Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: technologie a nauky o mater.

Fakulta: strojní

Školní rok: 1972/73

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Jiřího KOZJŮRU

odbor 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 spojovacího hřídele /kardanu/ nákladního vozu Š-706.

Pokyny pro vypracování:

1. Prostudujte literární údaje o svařitelnosti ocelí s vyšším obsahem uhlíku a konstrukčních legovaných ocelí se zřetelem na téma diplomového úkolu.
2. Proveďte rozbor současných nedostatků při svařování spojovacího hřídele a navrhněte nejvhodnější metodu a podmínky svařování.
3. Požadované a předpokládané mechanické vlastnosti svarového spoje ověřte metalograficky, zkouškami tvrdosti a vrubové houževnatosti na ověřovacích svarech.
4. Porovnejte dosažené výsledky jakosti svarového spoje s výsledky současnými a proveďte konečný návrh na svařování spojovacího hřídele Š-706.

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro [illegible] zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962-Věstník MŠK XVII, 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

S
V 125/1973

Rozsah grafických laboratorních prací: grafy, tabulky, fotografie mikrostruktur svarového spoje.

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

1. Séferian, D.: Nauka o kovech ve svařování oceli, SNTL Praha 1962
2. Pilous, J.: Konstruktér a tavné svařování oceli. SNTL Praha 1964
4. Jech, J.: Tepelné zpracování oceli. SNTL Praha 1969
3. Hoskovec, J.: Svařitelnost železných kovů a zkoušky svařitelnosti. ČVTS Pardubice 1971.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Belda CSc

Konzultanti: Ing. B. Kubíček

Datum zahájení diplomové práce: 18. 10. 1972

Datum odevzdání diplomové práce: 7. 7. 1973

Doc.Ing. Václav Chaloupecký CSc
vedoucí katedry

Prof.Ing.Dr.techn. Frant. Kotšmíd
děkan

V Liberec dne 16. 10. 1972

VŠST Liberec	Svařování spojovacího hřídele	DP - ST - 1004/73
Fakulta strojní		KTM

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

D I P L O M O V Á P R Á C E

1972 - 73

Jiří Kozjůra

VŠST Liberec	Svařování spojovacího hřídele	DP - ST - 1004/73
Fakulta strojní		KTM

Svařování spojovacího hřídele /kardanu/
nákladního vozu Š-706

Diplomant: Jiří Kozjůra

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Belda CSc

Diplomová práce se zabývá problematikou svařování spojovacího hřídele nákladního automobilu Š-706.

V teoretické části jsou rozebírány otázky svařitelnosti ocelí s vyšším obsahem uhlíku a konstrukčních legovaných ocelí a otázky svařování v schranné atmosféře kysličníku uhličitého.

Praktická část obsahuje popis spojovacího hřídele, popis používaného svařovacího stroje a dále přípravu a provedení experimentálních prací. V rámci experimentálních prací byl proveden rozbor současného stavu svařování spojovacího hřídele a navržena opatření k jeho zlepšení. Některá z navržených opatření byla experimentálně ověřena na ověřovacích svarech zkušebních těles, a výsledky byly porovnány se současným stavem. K tomuto účelu byly provedeny metalografické rozbory, zkoušky tvrdosti a vrubové houževnatosti.

Závěrem byl proveden konečný návrh na svařování spojovacího hřídele.

Místo vyhotovení a obhajoby diplomové práce:

n.p. LIAZ Rýnovice
KTM VŠST Liberec

O b s a h :

		str.
1.	ÚVOD	2
2.	TEORETICKÁ ČÁST	4
2.1.	Svarový spoj	4
2.2	Svařitelnost ocelí	6
2.2.1.	Definice svařitelnosti	6
2.2.2.	Stupně svařitelnosti	6
2.2.3.	Praskavost svarů	7
2.2.4.	Vliv materiálových vlastností oceli na svařitelnost	10
2.2.5.	Vliv podmínek technologie svařování na svařitelnost	12
2.2.6.	Absorpce plynů ve svaru	13
2.2.7.	Opatření ke zlepšení svařitelnosti	14
2.3.	Svařování v ochranné atmosféře CO_2	16
3.	PRAKTICKÁ ČÁST	22
3.1.	Popis spojovacího hřídele	22
3.1.1.	Výpis z norem ocelí dle ČSN	23
3.2.	Popis svařovacího stroje LPU 104	25
3.3.	Experimentální práce	27
3.3.1.	Určení kritického svaru spoj. hřídele	27
3.3.2.	Návrh opatření při svařování spoj. hřídele	28
3.3.3.	Návrh zkušebních těles	31
3.3.4.	Provedení ověřovacích svarů	33
3.3.5.	Zkušební tělíska, jejich odběr a označení	35
3.3.6.	Provedení zkoušek	38
4.	ZHODNOCENÍ	51
4.1.	Zhodnocení současného stavu	51
4.2.	Porovnání kvality svarů původní technologií s kvalitou ověřovacích svarů	52
4.3.	Konečný návrh na svařování spoj. hřídele	54
5.	ZÁVĚR	56
	Použitá literatura	58
	Přílohy	

1. ÚVOD

K dobrému jménu československé automobilové výroby přispívají také nákladní automobily Škoda 706, vyráběné národním podnikem LIAZ. Nákladní automobily Š-706 si získaly oblibu díky své tradiční robustnosti, spolehlivosti a dobrým výkonům. Jejich konstrukce i výroba je neustále zdokonalována tak, aby jejich výkonové parametry a užitkové vlastnosti se zlepšovaly. V současné době je v n.p. LIAZ ve vývoji nová typová řada nákladních automobilů, vycházející z původních Š-706, s vyššími parametry a výkonnějším motorem. Pro tyto nové nákladní automobily byl vyvinut také nový spojovací hřídel hlavního náhonu /kardan/. Pro svařování spojovacího hřídele byl v n.p. LIAZ zkonstruován a vyroben jednoúčelový svařovací stroj LPU 104 pro svařování v ochranné atmosféře kysličníku uhličitého. Vycházelo se z obdobného svařovacího stroje na svařování spojovacího hřídele staré typové řady.

Při ověřovacím provozu svařovacího stroje LPU 104 se projevily některé nedostatky, především byly ve svarech zjištěny zákalné struktury, trhliny, bubliny, velké převýšení svaru a jiné vady. Proto byly v n.p. LIAZ zkušmo měněny svařovací parametry a tím se měnila jakost svarů [20]. Tímto způsobem zjištěné optimální svařovací parametry jsou v současné době používány při náběhu výroby nového spojovacího hřídele. Podobné vady byly zjištěny i u svarů původního spojovacího hřídele, svařovaného v ochranné atmosféře CO_2 na původním obdobném svařovacím stroji. Spojovací hřídele a jejich svary jsou zřejmě předimenzovány, neboť se u vyráběných automobilů Š-706 nevyskytovaly závady a havárie spojovacích hřídelů, způsobené nekvalitními svary. Namáhání nákladních automobilů v rozšiřujícím se silničním provozu roste, a spolu se zvyšujícími se požadavky na přepravní výkony rostou i nároky na kvalitu nákladních automobilů. Také vývoj nové typové řady nákladních automobilů Škoda jde směrem k vyšším vý-

konům a je tedy stále více aktuální zabývat se i kvalitou svarů spojovacího hřídele.

Cílem této diplomové práce je na základě rozboru současných nedostatků při svařování spojovacího hřídele navrhnout taková opatření, aby kvalita svarů byla vyhovující.

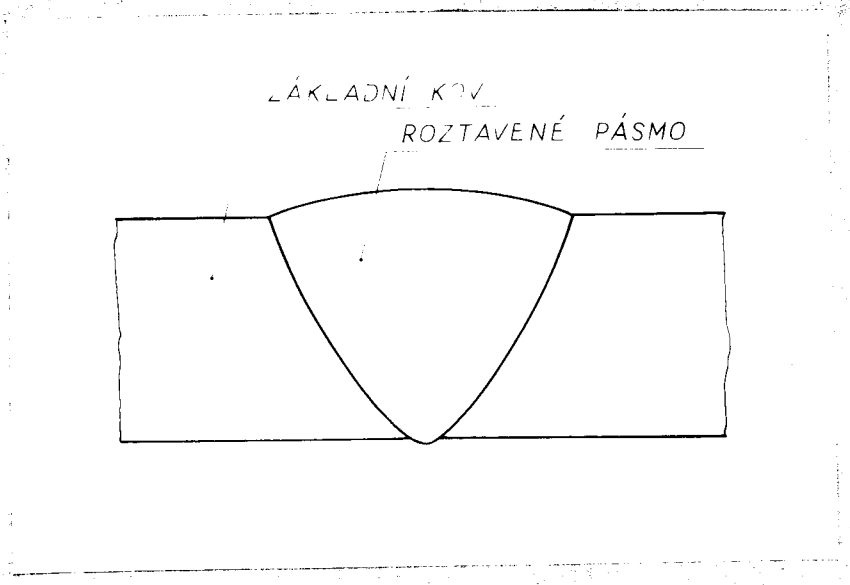
Oddělení racionalizace v n.p. LIAZ v současné době řeší tématický úkol unifikace spojovacích hřídelů nákladních automobilů vyráběných v rámci ČAZ, a tedy tato diplomová práce vhodně do tématického úkolu zapadá a měla by též přispět k jeho řešení.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Svarový spoj

Konečným cílem svařování je dosáhnout dokonalého svarového spojení a rovnoměrných vlastností spoje, zejména vlastností mechanických.

Ve svarovém spoji lze zřetelně odlišit dvě ostře ohraničené části; roztavené pásmo a základní kov /obr.1/.

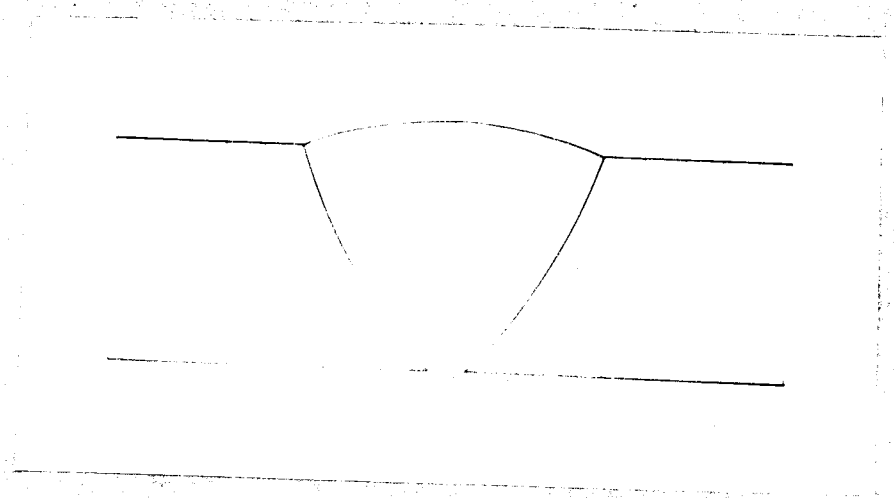


obr. 1

Roztavené pásmo je tvořeno ztuhlým kovem, který během tavení a tuhnutí prodělává určité přeměny chemické, fyzikální a strukturní. Chemické přeměny jsou např. oxidace slitinových prvků, vázání legujících prvků, absorpce plynů apod. Přeměny fyzikálně chemické nebo strukturní jsou např. orientace a zhrubnutí zrna, tvoření zakalených nebo částečně zakalených struktur apod. Důsledkem těchto přeměn jsou změny mechanických vlastností, zvýšení křehkosti svarového kovu, tvoření bublin, zvýšení náchylnosti ke tvoření trhlin, snížení odolnosti proti korozi apod.

Základní kov prodělává tepelné zpracování, jež je v každém bodě jiné, podle tepelného cyklu vyvolaného svařováním. Tepelný cyklus je ovlivněn metodou a parametry svařování, tepelnou vodivostí kovu a tloušťkou svařovaných součástí. U ocelí může tepelný cyklus vyvolat strukturní přeměny působící přílišné zhrubnutí zrn a přeměny fyzikálně chemické, jako kalení, až do určité vzdálenosti po obou stranách od osy svaru. Rozsah těchto přeměn závisí jednak na tepelném cyklu, jednak na chemickém složení svařované oceli.

Podle stupně tepelného ovlivnění základního kovu při svarovém spojení rozeznáváme tato pásma /obr.2/:



obr. 2

Pásmo přehřáté /A/: nejblíže u svarového kovu, teplota v tomto pásmu je vysoko na A_3, asi 1100 - 1500°C, struktura v tomto pásmu je hrubá a křehká.

Pásmo žíhané /B/: označované někdy jako pásmo normalizace, teplota nad A_3, asi 900 - 1000°C, struktura rovnoměrná, jemná.

Pásmo ohřáté /C/: někdy označované jako pásmo smíšené, teploty mezi A_1 - A_3, tj. asi 720 - 910°C, dochází zde k nedokonalému žíhání, struktura nerovnoměrná.

Pásmo základního kovu tepelně neovlivněného /D/: teplota pod A_1 /720°C/, nedochází zde ke strukturním změnám.

V běžné praxi je zvykem označovat pásma /A,B,C/ souhrnně jako pásmo ovlivněné, pásmo /D/ jako pásmo neovlivněné. Šířka pásem závisí velmi na způsobu svařování - při svařování plamenem jsou pásma značně širší a přechody mezi nimi jsou méně náhlé než u svařování elektrickým obloukem.

2.2. Svařitelnost ocelí

2.2.1. Definice svařitelnosti

Svařitelnost je komplexní charakteristika materiálu, která určuje, za daných podmínek svařování, vhodnost daného materiálu pro spoje předepsané jakosti.

2.2.2. Stupně svařitelnosti

Podle ČSN 42 0425 jsou oceli pro svařování rozděleny do čtyřech stupňů:

Zaručeně svařitelné - tímto stupněm svařitelnosti jsou označovány oceli, u nichž lze požadované jakosti svarů dosáhnout při všech způsobech tavného svařování za teplot až do 0°C. Při svařování za nižších teplot jen při dodržení zvláštních opatření při svařování. Ocel lze užít pro konstrukce a součásti namáhané dynamicky i při nižších venkovních teplotách.

Zaručeně podmíněně svařitelné - výrobce zaručuje u takto označených ocelí svařitelnost při dodržení předem určených podmínek svařování. Tyto oceli jsou vhodné pro svařované součásti namáhané staticky.

Dobře svařitelné - oceli označené tímto stupněm svařitel-

nosti dávají většinou vyhovující svarový spoj, ale výrobce oceli nezaručuje svařitelnost ani za zvláštních opatření při svařování. Používají se na podřadné staticky namáhané konstrukce a na důležité opravy.

Obtížně svařitelné - obvykle nedávají jakostní svarový spoj, ani za zvláštních opatření při svařování. Nedoporučují se běžně používat pro svařované součásti, pouze pro nutné opravy.

Zvláštními opatřeními při svařování se rozumí vybrané způsoby svařování, předehřev a tepelné zpracování svařované oceli před svařováním i po něm.

Nedostatečná svařitelnost se projevuje tvorbou částečně zakalených až zakalených struktur v přehřátém pásmu základního kovu, což může vést až ke vzniku trhlin.

2.2.3. Praskavost svarů

Mezi jevy, které omezují svařitelnost kovu nebo slitiny je nejdůležitější sklon ke tvoření trhlin v základním kovu v bezprostřední blízkosti svaru.

Rozlišujeme dvě velké skupiny trhlin způsobených různými příčinami, jež jsou často na sobě nezávislé.
Trhliny ve svarovém kovu - obvykle souvisí s jakostí přídavného kovu nebo elektrody a jsou rovněž závislé na podmínkách svařování, vadách, vměstcích, bublinách apod., které mohou vzniknout v tomto pásmu. Tvoří se obvykle při vysoké teplotě a také během tuhnutí.

Ve svarovém kovu mohou vzniknout trhliny typu 1, nebo příčné trhliny typu 2, které se omezí na svarový kov nebo se mohou prodloužit až do základního kovu, typ 3. U vysokolegovaných ocelí mohou vzniknout i trhliny typu 4. Trhliny typu 1,2,3,4 viz obr. 3.

Náchylnost svarového kovu ke tvoření trhlin se zvyšuje používáním elektrod vysoké pevnosti, kdy ve svarovém kovu mohou být přítomny křehké struktury, a také přílišným zhrubnutím zrna.

Trhliny v základním kovu - souvisí se svařitelností základního kovu nebo s činiteli působícími křehkost, jako je absorpce vodíku apod. Vznikají nejčastěji při nízké teplotě, kolem 200°C, a někdy dokonce až za několik hodin nebo dní po provedení svarového spoje.

