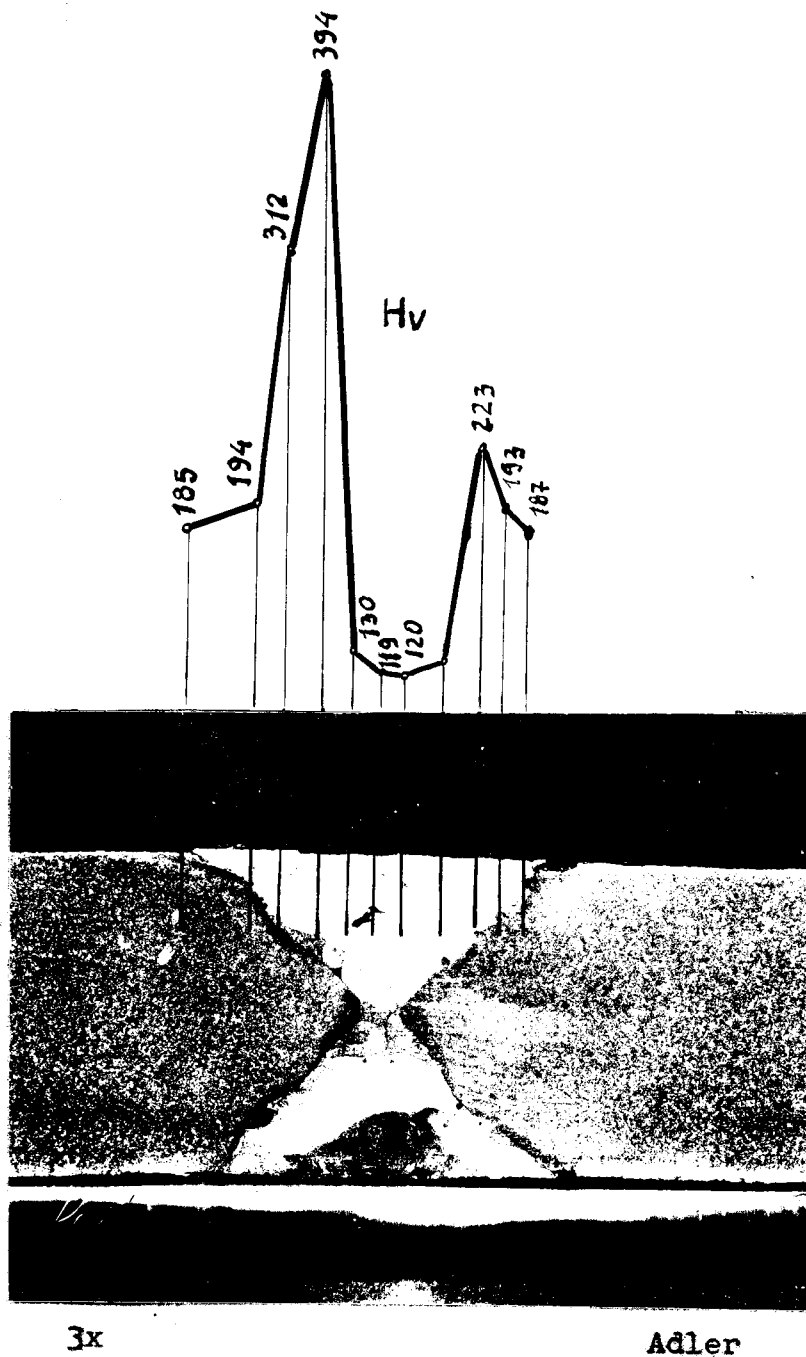
Obr. 53. Průběh tvrdosti ve spoji svařovan elektrodou E CuFe 25 /E Bimetal/. Nejvyšší tvrdosti v přechodovém pásmu/patrný z obrazu/.