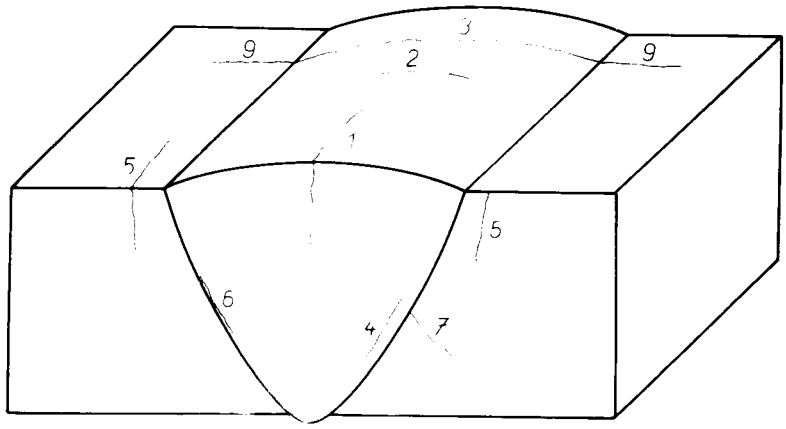
V základním kovu mohou vzniknout trhliny:

- v pásmu přeměny /vada 5, obr.3/, které jsou zpravidla rovnoběžné s přechodovým pásmem a mohou být způsobeny přítomností vodíku,

- v pásmu závaru /vada 6, obr.3/, často vystupující na povrch; jejich vznik souvisí s různou tepelnou roztažností základního a přídavného kovu,

- svislé trhliny /vada 7, obr.3/, jejichž vznik souvisí se strukturními přeměnami v základním kovu,

- příčné trhliny v základním kovu /vada 9, obr.3/, související s příčnou trhlinou svarové housenky /vada 3, obr.3/ a jsou důsledkem jakosti základního kovu nebo příliš velkých pnutí u velkých tloušťek základního materiálu; jsou méně časté.



obr. 3

V určitém svaru se tvoří nejčastěji trhliny téhož typu. Jsou-li v pásmu přeměny křehké struktury /jako je martenzit/, provázené pnutím, vznikají trhliny typu 5,6 nebo 7.

Podle velikosti rozdělujeme trhliny na mikrotrhliny /zjistitelné mikroskopem při velkém zvětšení/ a trhliny /zjistitelné pouhým okem nebo lupou/.

Na vznik trhlin mají největší vliv uhlík, křemík, fosfor, síra a vodík.

Uhlík - snižuje houževnatost svaru za tepla. Ocel rychle křehne, když obsah uhlíku stoupá.

Křemík a fosfor - působí na tvoření trhlin v přechodovém pásmu nepřímo tím, že podporují segregaci síry.

Síra - v podobě sirníku železnatého FeS tvoří se železem kolem 985°C eutektikum, které vzniká na hranicích zrn, což zvyšuje sklon k tvoření trhlin. Vliv síry je tím větší, čím vyšší je obsah uhlíku v oceli.

Vodík - má vliv na tvoření trhlin v přechodovém nebo závarovém pásmu /vodíková křehkost kolem 200°C/.

Vznik a rozšiřování trhlin podporuje vnitřní pnutí ve svarech, které vzniká vlivem tepelného spádu, zvlášť při velkých tloušťkách svařovaného materiálu a vlivem strukturních přeměn./vznik martenzitu je provázen značným pnutím, které způsobuje křehkost a tvrdost této složky/. Sklon k tvoření trhlin je závislý především na chemickém složení základního kovu, druhu elektrody a na počáteční teplotě základního materiálu.

Tvoření trhlin je možno snížit nebo zamezit:
- použitím elektrod o malém obsahu vodíku,
- použitím austenitických elektrod /větší rozpustnost vodíku/,
- předehříváním součástí před svařováním .

Svařitelnost oceli závisí na:
- materiálových vlastnostech oceli /chemické složení oceli, metalurgické vlastnosti oceli tj. výskyt vycezenin a pod., tloušťka a hmotnost svařovaného materiálu apod./,
- podmínkách technologie svařování.

Na jakost svarového spoje spolupůsobí i správná konstrukce a tvar svařence, volba přídavného materiálu a kvalifikace svářeče.

2.2.4. Vliv materiálových vlastností oceli na svařitelnost

a/ Vliv chemického složení oceli

Uhlík - je základním prvkem, který ovlivňuje svařitelnost oceli. Je to prvek austenitotvorný, zvyšuje kalitelnost, nebo vytváří karbidy. Ve svařitelných ocelích má být jeho obsah maximálně 0,22%.

Mangan - jako prvek austenitotvorný zvyšuje kalitelnost. V přídavných drátech a elektrodách naopak působí příznivě, neboť silně odkysličuje. Ve svařitelných ocelích má být jeho obsah maximálně 2%.

Nikl - prvek austenitotvorný, zvyšuje kalitelnost oceli. Při nízkém obsahu nikl zlepšuje houževnatost svarů, zjemňuje zrno a příznivě působí na přechodovou teplotu.

Chrom - feritotvorný prvek, zvyšuje kalitelnost oceli.

Křemík - prvek feritotvorný, ale podobně jako mangan má silně dezoxidační účinek. V ocelích pro svařování má být jeho obsah nízký, neboť zvyšuje sklon k praskavosti. V konstrukčních ocelích má být jeho obsah maximálně 0,15 - 0,30%. Ve svarovém kovu může obsah křemíku být až 0,4 - 0,5%.

Molybden - jako prvek feritotvorný zvyšuje prokalitelnost ocelí. Jeho obsah u víceuhličených ocelí pro svařování má být maximálně 0,25 - 0,35%.

Hliník - feritotvorný prvek s velmi silným dezoxidačním účinkem. Uklidňování oceli hliníkem snižuje účinnost dusíku na stárnutí oceli tvořením nitridu hliníku. Přítomnost síry podporuje v ocelích obsahujících hliník tvorbu bublinek a zvyšuje náchylnost k praskavosti.

Titan - silně feritotvorný prvek, přidává se k vázání přítomného uhlíku. Zjemňuje zrno oceli.

Měď - slabě austenitotvorný prvek. V ocelích určených ke svařování má být obsah mědi maximálně 0,4%, jinak se zvyšuje praskavost oceli.

Fosfor - tvoří v oceli nečistoty, které zvláště za přítomnosti síry zvyšují praskavost. Obsah fosforu v ocelích určených ke svařování má být maximálně 0,02%.

Síra - tvoří v oceli sirníky, které spolu s fosforem zvyšují praskavost. Obsah síry v oceli má být co nejnižší, maximálně 0,008%.

Souhrnně lze říci, že přísadové prvky, jež zvyšují mechanické vlastnosti oceli, současně zvyšují jejich kalitelnost a tím také sklon ke tvoření trhlin. Tím se snižuje svařitelnost oceli.

b/ Vliv tloušťky svařovaného materiálu

Objem roztaveného kovu je velmi malý vzhledem k objemu chladného svařovaného materiálu. Tím vzniká velmi vysoká rychlost ochlazování. Je zřejmé, že čím větší je tloušťka svařovaného materiálu, tím je též větší rychlost ochlazování svarového spoje, a tedy i sklon ke vzniku nerovnovážných struktur, které zhoršují vrubovou houževnatost spoje a podporují vznik závažných místních pnutí. Zvětšující se tloušťka svařovaného materiálu tedy velmi nepříznivě ovlivňuje svařitelnost dané oceli.

2.2.5. Vliv podmínek technologie svařování na svařitelnost

a/ Vliv způsobu svařování

Při obloukovém svařování se nanáší zpravidla velmi malé množství roztaveného kovu, takže tuhnutí je téměř okamžité. Důsledkem toho je, že struktura roztaveného pásma je jemnější, usměrněná a jehlicovitá, tzv. kolumnární struktura. Přehřáté pásmo základního kovu je užší a zhrubnutí zrn zde dosahuje maxima. Teploty dosažené v různých pásmech přeměn základního kovu jsou provázeny mnohem většími rychlostmi ochlazování, než při svařování plamenem, což vede k prudkému kalení. Tato pásma tvoří velmi malý objem, jsou rozložena 4 - 5 milimetrů od okraje návarových ploch, nezávisle na tloušťce svařovaného materiálu. Důsledkem jemnějších struktur u svarů provedených obloukem je lepší tažnost, vrubová houževnatost a zúžení než u svarů plamenem.

b/ Vliv průměru elektrody a intenzity oblouku

Při stejném druhu elektrody je výhodné, s ohledem na svařitelnost, volit elektrodu většího průměru a pracovat s velkou intenzitou oblouku, aby dodané teplo bylo co největší.

c/ Vliv rychlosti svařování

Při zvoleném průměru elektrody a intenzitě svařovacího proudu je, s ohledem na svařitelnost, výhodné volit menší rychlost svařování, aby dodané teplo na jednotku délky svaru bylo co největší a tedy chladnutí svarového spoje pomalé.

d/ Vliv obrysů svaru

Náhlé změny průřezu, nepravidelný tvar svarové housenky, zápaly a jiné chyby, zapříčiňují místní koncentraci napětí a jsou tedy nepříznivé pro svarový spoj.

2.2.6. Absorpce plynů ve svaru

Kyslík - do svaru se dostává ze vzduchu. Kyslík je ve svaru přítomen buď jako rozpuštěný, nebo ve formě jednoduchého nebo komplexních kysličníků. V rozpuštěném stavu snižuje pevnost, tvrdost i vrubovou houževnatost. Ve formě kysličníků tvoří vměstky, které svým vlivem na celistvost kovu snižují vrubovou houževnatost a mechanické vlastnosti.

Dusík - do svaru se dostává ze vzduchu. Z dusíku vzniká nitrid železa Fe_4N, který působí nepříznivě na deformační schopnost, zvláště na vrubovou houževnatost a na vytvrzování a stárnutí oceli. Pevnost a tažnost se zvyšují. Střídavý proud při svařování obloukem podporuje absorpci dusíku, vliv intenzity proudu je malý. Napětí na oblouku má značný vliv - se stoupajícím napětím elektrického oblouku se absorpce dusíku zvětšuje. Absorpci dusíku silně ovlivňuje mangan a křemík, obsažené v přídavném drátu při svařování; tyto prvky absorpci dusíku snižují.

Vodík - do svaru se dostává ze vzduchu a z vlhkosti obsažené v obalech elektrod, při svařování v CO_2 z vlhkosti obsažené v CO_2. Vodík je původcem řady jevů, z nichž některé vedou k závažným vadám, jako jsou mikrotrhliny v přechodovém pásmu svarového spoje. Může být také příčinou bublin ve svarovém kovu a je příčinou vzniku tzv. rybích ok. Při svařování v ochranné atmosféře kysličníku uhličitého svary obvykle obsahují velmi málo vodíku.

Souhrnně lze říci, že uvedené plyny, absorbující do svarového spoje zhoršují jeho jakost a je tedy třeba svarový spoj před absorpcí plynů chránit při svařování /např. svařováním v ochranné atmosféře/ a provést další opatření ke snížení jejich nepříznivých účinků, jakým je např. předehřev součástí před svařováním.

2.2.7. Opatření ke zlepšení svařitelnosti

Na základě vlivu materiálových vlastností a podmínek technologie svařování na svařitelnost oceli lze odvodit tato opatření ke zlepšení svařitelnosti:

- zmírnit tepelný spád a tím zmenšit nebo zamezit kalení tj. dodat více tepla /větší průměr elektrody, větší svařovací proud, menší rychlost svařování apod./ a zpomalit chladnutí /předehřev před svařováním, ochrana svařence před průvanem, chladnutí v peci, skelné vatě, písku apod./,
- zmenšit vnitřní pnutí a tím zamezit vzniku trhlin /zmenšení tuhosti konstrukce, užití normalizačně žíhaného nebo zušlechtěného materiálu, žíhání k odstranění pnutí po svařování apod./.

Předehřev součástí před svařováním

Oceli obvyklých jakostí s větším obsahem uhlíku a oceli ušlechtilé mají při rychlém ochlazení sklon ke vzniku zákalné struktury. Ve svarovém spoji tak může vzniknout jehlicovitá martenzitická struktura, jejíž tvrdost a křehkost jsou z hlediska svařování nepříznivé. Při menší ochlazovací rychlosti vzniká struktura bainitická, jež je houževnatější než martenzit a je méně náchylná k tvorbě trhlin. Při pomalém ochlazování dosáhneme struktury feriticko-perlitické.

Předehřevem součástí před svařováním se velmi zpomalí rychlost ochlazování svarového spoje. Tím se zmenší i rozsah strukturních přeměn, které se posunují směrem k rovnovážnějším strukturám. Snižuje se také vnitřní pnutí, vznikající těmito přeměnami, čímž se snižuje nebezpečí vzniku trhlin.

Předehřevem se také usnadňuje difuze vodíku, který je prvotní příčinou vzniku trhlin a také se usnadňuje uvolňování plynů, čímž se snižuje nebo zamezuje vzniku bublin.

Teplota předehřevu :

Teplota předehřevu závisí na kalitelnosti dané oceli - čím je kalitelnost oceli větší, tím se musí volit vyšší teplota předehřevu.

Teplotu předehřevu dané oceli před svařováním lze zjistit z norem ocelí, z diagramu IRA dané oceli a z jiných podkladů v odborné literatuře. U uhlíkových a nízkolegovaných ocelí lze vypočítat teplotu předehřevu podle [17]:

Teplota předehřevu ve °C:

$$t_p = 350 \sqrt{C_{ekv} \cdot / 1 + 0{,}005 \cdot t / - 0{,}25}$$

kde C_{ekv} je tzv. ekvivalentní obsah uhlíku

t je tloušťka svařovaného materiálu v [mm]

Takto vypočtená teplota předehřevu je nejnižší teplota, na kterou musíme součást před svařováním předehřát, aby bylo dosaženo požadované jakosti svarového spoje.

Ekvivalentní obsah uhlíku:

U konstrukčních legovaných ocelí se vliv přísadových prvků přepočítává na tzv. ekvivalentní obsah uhlíku C_{ekv}.

Legovaná ocel, která má C_{ekv}, má stejnou kalitelnost a tedy i stejnou svařitelnost, jako uhlíková ocel s obsahem uhlíku $C = C_{ekv}$.

Pro výpočet C_{ekv} jsou v odborné literatuře uvedeny různé vzorce.

Vzorec pro výpočet C_{ekv} dle [17] :

$$C_{ekv} = \frac{360 \cdot C + 40 \cdot /Mn + Cr/ + 20 \cdot Ni + 28 \cdot Mo}{360}$$

2.3. Svařování v ochranné atmosféře CO_2

Svařování v ochranné atmosféře kysličníku uhličitého patří mezi automatické, popřípadě poloautomatické způsoby svařování. Elektrodu tvoří ocelový drát navinutý na cívce, který je poháněcími kladkami přiváděn do místa svaru. Elektrický oblouk hoří mezi elektrodou a základním materiálem v ochranné atmosféře CO_2, proudícího z ocelové tlakové láhve svařovací hubicí kolem odtavující se elektrody. Kysličník uhličitý chrání vzniklou tavnou lázeň a tavící se konec drátu před přístupem vzduchu. Podle praktických zkušeností lze tímto způsobem svařování dosáhnout mimořádných ekonomických výsledků a velmi kvalitních svarů.

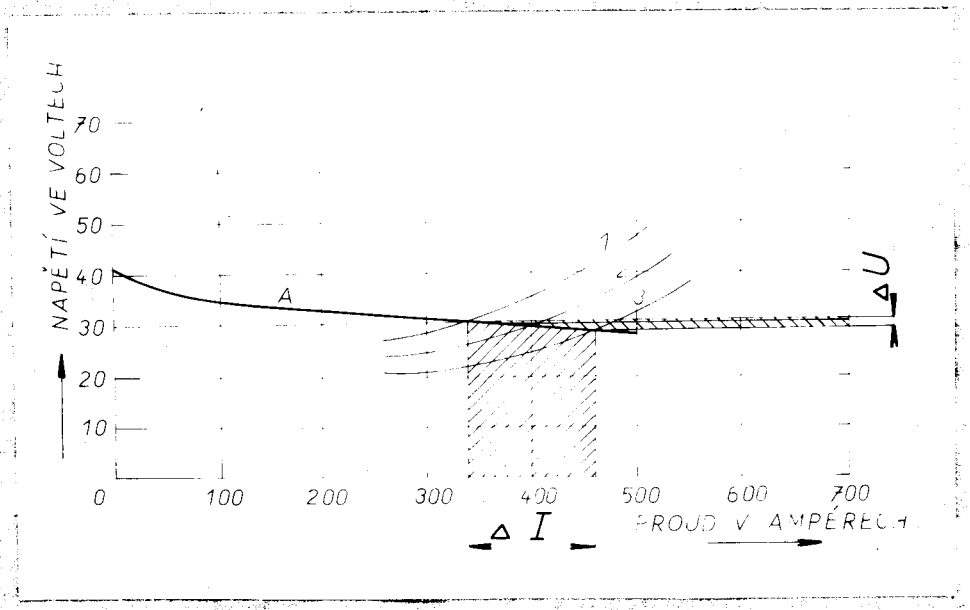
Zařízení pro svařování v ochr. atmosféře CO_2

Ke svařování v ochranné atmosféře CO_2 potřebujeme zdroj stejnosměrného proudu, svařovací automat nebo poloautomat s řídící skříní a ocelovou láhev s kysličníkem uhličitým, s příslušenstvím.