7.11.3. E Ni 95 /E Nikelit/.

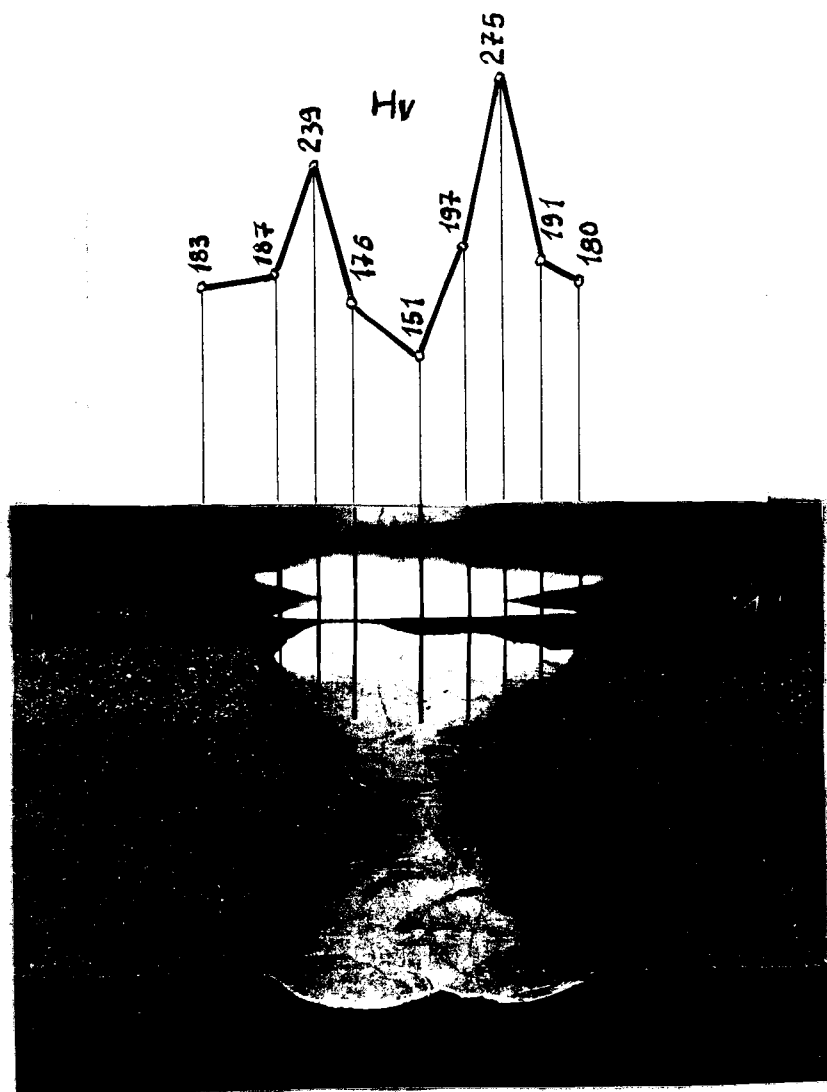
3x

Adler

Obr. 54. Průběh tvrdosti ve spoji svařovan elektrodou E Ni 95 /E Nikelit/. Nejvyšší tvrdosti v přechodovém pásmu, nejnižší tvrdost ve svařovém kovu /patrný z obrazu/.

7.11.4. Bronz.

Obr. 55. Průběh tvrdosti ve spoji svařovan elektrodou bronz. Nejvyšší tvrdosti v přechodovém pásmu, nejniší tvrdost ve svařovém kovu /patrný z obrazu/.

7.11.5. Monel.

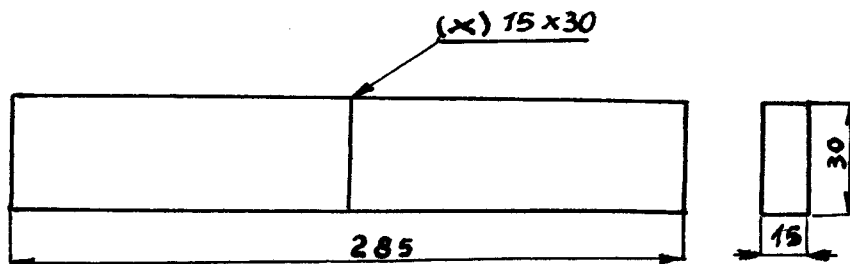
3x

Adler

Obr. 56. Průběh tvrdosti ve spoji svařovan elektrodou Monel. Nejvyšší tvrdosti v přechodovém pásmu, nejnižší tvrdosti ve svařovém kovu. /patrný z obrazu/