Zdroje proudu:
Charakteristickými znaky svařování v CO_2 jsou krátký oblouk a vysoká proudová hustota, až 300 A/mm^2. Krátký oblouk omezuje jednak rozstřik, který je při tomto způsobu svařování vyšší než při jiných způsobech, a jednak sklon ke tvoření pórů. Udržování krátkého oblouku vyžaduje zdroj buď s plochou, tvrdou, nebo dokonce stoupající statickou charakteristikou. Protože charakteristika oblouku, hořícího v CO_2, je stoupající, ovlivňuje statická charakteristika zdroje zásadně stabilitu hoření oblouku a tím i průběh svařování. K tomu je nutné, aby při poměrně malé změně délky oblouku, byla způsobena velká změna svařovacího proudu a tím i rychlosti odtavování elektrody.

Funkce samočinné regulace :

Při zkrácení oblouku se zvýší svařovací proud /I/, tím elektroda rychleji uhořívá a oblouk se opět prodlouží. Zvětší-li se při svařování délka oblouku, sníží se svařovací proud, elektroda uhořívá pomaleji a oblouk se tedy zkracuje. Při spojení nakrátko prochází elektrodou velký proud, který způsobí rychlé roztavení elektrody a zapálení oblouku.



obr. 4. Vliv změny napětí na oblouku na změnu proudu u selenového usměrňovače.

A - charakteristika selenového usměrňovače SO 500
1 - délka oblouku 10 mm
2 - délka oblouku 2 - 6 mm
3 - délka oblouku 3 mm

Z obr. 4 dle [13] je zřejmé, že na změnu napětí ΔU asi 2 V je změna proudu ΔI asi 120 A, tedy hodnota zaručující dobrou samočinnou regulaci oblouku.

Na svařování mají podstatný vliv i dynamické vlastnosti použitého zdroje. Při krátkém oblouku, kterého je při tomto způsobu svařování zapotřebí, může přecházející

kapka kovu z elektrody překlenout oblouk tak, že dojde ke zkratu. Vzniklým vysokým nárazovým proudem se rozstříknou přecházející kapky kovu. Rozstřik lze omezit vložením tlumivky a odporu do svařovacího okruhu. Tím se opozdí vznik nárazového proudu, takže kapka kovu má možnost přejít do tavné lázně dříve než vzroste proud.

Svařovací automat:

Jako svařovacího automatu lze pro svařování v CO_2 použít každého automatu s konstantní rychlostí podávání drátu, stavitelnou stupňovitě například výměnou ozubených koleček. Pro svařování rotačních kusů lze užít samostatné svařovací hlavy s příslušným podávacím zařízením. Svařování v ochranné atmosféře CO_2 je velmi citlivé na rovnoměrnost podávání drátu. Svařovací hubice ve tvaru trysky má být upravena tak, aby přiváděla k oblouku dostatečné množství CO_2. Pro svařovací proudy větší než 150 A má být svařovací hubice chlazena. Chlazení hubice zabraňuje jejímu zvýšenému zanášení rozstřikem kovu. Před svařovací hubicí má být zařazen elektromagnetický ventil, který otevírá a zavírá přívod CO_2 zapnutím nebo vypnutím svařovacího proudu.

Kysličník uhličitý:

Kysličník uhličitý, potřebný k ochraně tavné lázně, je dodáván tekutý v ocelových tlakových lahvích. Hlavním požadavkem na CO_2 z hlediska jeho použití jako ochranného plynu při svařování je jeho čistota /max. 0,1% N/ a suchost. V zahraničí se pro svařování dodává CO_2 ve speciální jakosti. Postačující množství k ochraně tavné lázně je 4 l/min., v praxi se volí spotřeba CO_2 asi 10 - 14 l/min. Při větší spotřebě se může přisávat vzduch a oblouk pak hoří neklidně. Aby při větším nebo dlouhotrvajícím odběru kysličník uhličitý nezamrzal v redukčním ventilu, zařazuje se před redukční ventil elektrický

ohřívač plynu s příkonem asi 60 W. Hlavní nečistoty CO_2 jsou vlhkost a vzduch, které podstatně zhoršují kvalitu svaru, především snižují vrubovou houževnatost. Zlepšení čistoty CO_2 se dosáhne obrácením láhve a následným odpuštěním CO_2 na začátku odběru, nebo sušením CO_2 sušičem dle [13] .

Svařovací drát:

Při svařování oceli v CO_2 se užívá speciálního drátu legovaného manganem a křemíkem, které odkysličují tavnou lázeň při svařování. Tím se v tavné lázni nevytvářejí plyny a nevznikají bubliny. V ČSSR se vyrábějí pro svařování v CO_2 speciální svařovací dráty. Pro svařování legovaných ocelí v CO_2 se v zahraničí používá trubičkových elektrod s legujícími prvky uvnitř.

Parametry svařování:

Parametry svařování, tj. svařovací proud, napětí na oblouku a rychlost svařování, určují rozměry a vzhled návaru či spojovacího svaru.

Svařovací proud - je přímoúměrný rychlosti podávání drátu. Rychlost podávání drátu se nastaví na podávacím zařízení svařovacího stroje.

Napětí na oblouku - se nařídí na zdroji.

Rychlost svařování - se například u rotačního svařence nařídí jeho rychlostí otáčení.

Volba parametrů svařování má být pečlivá, neboť změna kteréhokoliv parametru značně ovlivňuje výsledky svařování.

Vliv svařovacího proudu na rozměry svaru:

Velikost svařovacího proudu má největší vliv na šířku svaru a hloubku průvaru. S rostoucím svařovacím proudem šířka svaru i hloubka průvaru rostou.

Vliv napětí oblouku na rozměry svaru:

S rostoucím napětím na oblouku roste šířka svaru a klesají hloubka průvaru a převýšení svaru. Při nižším napětí oblouku se sice dosáhne hlubokého průvaru, ale převýšení svaru je pak příliš velké.

Vliv rychlosti svařování na rozměry svaru:

S rostoucí rychlostí svařování se zmenšuje šířka svaru a zmenšuje se také hloubka průvaru. Při malých rychlostech svařování vzniká neúměrně široký svar s nerovným povrchem a s póry.
Rychlost podávání drátu spolu s rychlostí svařování je třeba nastavit tak, aby povrch svaru byl čistý a hladký, s málo výraznou šípovitou kresbou a s plynulým přechodem do základního materiálu. Nejvýhodnější poměr šířky svaru b a hloubky průvaru h je b:h = 1,3 - 1,5.

Výkon navaření:

Výkon navaření v kilogramech odtaveného kovu za hodinu roste přímoúměrně s rychlostí podávání svařovacího drátu, tedy s velikostí svařovacího proudu. Výkon navaření je závislý i na vzdálenosti špičky svařovací hubice od svařované součásti. Čím větší je tato vzdálenost, tím větší je též vznikající Joulovo teplo /RI^2/, čímž se dosáhne většího nánosu roztaveného kovu. Při malé vzdálenosti vzniká svar s plochou housenkou. Vzdálenost hubice od svařovaného materiálu má být 1,5 - 2 cm a hubice má být skloněna 5 - 10° ve směru svařování, aby oblouk netlačil na tavnou lázeň a plyny vzniklé při svařování mohly z tavné lázně odcházet a nevznikaly póry a bubliny ve svaru.

Příprava materiálu:

Předpokladem pro hodnotné svary je dokonalá a odborná příprava svařovaného materiálu. Čistý a odmaštěný mate-

riál se připravuje různě podle tloušťky svařovaného materiálu, druhu svaru a svařovací polohy. Zásadou je, že malé styčné spáry znemožňují dokonalé provaření kořene svaru a velké styčné spáry znemožňují dobré spojení. Úhel svarové drážky bývá 60 - 70°.

Bezpečnostní a hygienická opatření při svařování v ochranné atmosféře kysličníku uhličitého:

Při tomto způsobu svařování je, stejně jako při jiných způsobech, nutno dodržovat všechny platné bezpečnostní a hygienické předpisy. Především je bezpodmínečně nutné dokonale odvětrat pracoviště, neboť kysličník uhličitý se za vysokých teplot v elektrickém oblouku ionizuje a rozkládá na velmi jedovatý kysličník uhelnatý a kyslík. Většina kysličníku uhelnatého sice opět shoří ve styku s ocelí na kysličník uhličitý, ale zbytek zůstává nesloučen. Kysličník uhličitý není sice jedovatý, ale ve vysoké koncentraci je nedýchatelný.

Důležitá je také ochrana svářeče proti záření z oblouku, hlavně proti ultrafialovém záření.

3. PRAKTICKÁ ČÁST

3.1. Popis spojovacího hřídele

Úplný spojovací hřídel hlavního náhonu /příloha 1/ se skládá ze spojovacího hřídele, na němž jsou namontovány části, sloužící ke spojení spojovacího hřídele s převodovou skříní motoru a rozvodovou skříní.
Spojovací hřídel /příloha 2/ je svařen z nástavku, trubky a náboje kloubu /příloha 3/.

Nástavek - /příloha 4, A/
Drážkovaný hřídel Ø 90 x 258, vyrobený zápustkovým kováním za tepla, tepelně zpracovaný a obrobený.
Materiál: 13 240.7 - zušlechtěný.

Trubka - /příloha 3/
Bezešvá přesná trubka Ø 90 x 5, délka 1227 mm. Vnitřní průměr je na obou koncích soustružen na Ø 83 H 8, slouží k centrování trubky na nástavek a náboj kloubu.
Materiál: 11 650.1 - normalizačně žíhaný.

Náboj kloubu - /příloha 4, B/
Je vyroben zápustkovým kováním za tepla, tepelně zpracován a obroben.
Materiál: 12 050.6 - zušlechtěný.

3.1.1. Výpis z norem ocelí dle ČSN

Nástavek - manganokřemíková ocel 13 240, ČSN 41 3240

Chemické složení:

C	0,33 - 0,41
Mn	1,10 - 1,40
Si	1,10 - 1,40
P	max. 0,035
S	max. 0,035

13 240.7 - zušlechtěný

Minimální mez kluzu $\sigma_{Kt} = 55$ kp/mm^2

Pevnost v tahu $\sigma_{Pt} = 80 - 95$ kp/mm^2

Ocel se nedoporučuje ke svařování.

Trubka - ocel 11 650, ČSN 41 1650

Chemické složení:

C	max. 0,55
P	max. 0,050
S	max. 0,050
P + S	max. 0,090

11 650.1 - normalizačně žíhaný

Minimální mez kluzu $\sigma_{Kt} = 36$ kp/mm^2

Pevnost v tahu $\sigma_{Pt} = 65 - 75$ kp/mm^2

Svařitelnost obtížná.

Náboj kloubu - ušlechtilá uhlíková ocel 12 050, ČSN 41 2050

Chemické složení:

C	0,42 - 0,50
Mn	0,50 - 0,80
Si	0,17 - 0,37
Cr	max. 0,25
Ni	max. 0,30
Cu	max. 0,30
P	max. 0,040
S	max. 0,040

12 050.6 - zušlechtěný

Minimální mez kluzu σ_{Kt} = 40 kp/mm^2

Pevnost v tahu σ_{Pt} = 65 - 80 kp/mm^2

Ocel se nedoporučuje ke svařování.

3.2. Popis svařovacího stroje LPU 104

Svařování spojovacího hřídele se provádí na svařovacím stroji typu LPU 104 /příloha 5/. Svařovací stroj byl vyvinut a vyroben v n.p. LIAZ. Stroj je určen pro slisování a svařování spojovacích hřídelů nové typové řady v ochranné atmosféře CO_2, v poloautomatickém cyklu. Nouzově lze svařovat i kardan staré typové řady. Stroj se skládá ze svařovaného podstavce, lisovacího a náhonového ústrojí a vrchní nástavby s uložením vlastního svařovacího zařízení, /příloha 6/.

Půdorysná plocha stroje: 4900 x 1600 mm
Výška stroje: 2600 mm
Maximální příkon: 35 kVA

Z prostoru ochranného krytu nad svařovací hubicí je provedeno odsávání, elektricky spřažené s cyklem stroje. Regulace posuvu svařovacího drátu je provedena stupňovitě výměnnými kolečky, svařovací hlavice nechlazena. Samostatné bloky, příslušející ke stroji jsou:

- svařovací usměrňovač SO 502 s odporem a tlumivkou,
- elektrohydraulická skříň, obsahující elektroinstalaci a hydraulický agregát,
- ocelová láhev se zásobou CO_2, s příslušenstvím /ohřívač, redukční ventil, průtokoměr, elektromagnetický ventil/, používá se CO_2 dle ČSN 65 1793, odběr 22 l/min.

Svařovací stroj LPU 104 má elektrohydraulické ovládání. Tlak z hydraulického agregátu je usměrňován jednak do lisovacího obvodu, jednak do obvodu hydromotoru pro otáčení svařovaného spojovacího hřídele. Otáčení regulovatelné ventilem, zařazeným do hydraulického obvodu otáčení.

Upínání částí spojovacího hřídele:

Upínání je mechanické. Nástavek se vkládá do pouzdra lisovacího vřetene /příloha 7/. Trubka kardanu se klade na valivé opěrky, uložené na vodících tyčích lože svařovacího stroje. /příloha 6,7,8/. Náboj kloubu se upíná do přípravku opěrného vozíku, uloženého na vodících tyčích lože.

svařovacího stroje /příloha 9/. Takto založené jednotlivé díly kardanu se slisují pohybem pouzdra lisovacího vřetene /příloha 8/, čímž se zároveň upne kardan jako celek a je po odlehčení lisovací síly ručním rozvaděčem lisovacího okruhu připraven k vlastnímu svařování.
Tento proces je zajišťován otáčením upnutého spojovacího hřídele, přísunem svařovacího drátu, přívodem CO_2 a funkcí odsávání.
Odepnutí svařeného spojovacího hřídele se provede odjetím lisovacího vřetene do výchozí polohy /příloha 7/ ručním hydraulickým rozvaděčem lisovacího obvodu.

<u>Svařovací parametry:</u>

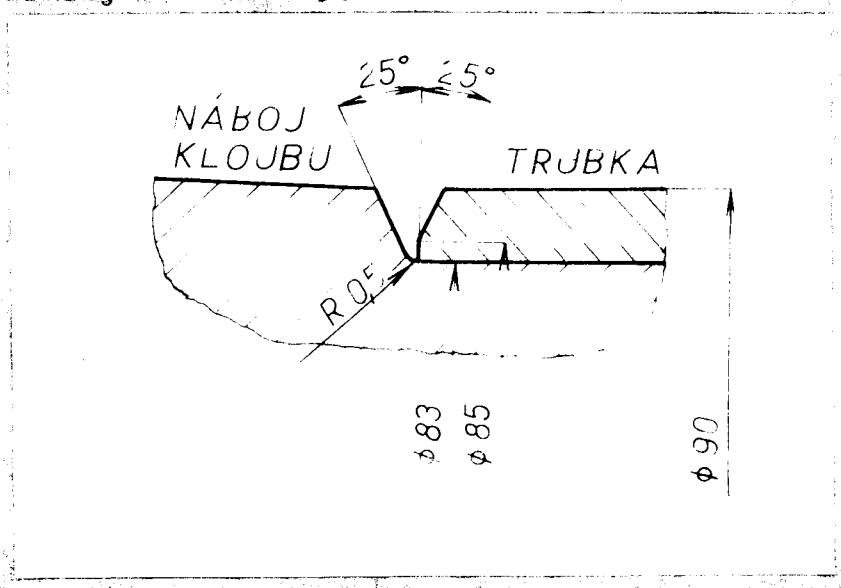
Svařovací proud: 240 A
Napětí na oblouku: 24 - 27 V
Rychlost svařování: 38 vteřin /na průměru 90 mm/

Při svařování se používá svařovací drát C - 42 /C 11 3/ ČSN 05 5390, chemické složení: C 0,1
Mn 1,3
Si 0,8

pevnost v tahu: σ_{Pt} = 36 - 44 kp/mm^2

průměr drátu: 1,2 mm

Tvar drážky dle obr. 5:



3.3. Experimentální práce

Po nezbytném studiu odborné literatury a seznámení s problematikou svařování spojovacího hřídele jsem přistoupil k provádění experimentálních prací.

Cílem experimentálních prací je, v souladu se zadáním diplomové práce:

- provést rozbor současných nedostatků při svařování spojovacího hřídele a navrhnout nejvhodnější metodu a podmínky svařování,
- požadované a předpokládané mechanické vlastnosti svarového spoje ověřit metalograficky, zkouškami tvrdosti a vrubové houževnatosti na ověřovacích svarech,
- porovnat dosažené výsledky jakosti svarového spoje s výsledky současnými a provést konečný návrh na svařování spojovacího hřídele.

3.3.1. Určení kritického svaru spojovacího hřídele

Z ověřovací série asi 100 ks svařených spojovacích hřídelů současnou technologií byly z důvodů objektivního posouzení současného stavu náhodně vybrány 3 ks spojovacích hřídelů. Z každého hřídele byly odebrány 4 vzorky pro zhotovení metalografických výbrusů - 2 ze svaru nástavek-trubka a 2 ze svaru náboj kloubu-trubka, tak, že jeden vzorek byl odebrán z konce svarové housenky a druhý na protější straně, tj. uprostřed svarové housenky. Takto bylo odebráno 12 vzorků o rozměrech asi 25 x 10 x 10, označených A1, B1, až, A6, B6 /příloha 13,14/.

Značení vzorků:

- vzorky, označené čísly 1,2, byly odebrány z 1. hřídele,
- vzorky, označené čísly 3,4, byly odebrány z 2. hřídele,
- vzorky, označené čísly 5,6, byly odebrány ze 3. hřídele.

Lichá čísla označují vzorky ze svaru náboj kloubu-trubka, sudá čísla označují vzorky ze svaru nástavek-trubka.

Písmeno A značí konec svarové housenky, písmeno B značí prostředek svarové housenky.

Příklad: vzorek označený jako B4 byl odebrán z 2. hřídele, z prostředku svarové housenky svaru nástavek-trubka.

Z takto odebraných vzorků byly běžným postupem připraveny metalografické výbrusy. Získaných 12 metalografických výbrusů bylo pozorováno při různých zvětšeních na metalografickém mikroskopu EPITYP II, v.č. 466135. Sledoval jsem především typ a rozsahy struktur, provaření kořene svaru, šířku a hloubku závaru a jiné znaky.

Na základě vnější prohlídky svaru a metalografických pozorování jsem konstatoval, že:

- kvalita odpovídajících svarů je přibližně stejná,
- svary mají ojediněle nedokonale provařené kořeny,
- svary mají ojedinělé bubliny,
- zákalné struktury se vyskytují u všech svarů,
- největší rozsah zákalných struktur je u svarů náboj kloubu-trubka.

Na základě tohoto rozboru jsem se zaměřil na svary náboj kloubu-trubka a z těchto jsem pro další experimentální práce vybral jako typický vzorek označený B1, tj. prostředek svarové housenky svaru náboj kloubu-trubka, odebraný z 1. hřídele.

3.3.2. Návrh opatření při svařování spojovacího hřídele

V současné době se spojovací hřídele svařují na svařovacím stroji LPU 104, za studena, se svařovacími parametry /viz. 3.2./.

Na základě předchozích metalografických zkoušek a teoretického studia navrhuji tato opatření při svařování spojovacího hřídele, s předpokladem, že jejich uplatněním se kvalita svarů zlepší:

- předehřev před svařováním,
- změna materiálů dílů spojovacího hřídele.

Předehřev před svařováním navrhuji pro případ, že by nebylo možné změnit materiály dílů spojovacího hřídele. Nepředpokládám přitom, že se touto úpravou původní technologie příliš kvalita svarů zlepší, neboť současné materiály dílů spojovacího hřídele se pro svařování nedoporučují /viz 3.1.1./. Jako účinné opatření navrhuji především změnu materiálů.

a/ <u>Předehřev před svařováním</u>

<u>Nástavek</u> - materiál 13 240.7
chemické složení /viz 3.1.1./
ekvivalentní obsah uhlíku $C_{ekv} = 0,554$

<u>Trubka</u> - materiál 11 650.1
chemické složení /viz 3.1.1./
ekvivalentní obsah uhlíku $C_{ekv} = 0,55$

<u>Náboj kloubu</u> - materiál 12 050.6
chemické složení /viz 3.1.1./
ekvivalentní obsah uhlíku $C_{ekv} = 0,638$

Ekvivalentní obsahy uhlíku jsem zjišťoval dle [17], /viz 2.2.7./.

Dle 3.3.1. jsem se zaměřil na svar náboj kloubu-trubka. Správnost volby kritického svaru potvrzují i C_{ekv}.

Teplotu předehřevu jsem stanovil pro svar náboj kloubu-trubka, pro materiál náboje kloubu, neboť ten má nejvyšší C_{ekv}.

Výpočet teploty předehřevu jsem provedl dle [17], /viz 2.2.7./:

$$t_p = 350 \sqrt{C_{ekv} \cdot (1 + 0,005 \cdot t) - 0,25}$$

kde C_{ekv} = 0,633

t = 15 mm

Tloušťku t = 15 mm jsem zvolil dle tloušťky materiálu náboje kloubu v místě svaru. Tuto tloušťku dodržuji i u zkušebních těles - viz dále.

Vypočtená teplota předehřevu:

t_p = 230°C

b/ <u>Návrh změny materiálů</u>

<u>Nástavek</u> - původní materiál 13 240.7
navrhovaný materiál 14 220.3

<u>Trubka</u> - původní materiál 11 650.1
navrhovaný materiál 11 523.1

<u>Náboj kloubu</u> - pův.materiál 12 050.6
navrhovaný materiál 11 523.1

<u>Výpis z norem ocelí dle ČSN</u>

Manganochrómová ocel 14 220, ČSN 41 4220

Chemické složení:		
	C	0,14 - 0,19
	Mn	1,10 - 1,40
	Si	0,17 - 0,37
	Cr	0,80 - 1,10
	P	max. 0,035
	S	max. 0,035

14 220.3 - žíhaný na měkko

Minimální mez kluzu σ_{Kt} = 60 kp/mm²

Pevnost v tahu σ_{Pt} = 80 kp/mm²

Ocel je dobře svařitelná.

Konstrukční jemnozrnná ocel 11 523, ČSN 41 1523

Chemické složení:

C	max. 0,20
Mn	max. 1,50
Si	max. 0,55
Al	stopy
P	max. 0,005
S	max. 0,005

11 523.1.- normalizačně žíhaný

Minimální mez kluzu $\sigma_{Kt} = 36$ kp /mm^2

Pevnost v tahu $\sigma_{Pt} = 52 - 64$ kp/mm^2

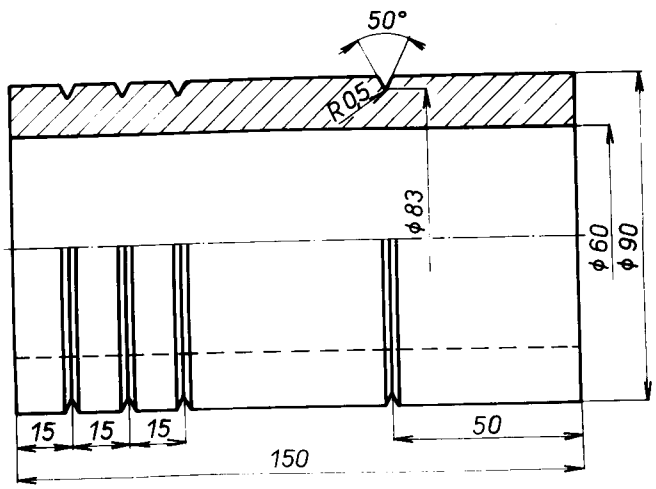
Svařitelnost zaručená.

3.3.3. Návrh zkušebních těles

Pro provedení ověřovacích svarů jsem navrhl tato zkušební tělesa /příloha 10,11/.

Zkušební těleso pro zkoušky vrubové houževnatosti

Základem zkušebního tělesa / příloha 10/ pro zkoušky vrubové houževnatosti je válec dle obr. 6:



obr. 6

Tvar a rozměry válce a tvar a rozměry drážek byly voleny tak, aby ověřovací svary mohly být provedeny za stejných podmínek, jako při svařování spojovacího hřídele. Umístění drážky pro vlastní ověřovací svar /drážka vpravo, obr. 6/ je zvoleno s ohledem na odebrání zkušebních tělísek. Tři pomocné drážky /vlevo, obr. 6/ jsou určeny pro ohřívací svary - viz dále.

Postup výroby zkušebního tělesa:

Z materiálu 12 050, Ø 100 mm byl odříznut kus délky asi 155 mm. U tohoto kusu byl vysoustružen vnitřní Ø 60 a zarovnána čela na délku 150. Tento hrubý válec byl pak tepelně zpracován na stav 12 050.6. Na tento zušlechtěný válec byl přivařen nástavek, sloužící k upnutí zkušebního tělesa do svařovacího stroje LFU 104. Byl použit krátký nástavek ze spojovacího hřídele staré typové řady. Na druhou stranu válce byl přivařen neopracovaný výkovek náboje kloubu, z materiálu 12 050.6. Náboj kloubu je určen k odebrání krátkých zkušebních tělísek pro zkoušky vrubové houževnatosti dle Komárka [6]. Takto svařené zkušební těleso bylo soustruženo na vnější Ø 90 a do válce byly vysoustruženy drážky dle obr. 6. Drážka stejných rozměrů byla vysoustružena i do náboje kloubu, v místě, kde je skutečná svarová drážka při svařování spojovacího hřídele. Rozměry a uspořádání celého zkušebního tělesa byly zvoleny s ohledem na možnost předehřevu při svařování s předehřevem.

Z uvedeného vyplývá, že po provedení ověřovacích svarů do drážky na válci a do drážky náboje kloubu, lze z válce odebrat pro zkoušky vrubové houževnatosti normalizovaná zkušební tělíska a z náboje kloubu zkušební tělíska dle Komárka. Pro zkoušku vrubové houževnatosti na zkušebních tělískách dle Komárka jsem se rozhodl proto, že na náboji kloubu poměry při ověřovacím svařování více odpovídají skutečným podmínkám při svařování spojovacího hřídele, ale není možné, vzhledem k malým rozmě-

rům náboje kloubu, odebrat běžná normalizovaná zkušební tělíska. Tato zkouška je doporučována odbornou literaturou, např. [6], ale není normalizována a její proto možno použít pouze pro porovnávací zkoušky. Proto jsem provedl i normalizovanou zkoušku vrubové houževnatosti.

Byla vyrobena dvě shodná zkušební tělesa /příloha 10/, sestávající s nástavku, válce z mat. 12 050.6 a z výkovku náboje kloubu z téhož materiálu, určená pro ověřovací svary za studena a s předehřevem a jedno podobné zkušební těleso, sestávající pouze z nástavců svařeného s válcem z mat. 11.523, určené pro ověřovací svar na tomto navrhovaném materiálu /viz 3.3.2./.

Zkušební těleso pro odebrání metalografického výbrusu

Toto zkušební těleso /příloha 11/ má tvar zkráceného spojovacího hřídele. Je slisováno z nástavku, krátké trubky a náboje kloubu. Trubka, délky asi 120 mm, byla na obou koncích soustružena, shodně jako skutečná trubka spojovacího hřídele.
Rozměry tohoto zkušebního tělesa byly zvoleny s ohledem na možnosti předehřevu, neboť je určeno pro ověřovací svar náboj kloubu-trubka, s předehřevem.

3.3.4. Provedení ověřovacích svarů

Ověřovací svary byly provedeny na svařovacím stroji LPU 104, na zkušebních tělesech dle 3.3.3.

Byly provedeny tyto ověřovací svary:

a/ Svařování původní technologií, tj. za studena

Parametry svařování viz 3.2.

1/ Zkušební těleso 1/4 /příloha 10/:
válec - označení 1 - mat. 12 050.6
náboj kloubu - 4 - 12 050.6

Na tomto zkušebním tělese byly provedeny dva ověřovací svary - jeden do ověřovací drážky na válci 1 a po vychlednutí tělesa druhý svar do ověřovací drážky na náboji kloubu 4.
Po svařování těleso volně chladlo na vzduchu, za stejných podmínek jako spojovací hřídele.

2/ Zkušební těleso 3:
válec - označení 3 - mat. 11 523.1

Na tomto zkušebním tělese byl proveden jeden ověřovací svar do ověřovací drážky na válci 3.
Po svařování těleso volně chladlo na vzduchu.

b/ <u>Svařování s předehřevem</u>

Parametry svařování viz 3.2.

Teplota předehřevu 230°C /viz 3.3.2./.

<u>Předehřev</u> - byl improvizován zařízením /příloha 12/, používaném k sušení obalených elektrod. Toto zařízení jsem zvolil jednak proto, že jiné nebylo k dispozici a také pro jeho vhodnost pro daný účel a snadnou instalaci v blízkosti svařovacího stroje. Při předehřevu plně vyhovovalo. Tělesa jsem předehříval na teplotu asi 235°C, neboť během manipulace s ohřátým tělesem a jeho upnutí do svařovacího stroje teplota se poněkud snížila. Náběh na tuto teplotu trval asi jednu hodinu. Teplotu těles jsem orientačně sledoval křídami THERMOCHROM a přesně teploměrem THERMOPHIL, typ 4443 Ultrakust s čidlem T 202.

3/ Zkušební těleso 2/5 /příloha 10/:

válec - označení 2 - mat. 12 050.6
náboj kloubu - 5 - 12 050.6

Po upnutí předehřátého zkušebního tělesa do svařovacího stroje byla zkontrolována teplota.

Po kontrole teploty byl do drážky na válci 2 proveden ověřovací svar. Jelikož teplota v oblasti náboje kloubu mezitím klesla, asi na 210°C, byly do pomocných drážek provedeny ohřívací svary. Po vyrovnání teploty v oblasti ověřovací drážky náboje kloubu na 230°C, byl do této drážky proveden ověřovací svar.
Po svařování těleso volně chladlo na vzduchu.

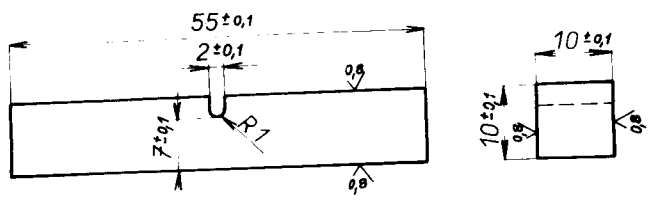
4/ Zkušební těleso 6 /příloha 11/:

trubka - materiál 11 650.1
náboj kloubu - 12 050.6

Po upnutí předehřátého zkušebního tělesa do svařovacího stroje byla zkontrolována teplota a proveden ověřovací svar do drážky mezi nábojem kloubu a trubkou, stejně jako při svařování spojovacího hřídele.
Po svařování těleso volně chladlo na vzduchu.

3.3.5. Zkušební tělíska, jejich odběr a označení

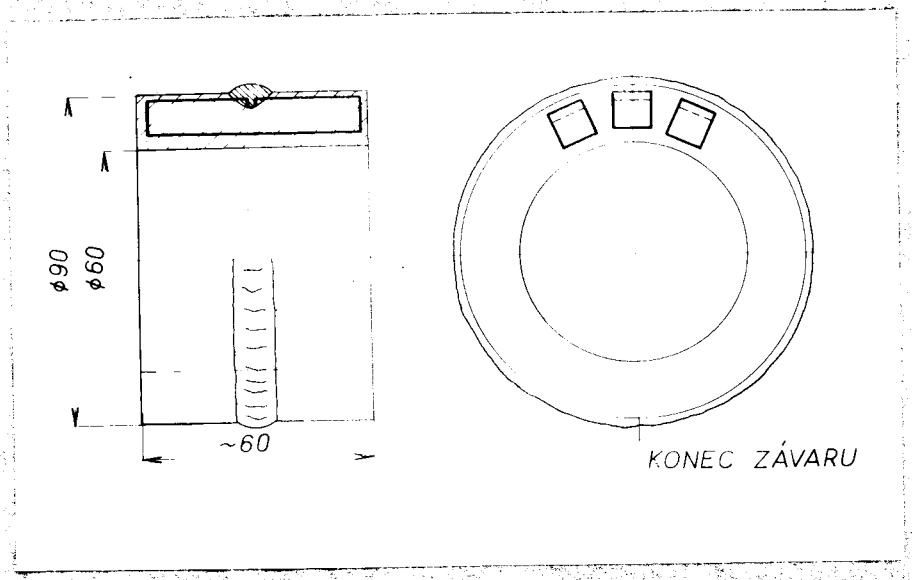
a/ Z válců 1,2,3 bylo odebráno po třech normalizovaných tělískách /obr. 7/:



obr. 7

Z válce 3 byl navíc odebrán vzorek, označený 3, určený ke zhotovení metalografického výbrusu.