7.12. Pevnost ve spoji.

Z každé svařované desky byly vyrobeny 3 měřicí tělíska jejichž pevnost se zkoušela v trhacím přístroji "Veb Prüf Maschinen".



Obr. 57. Zkušební tyč.

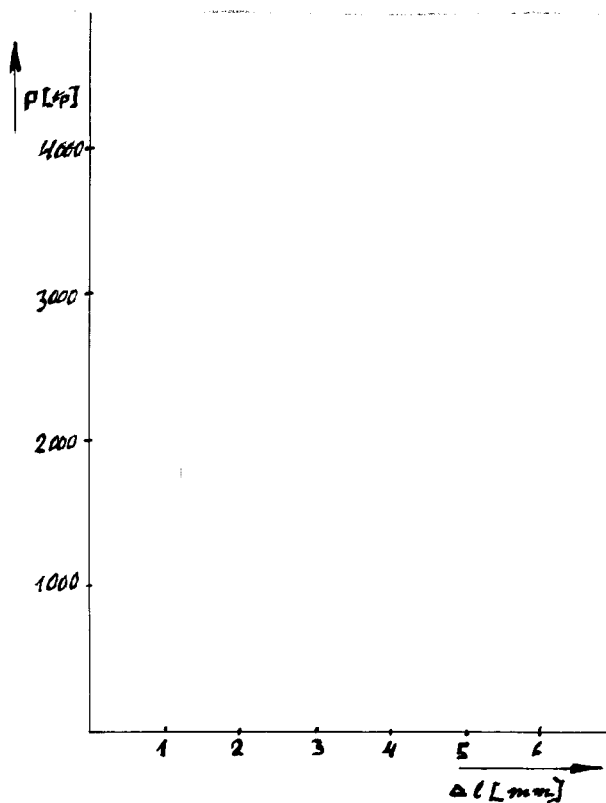
7.12.1. E 44.83.

Po přetržení zkušebních tyčí bylo na lomu možné pozorovat korozní napadení což zvědějí o značném vyskytu trhlin. Zkušební tělísko se přetrhlo v přechodovém pásmu v obr. 57 = b označeno tuší. Síly pro přetržení tělísek měly velké výkyvy.

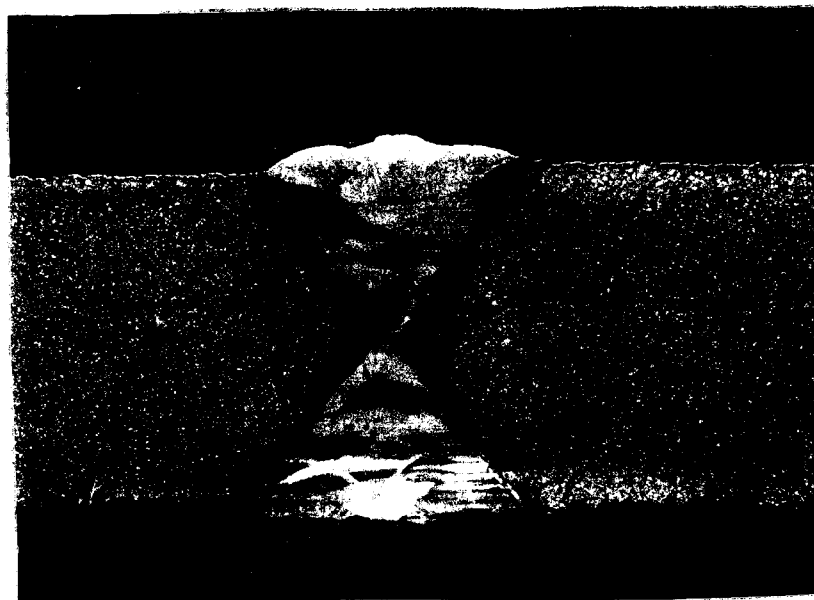
VZOREK	P_{max} [kN]	ϵ_{pc} [%]	ϕ ϵ_{pc} [1/n]
B	590	1,31	3,28
C	2500	5,55	
D	990	2,20	
E	1825	4,06	

Tabulka č. 7

VŠST Liberec	Svařování litiny elektr. obloukem za studena	Katedra S M
Fakulta strojní		DP 787/70 str. 63



Obr. 57a. Charakteristika průběhu trhačí zkoušky.



3x

Adler

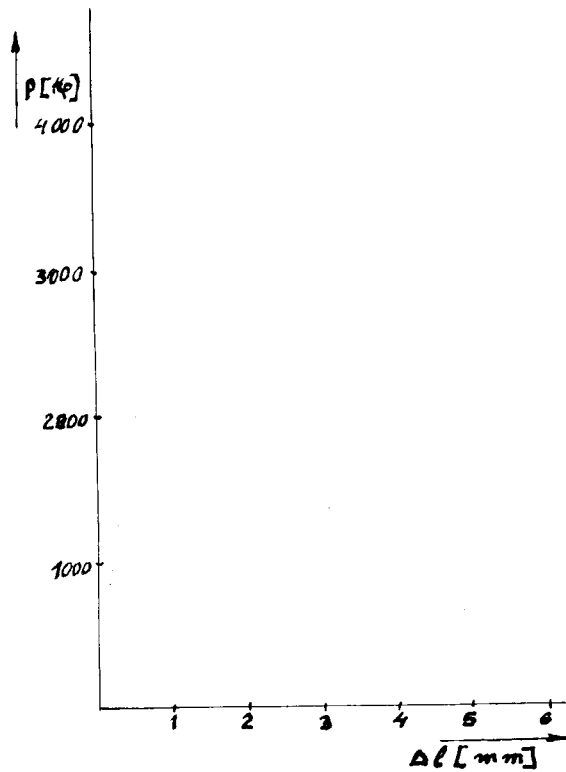
Obr. 57b. Charakteristické místo kde praskl spoj při trhačí zkoušce.

7.12.2. E Cu Fe 25 /E Bimetal/.

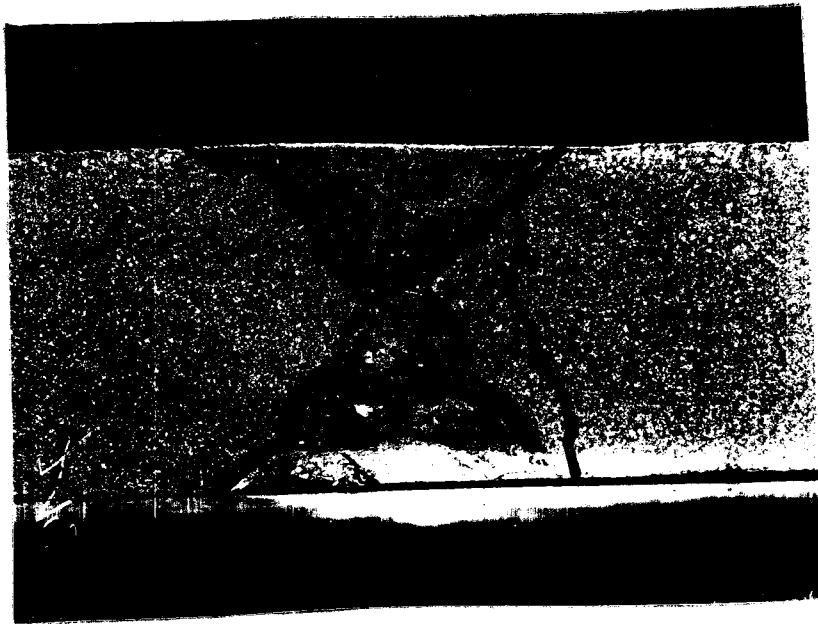
Zkušební tělísko se přetrhlo v základním materiálu a částečně v přechodovém pásmu v Obr. 58b. označeno tuší.