Z každého válce byl vyříznut kroužek délky asi 60 mm a uprostřed svarové housenky byla vyříznuta tělíska, s přídavkem na opracování. Tato hrubá tělíska byla na plechách kolmých ke svarové housence obroušena na smirkovém papíru, naleptána /5% Nital/, zrýsována, tak, aby dno vrubu leželo v kořeni svaru /obr. 8/. Pak byla dokončena dle obr. 7.



obr. 8

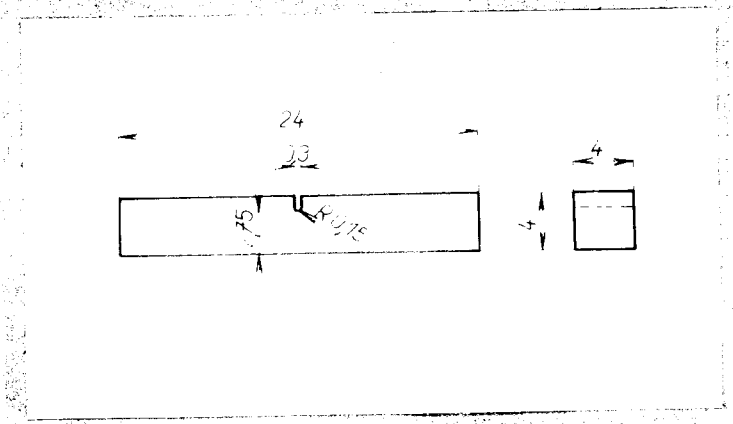
Označení vzorků:

1A, 1B, 1C - vzorky z válce 1

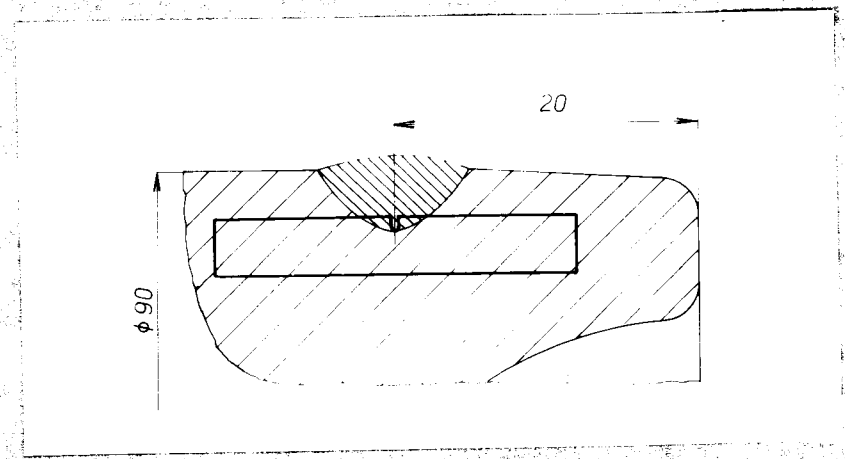
2A, 2B, 2C - vzorky z válce 2

3A, 3B, 3C - vzorky z válce 3

b/ Z výkovků náboje kloubu, označených 4,5, bylo odebráno obdobným postupem /obr. 10/ po třech tělískách dle Komárka /obr. 9/.



obr. 9



obr. 10

Označení tělísek:

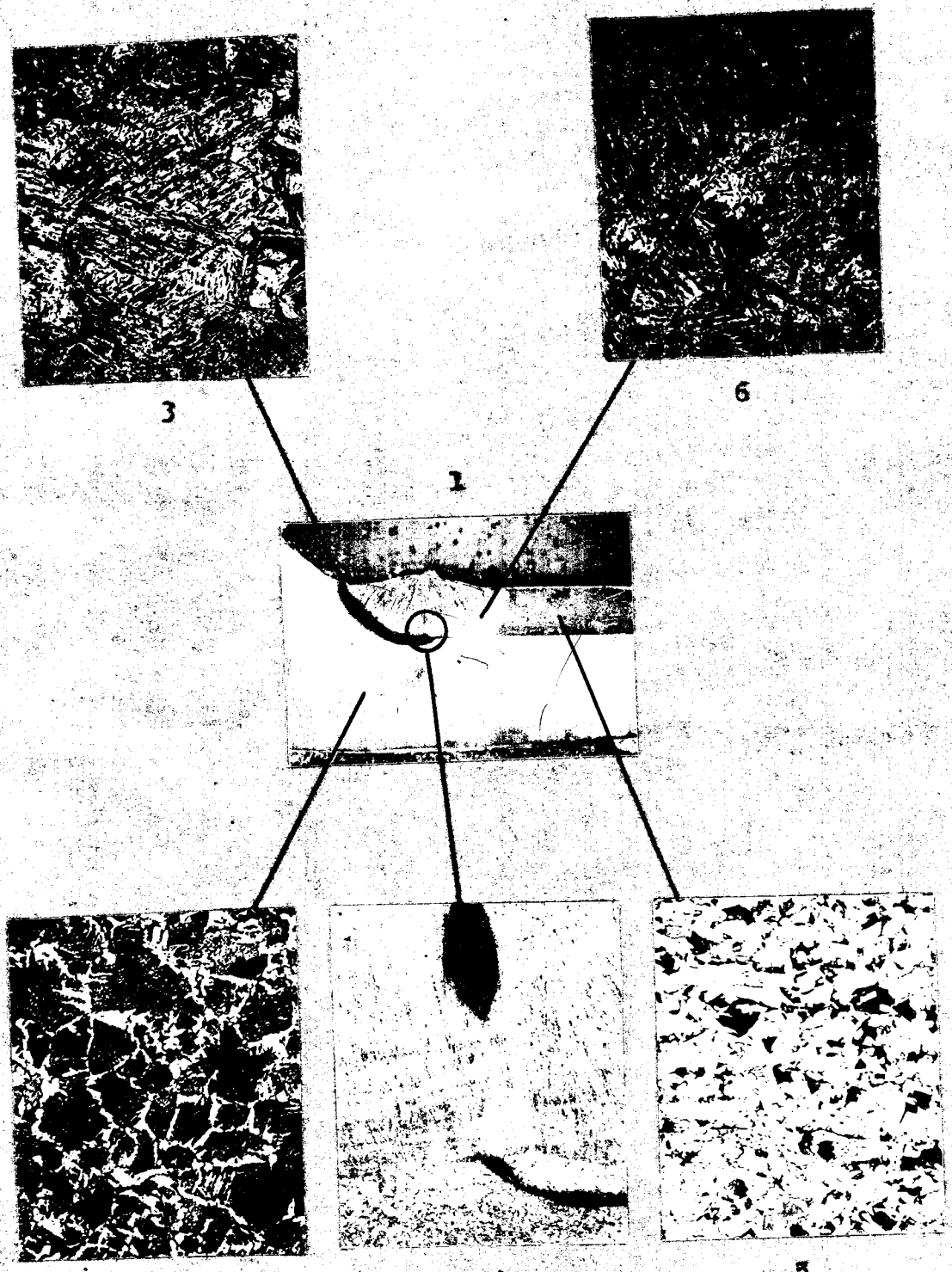
4A,4B,4C - tělíska z náboje kloubu 4

5A,5B,5C - tělíska z náboje kloubu 5

c/ Z tělesa 6 byl odebrán vzorek, označený 6, určený ke zhotovení metalografického výbrusu.

3.3.6. Provedení zkoušek

a/ Makrostruktura a mikrostruktura svaru - vzorek B 1 :



Metalografické pozorování a fotografování struktur bylo provedeno na metalografickém mikroskopu EPITYP II, v.č. 46 6135.

Vzorek B1 - náboj kloubu - mat. předepsaný 12 050.6
trubka - mat. předepsaný 11 650.1
parametry svařování viz 3.2.
svařování za studena

Popis struktur /viz str. 38/:

1 - Vzorek B1, asi 2x, Nital.
Svarový kov, náboj kloubu, trubka /vpravo nahoře/. Ve svarovém kovu je zřetelná usměrněná struktura. Z obrázku 1 je zřejmé, podle šířek pásem, že trubka chladla pomaleji.

2 - Základní materiál náboje kloubu, 250x, Nital.
Perliticko-feritická struktura, rovnoměrná, s nepříliš velkými rozdíly ve velikosti zrna, perlit částečně sferoidizován, ferit vyloučen převážně po hranicích zrn v podobě polygonálních útvarů a místy ve formě šipek.

3 - Přehřáté pásmo náboje kloubu, 250x, Nital.
Výrazně jehlicovitá hrubší martenzitická struktura, po hranicích zrn drobná zrna feritu s vystřelujícími šipkami. Převážně po hranicích zrn troostit.

4 - Oblast kořene svaru, 20x, Nital.
Vpravo dole mezera mezi nalisovanou trubkou a nábojem kloubu /dole/. Ve svarovém kovu /nahoře/ je patrná zřetelná orientace struktury a podlouhlá bublinka.

5 - Základní materiál trubky, 250x, Nital.
Feriticko-perlitická struktura nízkouhlíkové oceli, nevýrazně řádkovitá. Ve spodní části feritickým pásmem prochází řádek sirníkových vměstků. Chemickým rozborem bylo určeno, že obsah uhlíku C = 0,30%.

6 - Přehřáté pásmo trubky, 250x, Nital.
Výrazně jehlicovitý martenzit, po hranicích zrn ferit.

b/ Makrostruktura a mikrostruktura svaru - vzorek 6 :

3

6

1

2

4

5

K rozboru byl použit metalografický mikroskop EPITYP II.

Vzorek 6 - náboj kloubu - mater. předepsaný 12 050.6
trubka - mat. předepsaný 11 650.1
parametry svařování viz 3.2.
teplota předehřevu 230°C viz 3.3.2.

Popis struktur /viz str. 40/:

1 - Vzorek 6, asi 2x, Nital.

Svarový kov, náboj kloubu /vlevo, dole/, trubka /vpravo nahoře/. Ve svarovém kovu usměrněná struktura. Šířky pásem 2 až 4 mm, u trubky větší. Svar souměrný.

2 - Základní materiál náboje kloubu, 250x, Nital.

Perliticko-feritická struktura s drobnými zrny feritu po hranicích zrn, sferoidizace perlitu nepatrná, zřejmě dána nedokonalým tepelným zpracováním.

3 - Přehřáté pásmo náboje kloubu, 250x, Nital.

Směsná přechodová struktura převážně bainiticko-troostitického charakteru, neobsahující martenzit.

4 - Oblast kořene svaru, 20x, Nital.

Svarový kov /nahoře/, trubka /vpravo uprostřed/, náboj kloubu /dole/. Vpravo dole mezera mezi nalisovanou trubkou a nábojem kloubu. Patrné zhrubnutí a usměrnění zrn.

5 - Základní materiál trubky, 250x, Nital.

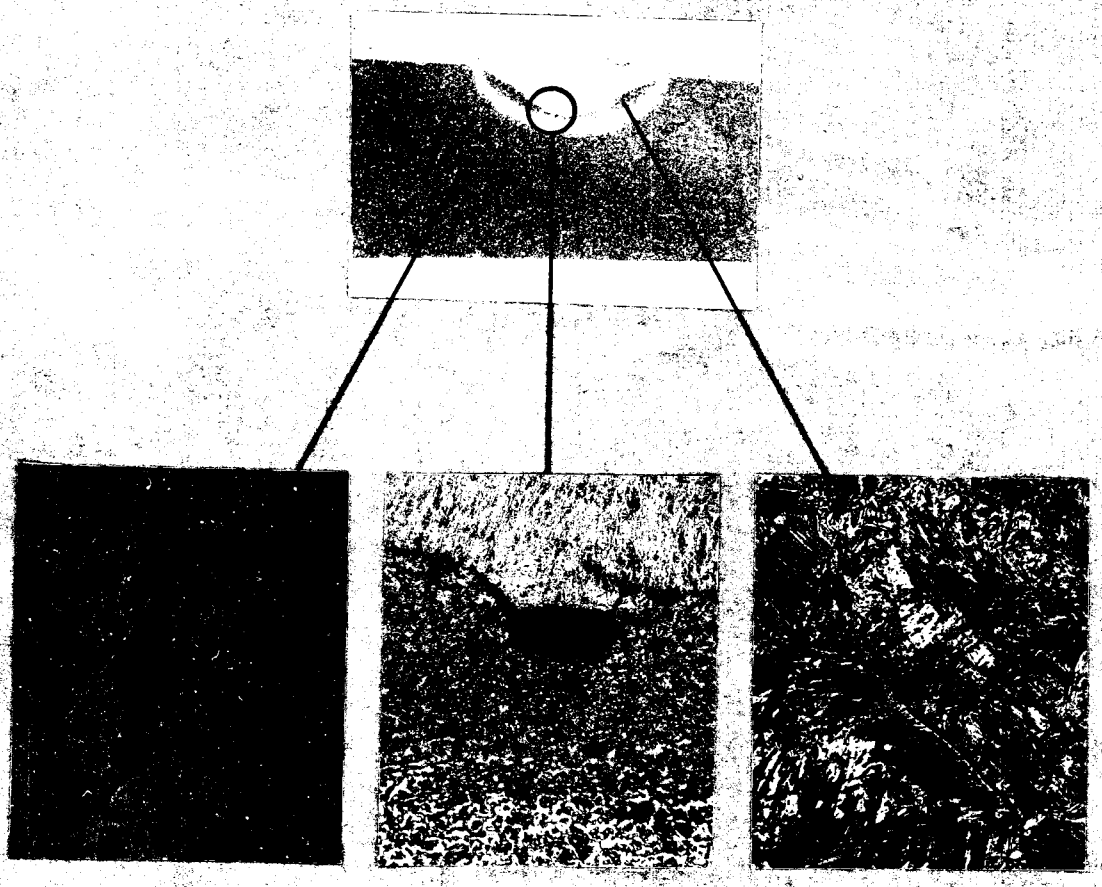
Feriticko-perlitická struktura nízkouhlíkové oceli, nevýrazně řádkovitá, velmi jemná. Chemickým rozborem byl určen obsah uhlíku C = 0,19%.

6 - Přehřáté pásmo trubky, 250x, Nital.

Přechodová struktura charakteru převážně přechodového perlitu, resp. troostitu, po hranicích zrn šipky feritu.

c/ Makrostruktura a mikrostruktura svaru - vzorek 3 :

1



2 4 3

K metalografickému rozboru byl použit metalografický mikroskop EPITYP II.

Vzorek 3 - materiál předepsaný 11 523.1
parametry svařování viz 3.2.
svařování za studena

Popis struktur /viz str. 42/:

1 - Vzorek 3, asi 2x, Nital.

Svarový kov, základní materiál 11 523. Ve svarovém kovu je zřetelná usměrněná struktura, svar i ovlivněné pásmo souměrné.

2 - Základní materiál, 25ox, Nital.

Velmi hrubá feriticko-perlitická struktura, mírně řádkovitá. Zrna perlitu ostrohranná, bez lamelární kresby. Odpovídá materiálu válcovanému za tepla, stav.0.

3 - Přehřáté pásmo základního materiálu, 250x, Nital.

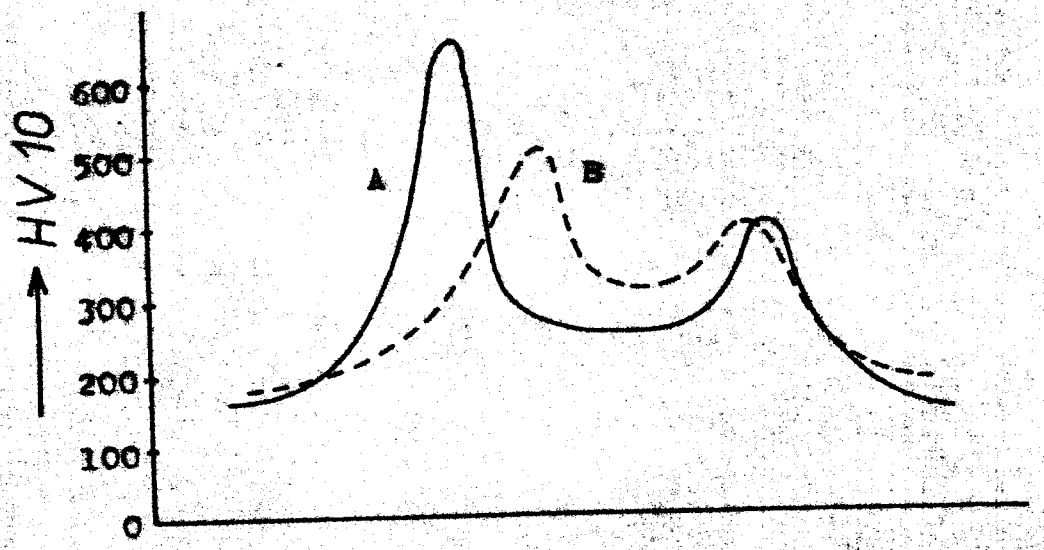
Struktura převážně bainitického charakteru, s jemnými šipkami feritu a troostitem po hranicích zrn.

4 - Oblast kořene svaru, 20x, Nital.

Ve svarovém kovu /nahoře/ usměrněná licí struktura, v základním materiálu /dole/ zřetelné zhrubnutí struktury. Nedokonalé provaření kořene svaru.

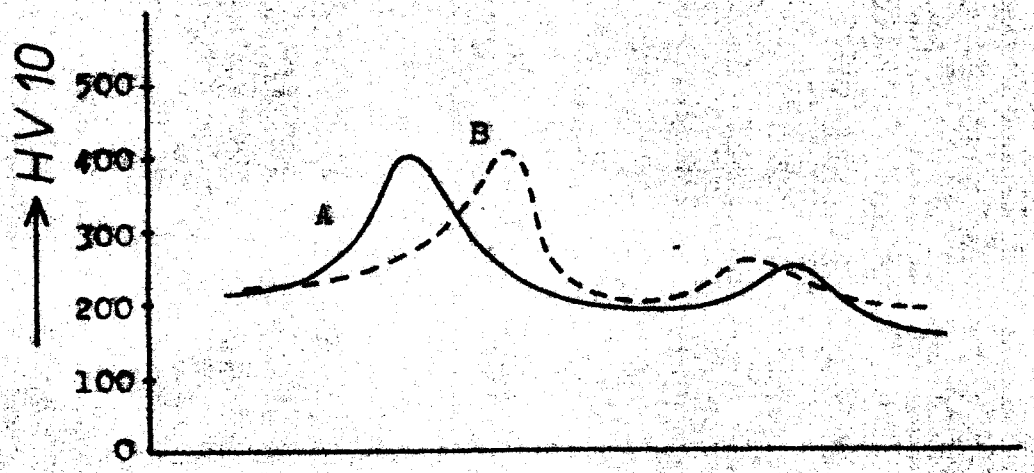
Materiály vzorků použitých pro metalografické výbrusy odpovídaly svým chemickým složením a tepelným zpracováním normě dle ČSN. Chemické složení bylo kontroleváno chemickými rozbory, tepelné zpracování bylo kontroleváno měřením tvrdosti.
U trubek byla zjištěna záměna předepsaného materiálu 11 650.1 za nízkouhlíkovou ocel.
U zkušebního tělesa 3 byla zjištěna záměna předepsaného stavu .1, tj. 11 523.1 za stav .0, tj. 11 523.0.