E Cu Fe 25 (E Bimetal)			
VZOREK	P_{max} [kP]	$\bar{\nu}_{pt}$ [kP/mm ²]	$\phi \bar{\nu}_{pt}$ [kP/mm ²]
C	2080	4,62	8,51
D	5320	11,82	
E	4080	9,1	

Tabulka č. 8



Obr. 58a. Charakteristika průběhu trhací zkoušky.



3x

Adler

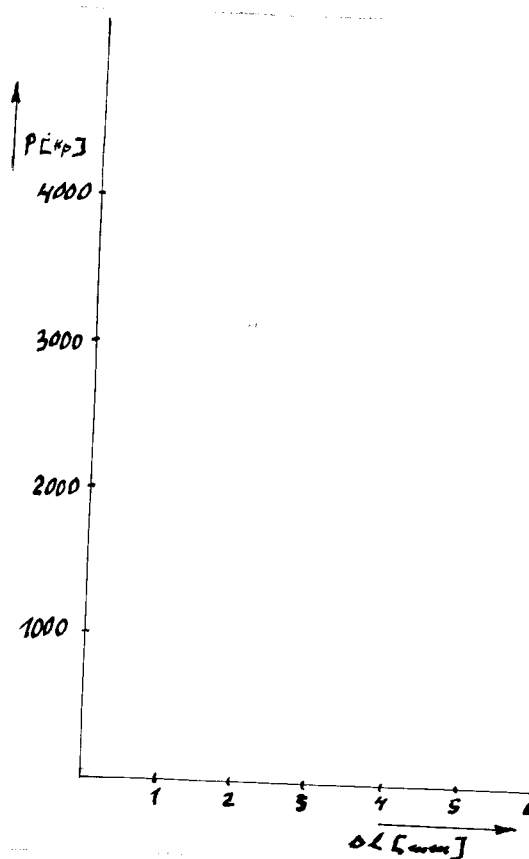
Obr. 58b. Charakteristické místo kde praskl spoj při trhací zkoušce.

7.12.3. Eni 95 /E Nikelit/.

Zkušební tělísko se přetrhlo částečně přes základní materiál, patrný v obr. 59b. označeno tuší. Lom charakterizuje výskyt volného grafitu.

ENi 95 (E-Nikelit)			
VZOREK	P_{max} [kF]	σ_t [kF/cm ²]	$\phi \sigma_{pe}$ [kF/cm ²]
C	3225	7,17	5,92
D	1625	3,6	
E	3150	7	

Tabulka č. 9.



Obr. 59a. Charakteristika průběhu trhací zkoušky.



3x

Adler

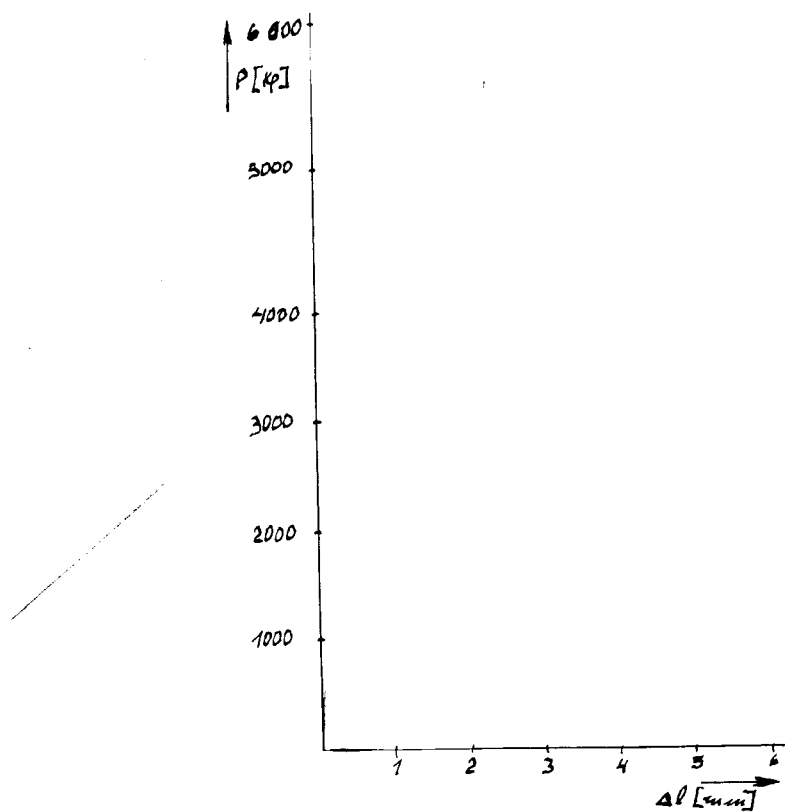
Obr. 59b. Charakteristické místo kde praskl spoj
při trhací zkoušce.

7.12.4. Bronz.

Zkušební tělísko se přethlo v základním materiálu v obr. 60b. označeno tuší.

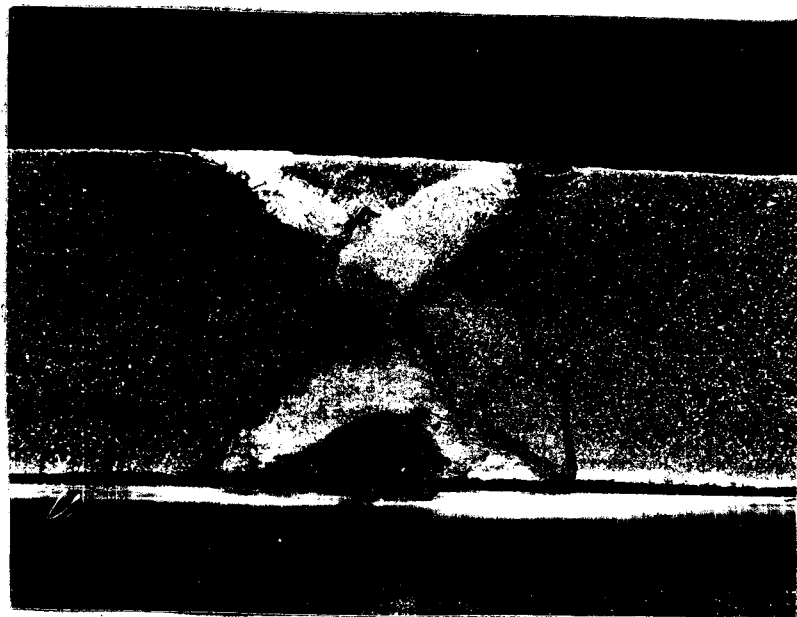
BRONZ			
VEDÁEK	P_{max} [kp]	\dot{V}_{pt} [kp/min ²]	$\phi \dot{V}_{pt}$ [kp/min ²]
C	3580	12,4	11,24
D	5450	12,1	
E	4150	9,22	

Tabulka č. 10.



Obr. 60a. Charakteristika průběhu trhací zkoušky.

VŠST Liberec	Svařování litiny elektr. obloukem za studena.	Katedra S M
Fakulta strojní		DP 787/70 str. 68



3x

Adler

Obr. 60b. Charakteristické místo kde praskl spoj při trhací zkoušce.

7.12.5. Monel.

Zkušební tělísko se přetrhlo v místě svaru v obr. 61b. označeno tuší. Lom charakterizuje homogenní lom.