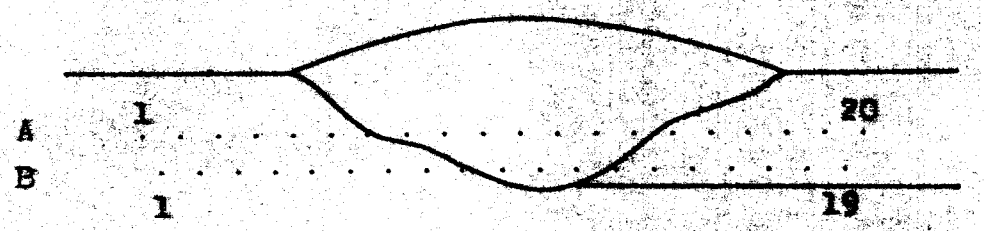
d/ Měření tvrdosti - vzorek B1:



A	vtisk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	HV 10	170	143	160	160	239	287	640	322	239	287
	vtisk	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	HV 10	239	251	274	239	397	350	187	128	128	160
B	vtisk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	HV 10	176	181	187	220	239	220	262	395	495	301
	vtisk	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	HV 10	350	327	287	390	363	251	176	181	165	

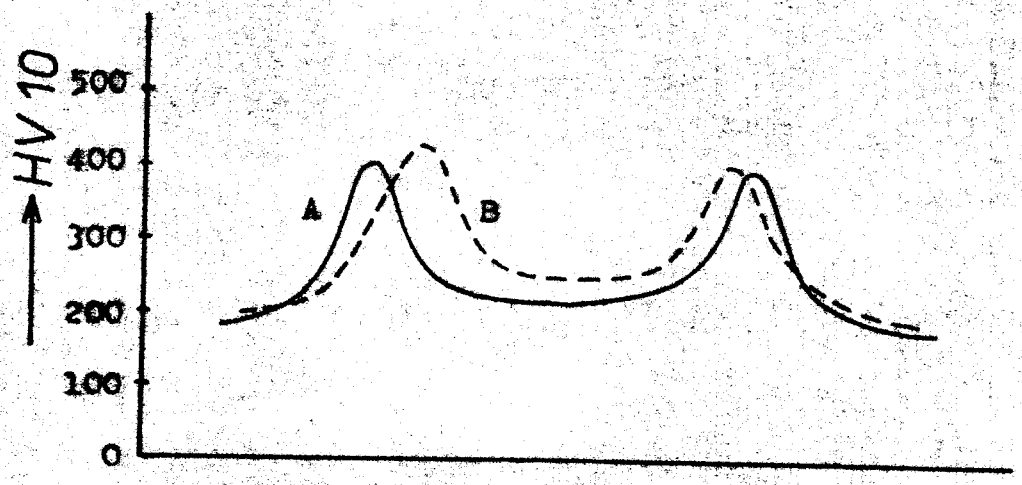
e/ Měření tvrdosti - vzorek 6:

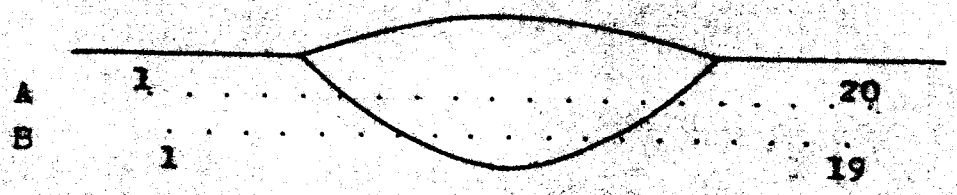




A	vtisk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	HV 10	225	236	220	243	301	395	317	243	220	236
	vtisk	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	HV 10	239	220	206	220	193	250	206	185	185	160
B	vtisk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	HV 10	225	220	254	254	206	239	317	407	220	227
	vtisk	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	HV 10	206	214	233	250	247	239	193	220	155	

f/ Měření tvrdosti - vzorek 3:





A	vtisk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	HV 10	187	187	181	287	410	220	287	220	262	285
	vtisk	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	HV 10	193	251	220	251	390	301	187	170	176	187
B	vtisk	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	HV 10	190	230	199	301	360	420	251	274	220	270
	vtisk	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	HV 10	274	301	344	400	301	230	187	220	187	

Pro měření tvrdosti byly využity metalografické výbrusy, na nichž bylo předtím provedeno metalografické pozorování a fotografování struktur.

Měření tvrdosti bylo provedeno metodou HV 10 na tvrdoměru MEOPTA, 56 801, v.č. 162401. Tento tvrdoměr byl použit vzhledem k tomu, že v jeho příslušenství je posuvový stolek, do něhož byly vzorky upínány, umožňující přesné umístění a řazení vtisků. Takto změřená tvrdost byla ještě ověřena toutéž metodou na tvrdoměru HPO 250 /Diatester/ jednotlivými vtisky. Tvrdosti, naměřené oběma tvrdoměry, si odpovídaly.

g/ Zkoušky vrubové houževnatosti:

- Válec 1 - materiál předepsaný 12 050.6
  parametry svařování viz 3.2.
  svařování za studena

Zkušební tělíska normalizovaná, ozn. 1A,1B,1C, viz 3.3.5.

Vrubová houževnatost R:

tělíska	R [kpm/cm^2]	Ø R
1A	8,5	
1B	9,0	8,4
1C	7,7	

- Válec 2 - materiál předepsaný 12 050.6
  parametry svařování viz 3.2.
  teplota předehřevu 230°C, viz 3.3.2.

Zkušební tělíska normalizovaná, ozn. 2a,2B,2C, viz 3.3.5.

Vrubová houževnatost R:

tělíska	R [kpm/cm^2]	Ø R
2A	9,0	
2B	10,5	9,6
2C	9,3	

- Válec 3 - materiál předepsaný 11 523.1
  parametry svařování viz 3.2.
  svařování za studena

Zkušební tělíska normalizovaná, ozn. 3A,3B,3C,viz 3.3.5.

Vrubová houževnatost R:

tělíska	R [kpm/cm²]	Ø R
3A	4,8	
3B	5,3	4,9
3C	4,6	

- Náboj kloubu 4 - materiál předepsaný 12 050.6
  parametry svařování viz 3.2.
  svařování za studena

Zkušební tělíska dle Komárka, ozn. 4A,4B,4C,viz 3.3.5.

Vrubová houževnatost R:

tělíska	R [kpm/cm²]	Ø R
4A	1,30	
4B	1,45	1,49
4C	1,65	

- Náboj kloubu 5 - materiál předepsaný 12 050.6
  parametry svařování viz 3.2.
  teplota předehřevu 230°C, viz 3.3.2.

Zkušební tělíska dle Komárka, ozn. 5A,5B,5C, viz 3.3.5.

Vrubová houževnatost R:

tělísko	R [kpm/cm²]	Ø R
5A	2,21	
5B	2,30	2,31
5C	2,42	

Zkoušky vrubové houževnatosti u tělísek označených čísly 1,2,3, tj. normalizovaných, byly provedeny v souladu s ČSN 42 0381 až ČSN 42 0383 na Charpyho kladivu, 30 kpm.

Teplota v laboratoři byla 20°C.

Zkoušky vrubové houževnatosti u tělísek označených čísly 4,5, tj. dle Komárka, byly provedeny ve Státním výzkumném ústavu materiálu v Praze.
Zkušební stroj: Schopper, 150 kpm.
Teplota v laboratoři byla 23°C.

4. ZHODNOCENÍ

4.1. Zhodnocení současného stavu

Na základě teoretického studia a provedených experimentálních prací hodnotím současný stav při svařování spojovacího hřídele takto:

- Svařování spojovacího hřídele se provádí na jednoúčelovém svařovacím stroji LPU 104 s parametry /viz str. 26/, za studena. Parametry svařování byly zjištěny podle [20] a jsou považovány za optimální.

- Při svařování je použita svařovací hubice tvaru trubky o stálém vnitřním průřezu. To je, domnívám se, i příčinou většího potřebného odběru CO_2. Hubice není chlazena, a po provedení asi 40 - 50 svarů musí být, vzhledem k zanešení rozstřikujícím kovem, vyměňována.

- Svary mají vnější kresbu pravidelnou, bez zápalů a náhlých změn průřezu. U ověřovací série /viz 3.3.1./ na konci svarové housenky vznikal mělký kráter. Tato vada byla seřízením cyklu svařovacího stroje odstraněna, takže při dalších experimentálních pracech se již nevyskytovala. Průřez svaru je souměrný, s malým převýšením, s plynulým přechodem do základního kovu. Poměr šířky svaru b ke hloubce průvaru h je b:h = 1,8 - 2. Svary obsahují zákalné struktury /martenzit/ ve velkém rozsahu, což je dáno především nevhodným chemickým složením použitých materiálů.

- Tvar svarové drážky je dle obr. 5, str. 26. Průměr 83 u trubky není dodržován, bývá mnohdy až Ø 83,3. Průměr Ø 85 na trubce není při výrobě trubek dodržován, kolísá po obvodu mezi Ø 83 - Ø 90. Úhel svarové drážky je 50°, spodní poloměr zaoblení R = 0,5. Tyto skutečnosti mají za následek ojedinělé nedokonalé prevaření kořene svaru, tvorbu bublinek, a dokonce i nesouosost trubky s nábojem kloubu, resp. nástavkem.

- U trubek spojovacích hřídelů dochází k záměnám předepsaného materiálu 11 650.1 za materiály jiné, nízkouhlíkové. Tato vada byla zjištěna i dříve, viz [20], [21].

4.2. Porovnání kvality svarů původní technologií s kvalitou ověřovacích svarů

Na základě rozborů /viz 3.3.1./ jsem navrhl opatření při svařování spojovacího hřídele, tj. předehřev před svařováním, nebo změnu materiálu dílů spojovacího hřídele. Tato opatření jsem ověřil vhodnými zkouškami, viz. 3.3.3. a 3.3.4. Jiná opatření jsem pro experimentální ověření nenavrhoval, neboť by byla obtížné, resp. nemožné, je v daných výrobních podmínkách vyzkoušet. Mám na mysli změnu tvaru drážky, změnu svařovacích parametrů a jiná opatření, o nichž pojednávám dále při návrhu konečné technologie. Nebyla by to ani účelné, neboť, jak jsem již uvedl, největším nedostatkem je nesprávná volba materiálů dílů spojovacího hřídele.

a/ Vnější prohlídka svaru

Svarové spoje, provedené jak původní technologií, tak s předehřevem a se změnou materiálu, se svými vnějšími znaky neliší. Vnější kresba je pravidelná, bez zápalů a náhlých změn průřezů. Pouze u vzorků, odebraných z ověřovací série /např. B1/, byly na konci svarové housenky mělké krátery. Tato vada byla seřízením svařovacího stroje odstraněna a dále se nevyskytuje.

Svary s předehřevem a se změnou materiálu, neobsahují bubliny. To je zřejmě způsobeno u svarů s předehřevem pomalejším chladnutím a tedy lepším odplyněním roztaveného svarového kovu. Vliv může mít i vyšší čistota zkušebních těles, než dílů spojovacího hřídele, které i přes odmašťování mohou zůstat mastné. Mohou se zamastit ještě při další manipulaci s nimi, například při upínání do svařovacího stroje.

b/ Metalografie

Na základě metalografických rozborů lze konstatovat, že
- U vzorku, svařeného s předehřevem se v přehřátých pásmech vyskytují struktury charakteru bainiticko-troostitického, neobsahující martenzit. U vzorku, svařeného současnou technologií, tj. za studena se vyskytuje hrubý martenzit. Vzorek, svařený se změnou materiálu, obsahuje v přehřátém pásmu struktury převážně charakteru bainitického, čili pro svařování příznivé.

c/ Tvrdost

Hranicí mezi materiály vhodnými ke svařování a materiály ke svařování nevhodnými je tvrdost 350 HV. U vzorku svařeného původní technologií, tj. za studena, bylo naměřeno až 640 HV.
U vzorku, svařeného s předehřevem, bylo naměřeno maximálně 407 HV.
U vzorku, svařeného se změnou materiálu, bylo naměřeno 420 HV.
U všech vzorků je tedy překročena hranice 350 HV, což je pro svařování nevýhodné. U posledního vzorku, tj. zřejmě způsobeno záměnou předepsaného stavu 11 523.1 za stav 11 523.0, jak tomu napovídá metalografický rozbor.

d/ Vrubová houževnatost

Porovnáním hodnot vrubové houževnatosti u jednotlivých vzorků /viz str. 48 - 50/ lze konstatovat, že nevýrazně se vrubová houževnatost zlepšila svařováním s předehřevem oproti svařování za studena. U vzorků z materiálu 11 523 je vrubová houževnatost nižší, což je zřejmě způsobena hrubší strukturou základního kovu, která odpovídá stavu 11 523.0. Tomu nasvědčují i lomové plochy zkušebních tělísek. Užitím vhodně tepelně zpracovaného materiálu, např. normalizačně žíhaného se struktura zjemní a vrubová houževnatost se zvýší. Struktura se zřejmě zje-

mní ještě tvářením při výrobě výkovku náboje kloubu. Ve všech případech je vrubová houževnatost vyšší, než 3,5 kpm/cm^2, která se uvádí jako kritérium svařitelnosti.

4.3. Konečný návrh na svařování spojovacího hřídele

Na základě předchozího teoretického studia a experimentálních prací navrhuji tato opatření při svařování spojovacího hřídele Š-706:

a/ Materiály dílů spojovacího hřídele

- Provést změnu materiálů dílů spojovacího hřídele dle 3.3.2., str. 31,32.
- Zavést důslednou kontrolu materiálu a kontrolu čistoty dílů před svařováním.

b/ Tvar drážky

- Navrhuji zvětšit úhel rozevření drážky na 60 - 70°, poloměr zaoblení R navrhuji zvětšit na 1 - 1,5 mm /obr. 5/.
- Provést příslušná opatření ke zlepšení kvality výroby trubek a zavést kontrolu a rozměrů - sledovat především Ø 83 H8 a Ø 85.

c/ Parametry svařování

- Parametry svařování dle 3.2., byly navrženy a při současném způsobu svařování jsou optimální. Budou-li zavedena opatření a, b, str. 57, pak bude možné zmenšit průřez svaru úpravou parametru svařování, např. snížením svařovacího proudu /viz str. 19,20/. Současné svařovací parametry byly navrženy tak, aby dodané teplo bylo co nejvyšší a tím se snížil rozsah základních struktur a zlepšilo se provaření kořene svaru. Při změně parametrů snažit se také upravit poměr b:h.

ČSN 055370 (P 245 C)

- Svařovací drát C-42 /viz str.26/, používaný ke svařování v současné době, nahradit svařovacím drátem s vyšší pevností, např. drátem C-52, který svou pevností σ_{pt} 48 - 52 kp/mm^2, odpovídá pevnostně používaným i navrhovaným materiálům dílů spojovacího hřídele. Tuto navrhovanou změnu řádně vyzkoušet, neboť použitím svařovacího drátu vyšší pevnosti může nastat nebezpečí vzniku trhlin ve svarovém kovu /viz 2.2.3./.

d/ Svařovací stroj LPU 104

- Provést chlazení svařovací hubice, aby se nezanášela rozstřikujícím kovem.

- Spolu s tím navrhuji změnit původní tvar hubice na tvar zúžené trysky, např. dle [13] . Tím se také zřejmě sníží potřebný odběr CO_2.

- Sklonit hubici o 5 - 10° ve směru svařování. Tím se sníží šířka svaru.

e/ Kontrola jakosti svarů

- Vzhledem ke zvětšenému namáhání spojovacího hřídele zavést kontrolu jakosti svarových spojů.

5. ZÁVĚR

Téma této diplomové práce vzniklo z potřeby zjistit skutečný stav při současném svařování spojovacího hřídele nákladního automobilu Škoda 706 a na základě rozboru zjištěných nedostatků navrhnout opatření k jejich odstranění, tak, aby svařování zaručovalo dokonalé svarové spoje, vzhledem ke značnému namáhání a důležitosti spojovacího hřídele.
Byl jsem tak postaven před nemalý úkol.

Po teoretickém studiu a praktickém seznámení s touto problematikou a na základě vhodných zkoušek, jsem navrhl opatření, která jsem též ověřil zkušebními svary. Záměrně jsem ověřoval pouze možnost svařování s předehřevem původních materiálů a svařování materiálu, navrženého na základě teoretických předpokladů. Takto jsem postupoval proto, abych ukázal, že nejdůležitější současné nedostatky vyplývají z použití ke svařování nevhodných materiálů. Cílem ověřovacích svarů, provedených s předehřevem, tedy nebylo dokázat, že lze dopřesně svařovat současně používané materiály. Naopak, na základě teoretického studia jsem předpokládal, že předehřevem se kvalita svarů příliš nezlepší, což také potvrdily provedené experimentální práce. Předehřev navíc představuje technickou komplikaci a bylo by obtížné aplikovat jej při praktickém svařování. Předehřev má též nepříznivý vliv na kvalitu hotově obrobených dílů spojovacího hřídele, znesnadňuje manipulaci s ním, zdražuje výrobu a hlavně, jak jsem již uvedl, řeší velmi málo. Nemluvě o dalších opatřeních, jako je například dohřev a žíhání po svařování apod., jichž by zřejmě bylo nutno užít.
Hlavní důraz kladu na návrh změny materiálů. Nezastírám, že se mi plně nepodařilo pomocí ověřovacích svarů obhájit správnost tohoto návrhu, ale, již na základě metalografických rozborů a hlavně teoretických předpokladů a studia

norem ocelí dle ČSN plně tento návrh doporučuji. Není ostatně úplně ke škodě, že došlo k záměně předepsaného výchozího stavu navrhovaného materiálu. Dokumentuje to, mimo jiné, i důležitost užít pro svařování materiály vhodně tepelně zpracované a také podporuje oprávněnost požadavku na zavedení důsledné materiálové kontroly.