3x

Adler

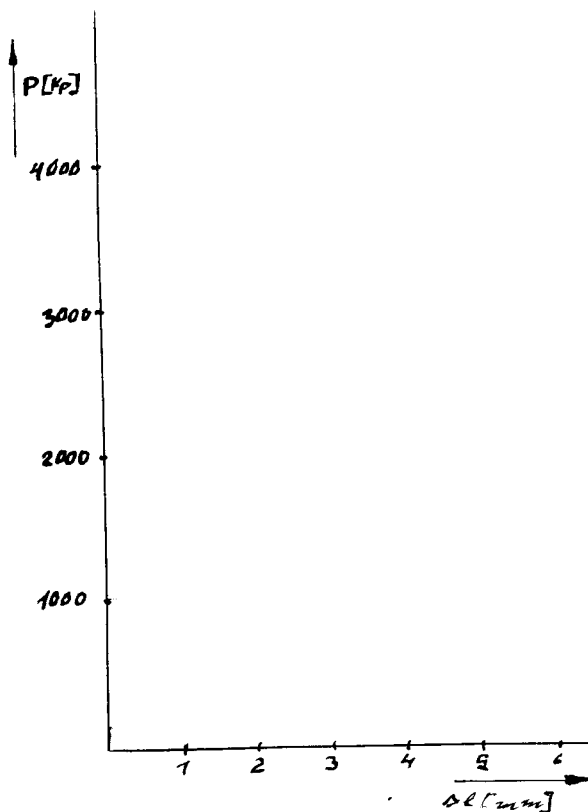
Obr. 60b. Charakteristické místo kde praskl spoj při trhací zkoušce.

7.12.5. Monel.

Zkušební tělísko se přetrhlo v místě svaru v obr. 61b. označeno tuší. Lom charakterizuje homogenní kov.

MONEL			
VZOREK	P_{max} [Kp]	σ_{pt} [Kp/mm ²]	ϕ_{pt} [Kp/mm ²]
C	1225	2,73	2,485
D	1005	2,24	
E	—	—	

Tabulka č. 11.



Obr. 61a. Charakteristika průběhu trhací zkoušky.



3x

Adler

Obr. 61b. Charakteristické místo kde praskl spoj
při trhací zkoušce.

SVAROVÝ SPOJ \bar{x} (ELEKTRODA)	VYSKYT TRHLIN VE SVARU		VYSKYT TRHLIN V PŘEHODOVEM PASMU		MAKRO- STRUKTURA
	PŘÍČNÉ	PODELNÉ	PŘÍČNÉ	PODELNÉ	
E 44.83	hodně	středně	hodně	hodně	nehomogenni
E Cu Fe 25 (E Bimetal)	malo	malo	malo	malo	nehomogenni
E Ni 95 (E Nikelit)	středně	malo	středně	středně	homogenni
UTP 08 NIFER	malo	malo	malo	hodně	
BRONZ	malo	malo	malo	malo	homogenni
MONEL	hodně	středně	hodně	malo	homogenni

Tabulka č. 12.

MIKROSTRUK- TURY V PŘECHODNEM PASMU	MAXIMALNI TVRDOSTI VE SVAROVEM SPOJI Hv	PRUMĚRNI PEVNOST SPOJE [Kp/m ²]
Martensit + bílá litina	290	3,28
Martensit	398	8,51
Martensit	280	5,92
Bílá litina(?) + martensit	394	11,24
Martensit	275	2,485

VŠST Liberec	Svařování litiny elektr. obloukem za studena.	Katedra SM
Fakulta strojní		DP 787/70 str.71

8. Z Á V Ě R

Při použití elektrody E 44 83 vznikalo hodně příčných a středně podélných trhlin ve svaru a hodně podélných i příčných trhlin v přechodovém pásmu. Makrostruktura byla nehomogenní, v mikrostrukturu se vyskytoval martenzit a bílá litina. Vzhledem k nízké pevnosti doporučuji použít na nenamáhané spoje.

Při svařování elektrodou E CuFe 25 /EBimetal/ vznikalo ve svaru i v přechodovém pásmu v podélném i příčném směru poměrně málo trhlin. Makrostruktura byla opět nehomogenní, v mikrostrukturu se vyskytoval pouze martenzit. Podle změřené pevnosti doporučuji na spoje, u nichž je požadovaná střední pevnost.