Při realizaci této diplomové práce bylo nutno překonat mnoho obtíží, jak odborných, tak hlavně organizačních, vyplývajících ze skutečnosti, že tato práce vznikala v několika závodech n.p. LIAZ a na VŠST v Liberci.

Přál bych si, aby moje diplomová práce pomohla řešit problém svařování spojovacího hřídele, alespoň tím, že podpoří požadavek změny používaných materiálů.

Děkuji Ing. J. Baldovi CSc, odbornému asistentovi VŠST v Liberci, Ing. V. Kýnlovi, hlavnímu metalurgovi n.p. LIAZ Rýnovice a Ing. V. Kubíčkovi, vedoucímu metalografické laboratoře n.p. LIAZ Rýnovice, za pečlivé odborné vedení a poskytnutí potřebných podkladů a prostředků pro vypracování této diplomové práce.

Děkuji také zaměstnancům n.p. LIAZ, za pomoc při zajišťování experimentálních prací.

Liberec, 6.7.1973

Jiří Kozjůra

POUŽITÁ LITERATURA

[1] Čabelka, J.: Mechanická technológia VSAV Bratislava 1967

[2] Černoch, S.: Strojně technická příručka SNTL Praha 1968

[3] Greger, V.: Skúšky zváraných spojov SVTL Bratislava 1963

[4] Hoskovec, J.: Svařitelnost železných kovů a zkoušky svařitelnosti - Pardubice 1971

[5] Jareš, V.: Metalografie ocele NČAV Praha 1961

[6] Jareš, V.: Základní zkoušky kovů a jejich teorie NČAV Praha 1966

[7] Jedlička, J.: Svařování v otázkách a odpovědích SNTL Praha 1962

[8] Jech, J.: Tepelné zpracování oceli SNTL Praha 1969

[9] Kalita, B.: Přídavné materiály pro svařování a pájení - Pardubice 1971

[10] Kleander, A.: Přídavné materiály pro svařování SNTL Praha 1966

[11] Košelev, V.A.: Metalografické tabulky TVV Praha 1952

[12] Košelev, V.A.: Základy metalografie oceli SNTL Praha 1953

[13] Kříž, V.: Svařování v kysličníku uhličitém SNTL Praha 1962

[14] Ministr, Z.: Praktická metalografická mikroskopie SNTL Praha 1956

[15] Pluhař, J.: Strojírenské materiály
SNTL Praha 1966

[16] Pilous, V.: Konstruktér a tavné svařování ocelí
SNTL Praha 1964

[17] Séferian, D.: Nauka o kovech ve svařování ocelí
SNTL Praha 1962

PODKLADY z n.p. LIAZ Rýnovice

[18] Návod k obsluze svařovacího stroje LPU 104, č. 69

[19] Výkresy spojovacího hřídele a jeho součástí

[20] Zpráva č. 738 - 12 - Ku/71
Zpráva č. 126 - 2 - Č/72
Zpráva č. 374 - 5 - Kc/72

JINÉ PODKLADY

[21] Kozjůra, J.: Svařování spojovacího hřídele - zpráva
VŠST - Liberec 1972

[22] Normy ocelí dle ČSN

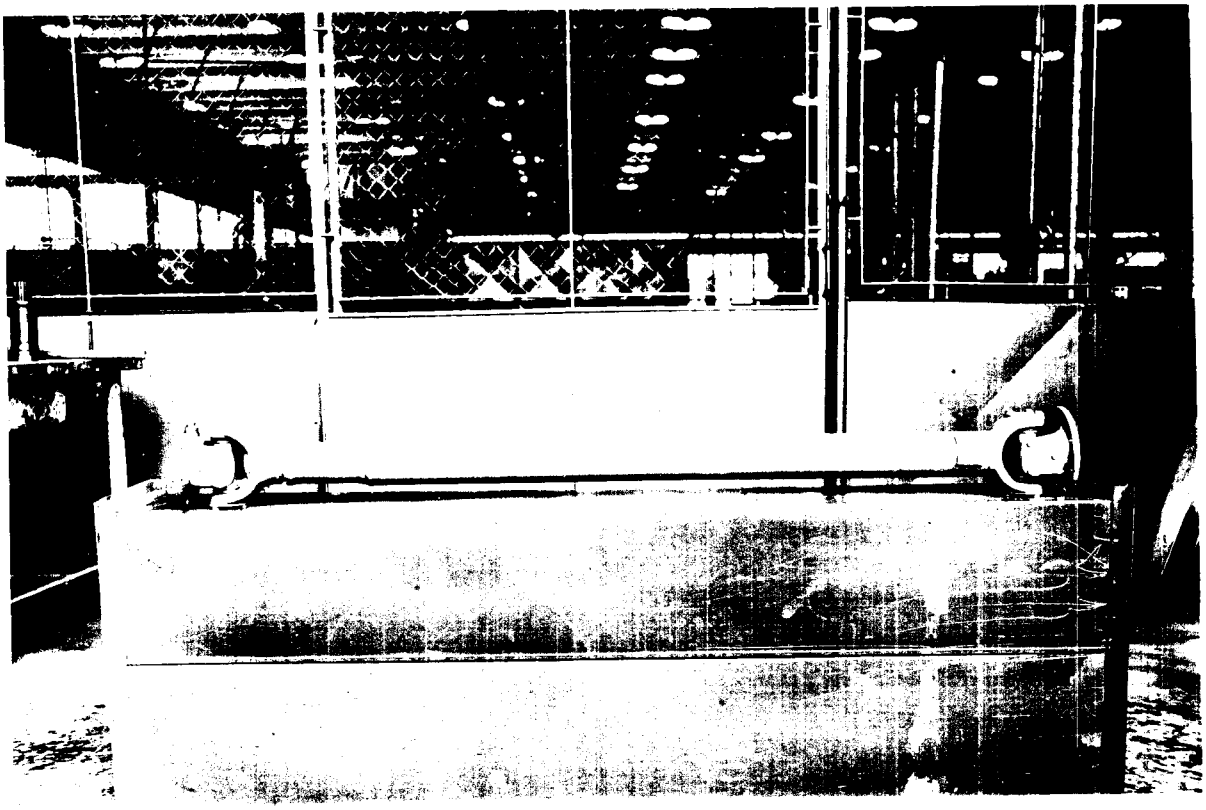


Figure 1

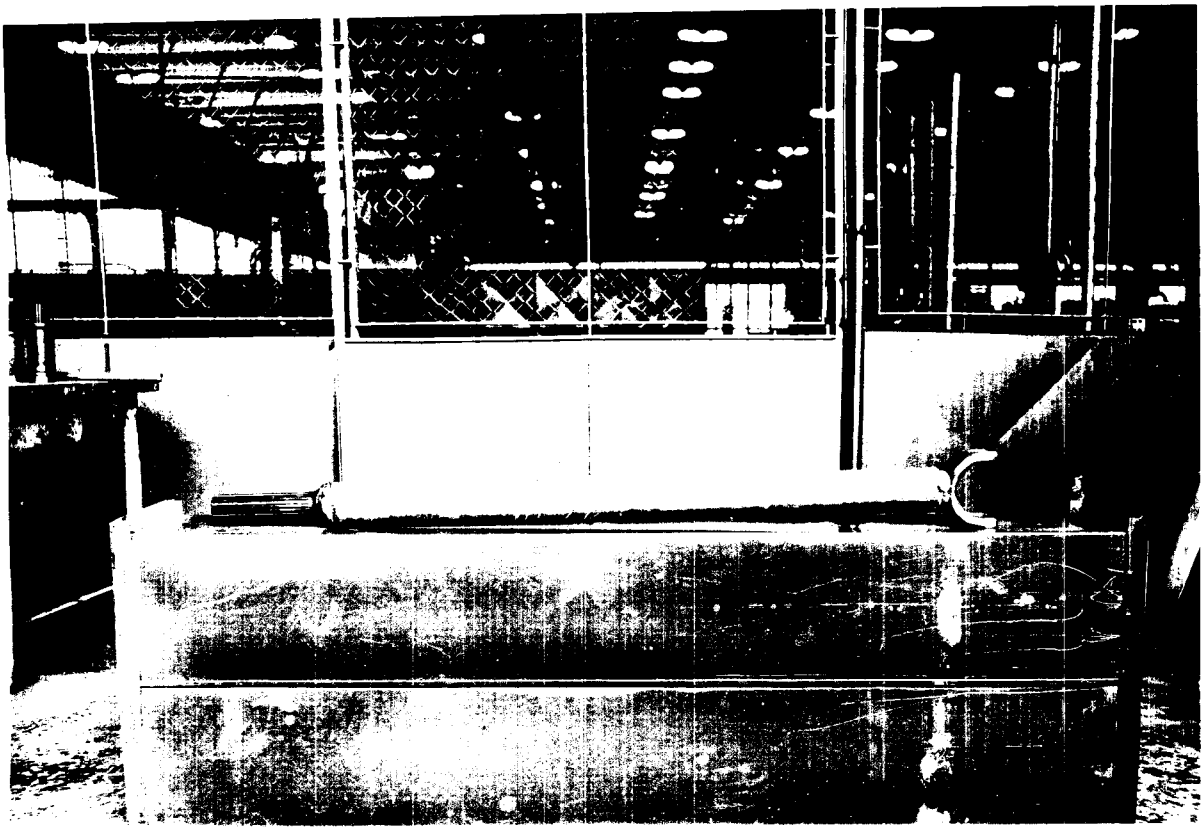
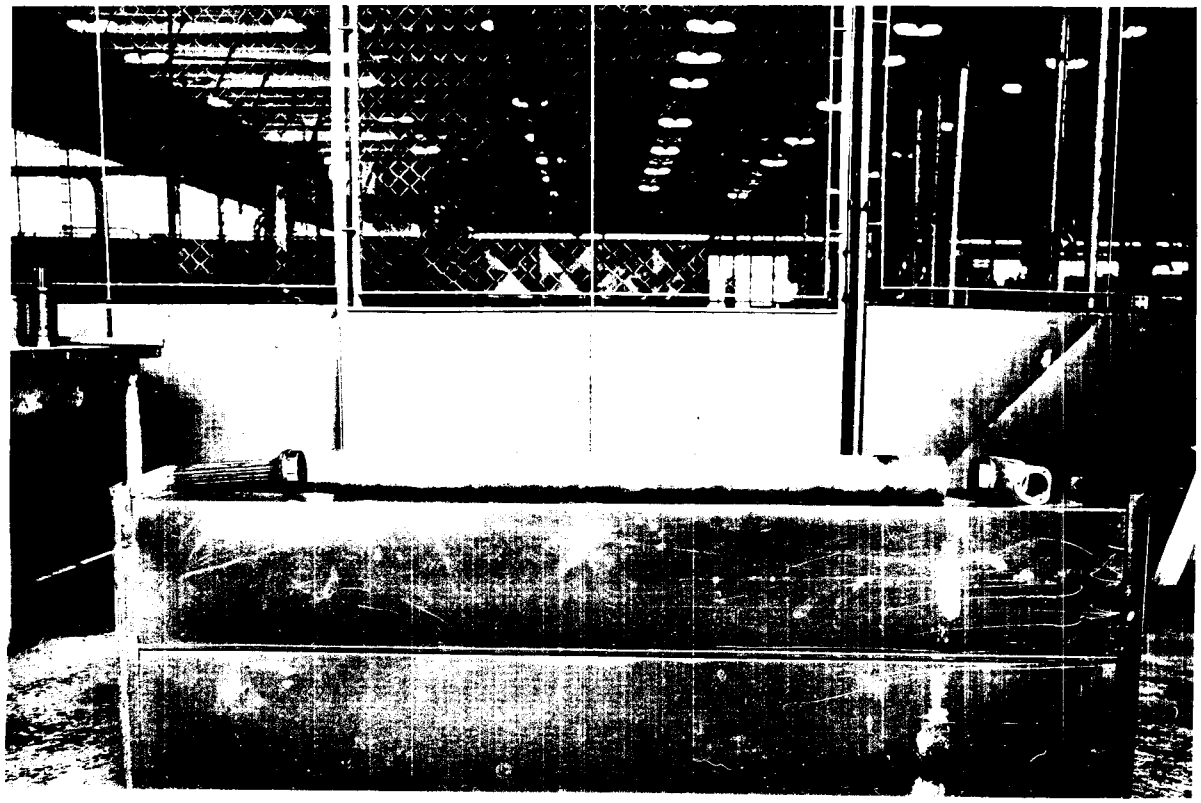
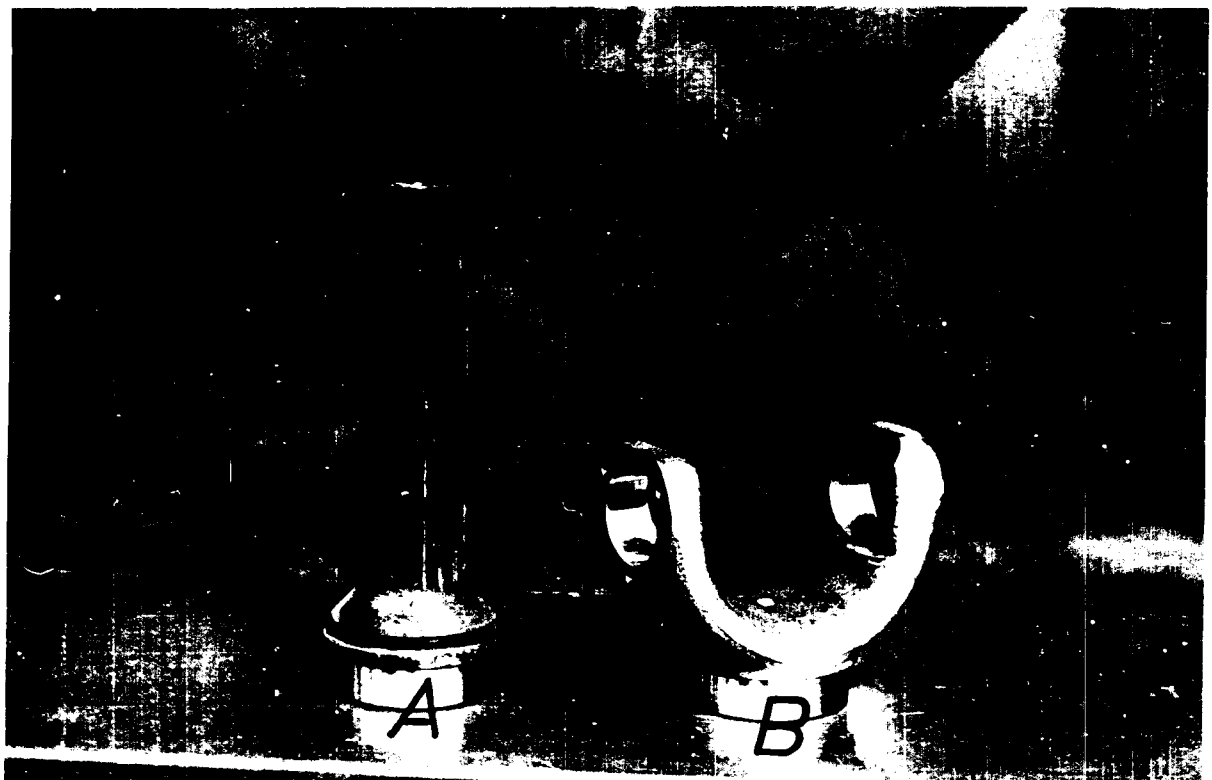