U svaru elektrodou E Ni 95 /E Nikelit/ bylo málo trhlin v podélném směru ve svaru, v příčném směru a v obou směrech v přechodovém pásmu bylo středně trhlin. Makrostruktura byla oproti předchozím homogenní, v mikrostrukturu se vyskytoval martenzit. Doporučuji použít na svary, u nichž je požadována nižší pevnost spoje.

U svaru elektrodou UTP 08 Nifer bylo málo trhlin podélných a příčných ve svaru, málo příčných a hodně podélných v přechodovém pásmu. Ostatní hodnoty ani struktury nebylo možno zjistit pro absolutní nedostatek těchto elektrod. První pokusné svary byly provedeny na deskách s ukosem do "U", což vedlo k velkým deformacím obou desek /vzájemný sklon cca 10°. Jelikož již nebyly další elektrody na nové vzorky, Použil jsem pro získání přehledu další dva typy, a to E Bronz a E Monel.

Při použití elektrody E Bronz bylo málo trhlin ve všech směrech ve svaru i v přechodovém pásmu. Makrostruktura byla homogenní, v mikrostrukturu byla bílá litina a martenzit. Doporučuji na svary s požadovanou vyšší pevností spoje.

U svaru elektrodou E Monel bylo hodně trhlin příčných ve svaru i v přechodovém pásmu, středně podélných trhlin ve svaru a málo podélných trhlin v přechodovém pásmu. Makrostruktura byla homogenní, v mikrostrukturu byl martenzit. Doporučuji pro nenamáhané spoje.

Úplný přehled o tomto podává tabulka č.12.

VŠST Liberec	Svařování litiny elektr. obloukem zastudena.	Katedra SM
Fakulta strojní		DP 787/70 str.72

Vzhledem k časové tísni jsem bohužel nemohl udělat větší množství zkoušek a průběhů, aby hodnocení bylo úplnější. Naměřené hodnoty slouží pouze ke vzájemnému porovnání použitých svarových materiálů a k získání celkového přehledu. Pro úplnost a porovnatelnost s veškerými svarovými materiály by bylo potřeba naměřit průběh tvrdosti nejméně v pěti různých místech, a i v metalografickém rozboru by bylo potřeba udělat mikroskopické snímky nejméně v osmi různých místech. Také pro zkoušku pevnosti na trhacím stroji by bylo vhodné použít tělíska odpovídající ČSN pro trhací zkoušku svarů šedé litiny. Tato tělíska bylo téměř nemožné vyrobit se stroji, které byly k dispozici, proto jsem použil alespoň taková, aby byly výsledky vzájemně porovnatelné.

V průběhu práce na diplomním úkolu jsem se setkal s plným pochopením a maximální ochotou pracovníků a zaměstnanců katedry, což mi umožnilo zdárné dokončení diplomního úkolu.

VŠST Liberec	Svařování litiny elektr. obloukem za studena	Katedra SM
Fakulta strojní		DP 787/70 str. 73

9. Literatura :

- 1/ Dítl prof.Ing.: Svařování a pájení litiny a oceli
na odlitky- Příručka svařování -
- Faltus a kol., SNTL Praha 1955
- 2/ Dítl prof.Ing.: Svařování šedé litiny v zahraničí
Zváranie 1967 str.384
- 3/ Vutkovski : Svařování šedé litiny za studena
Zváranie 1967 č.11
- 4/ Krňák R.: Svařování litiny SNTL Praha 1960
- 5/ Čabelka J.: Mechanická technológia VSAV Bratislava 1967
- 6/ UTP Katalog : Wer schweisst - hört auf uns !
- 7/ Brhlík, Hrabovec : Svářeč SNTL Praha 1968
- 8/ Kříž V.: Přehled svařování KTZ 122 SNTL Praha 1967
- 9/ Píšek F., Jeníček L.: Nauka o materiálu III + II + I
ČSAV Praha 1962