Figure 2



pa[illegible] 3



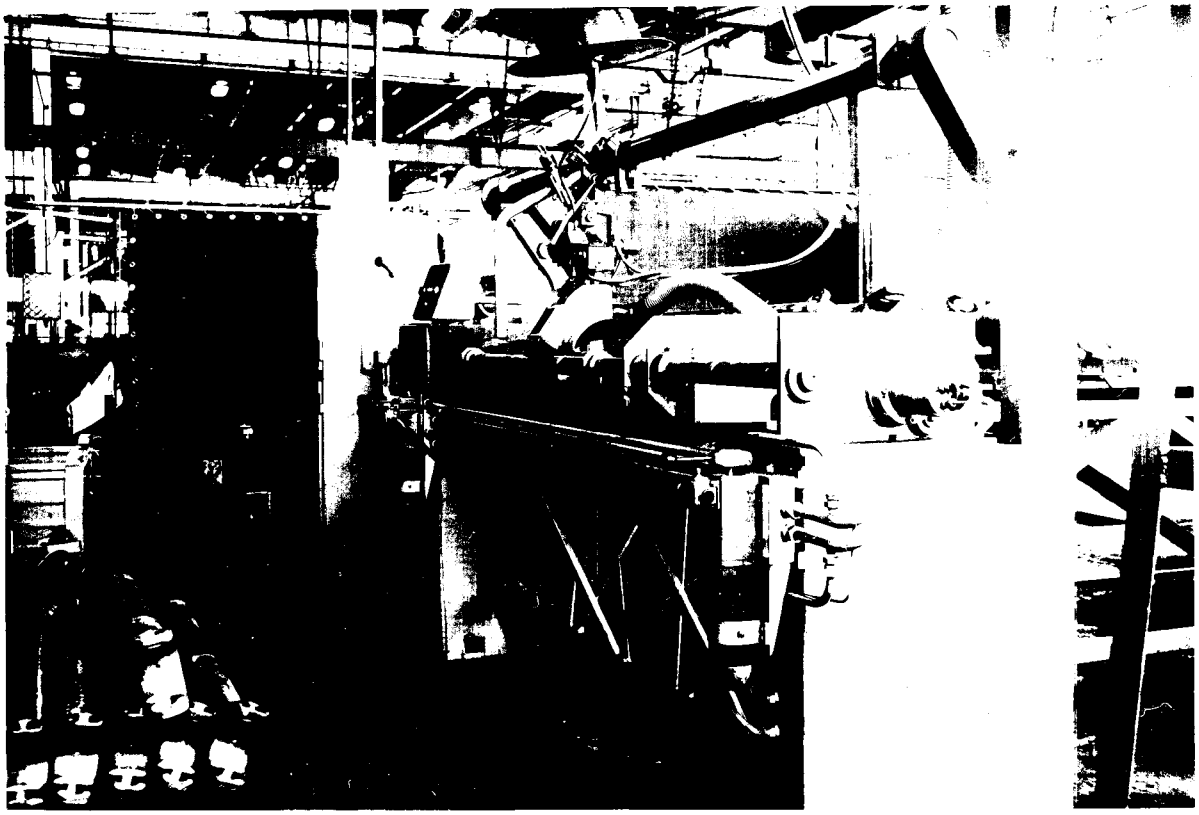
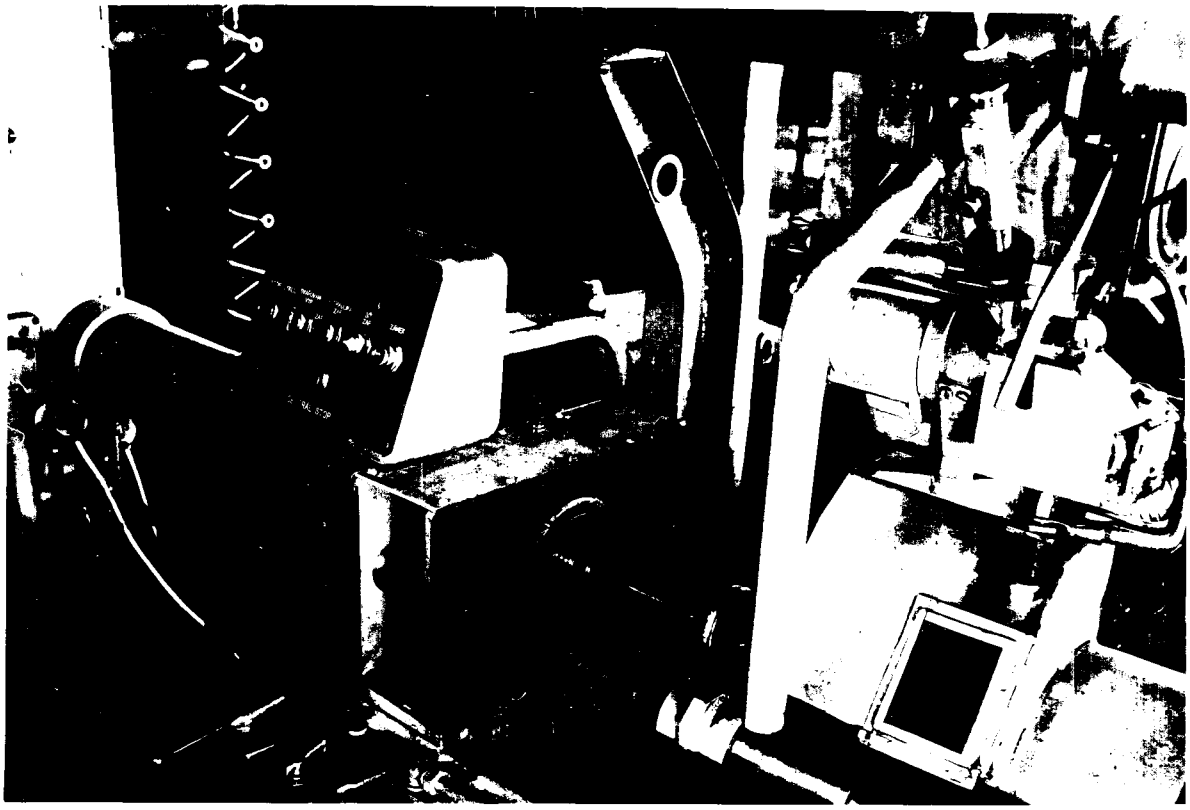


Photo 5



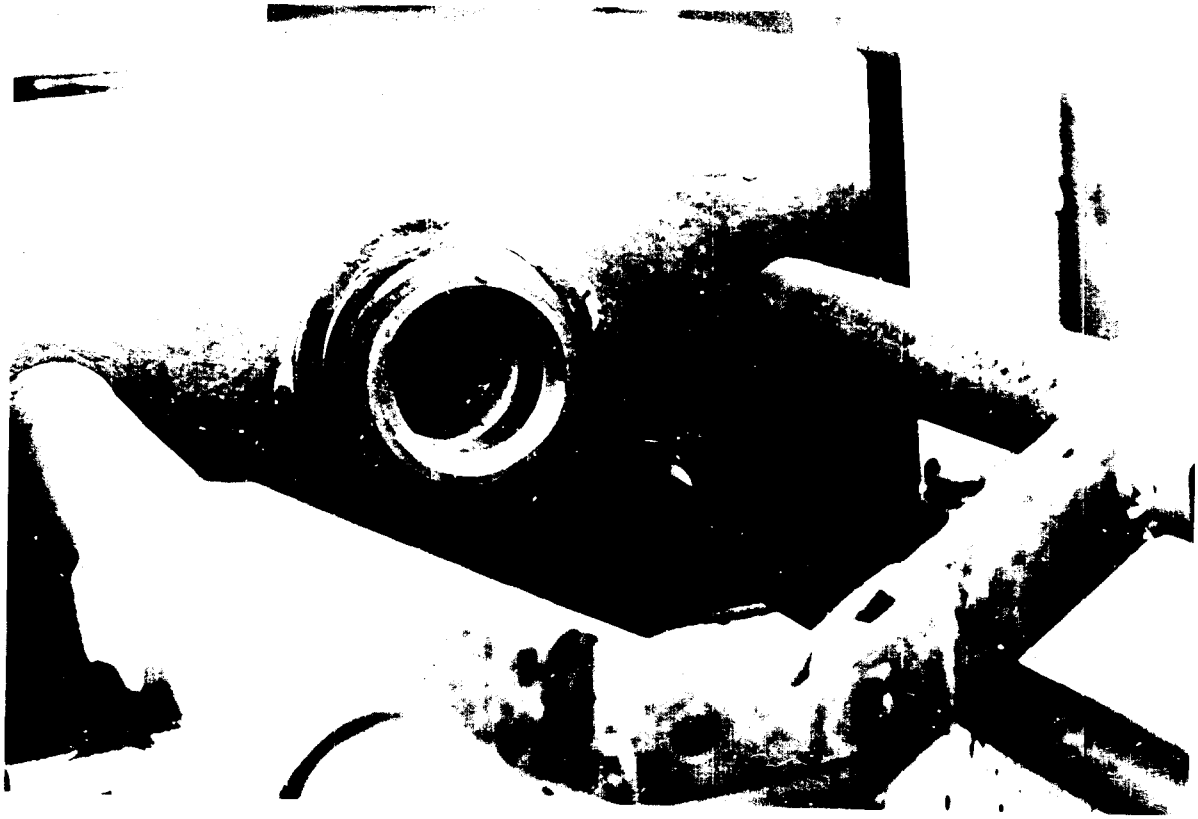
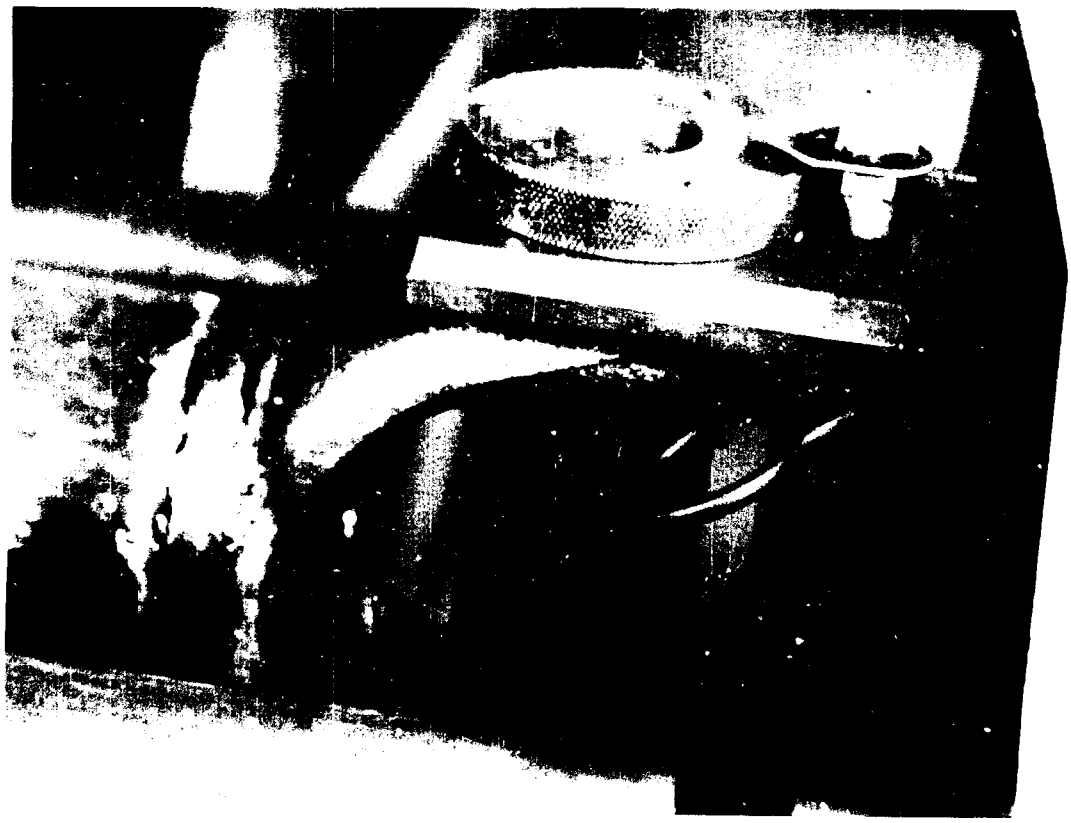


Photo 7

Photo 8



příloha 9

příloha 10

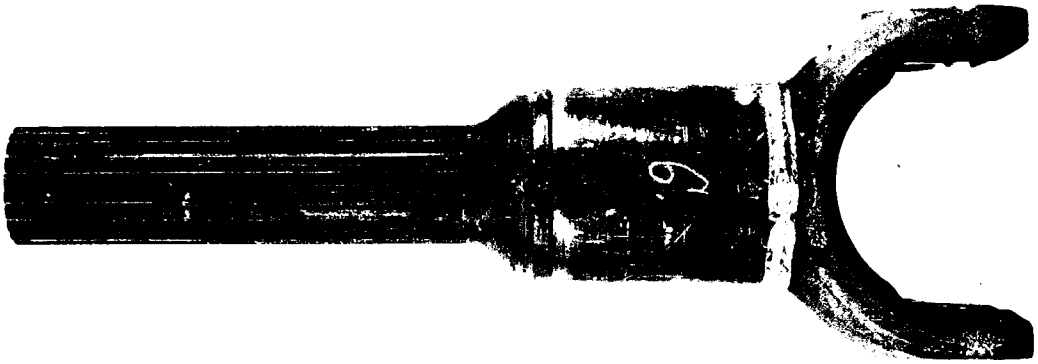


Plate 11

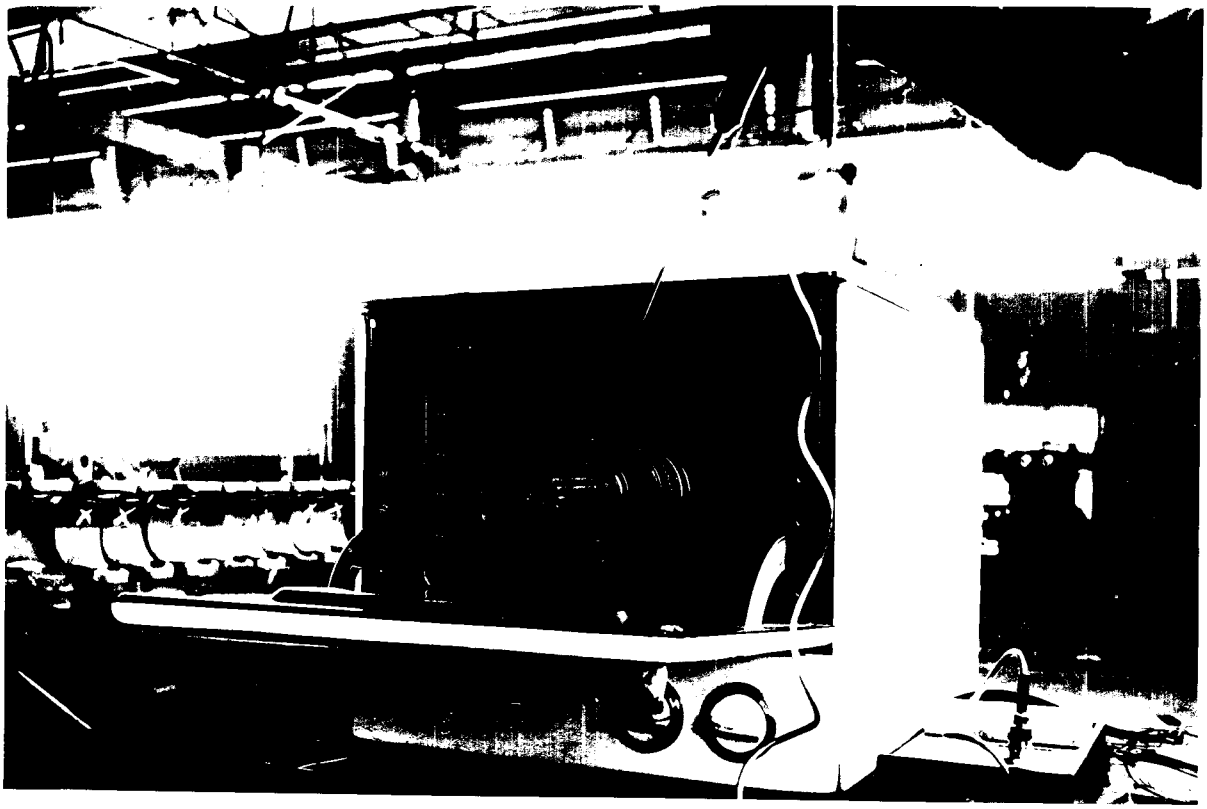
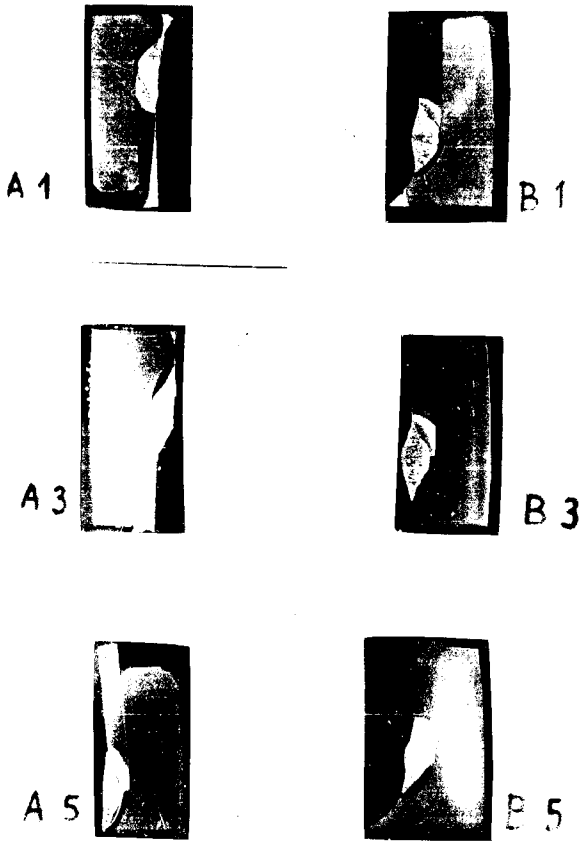
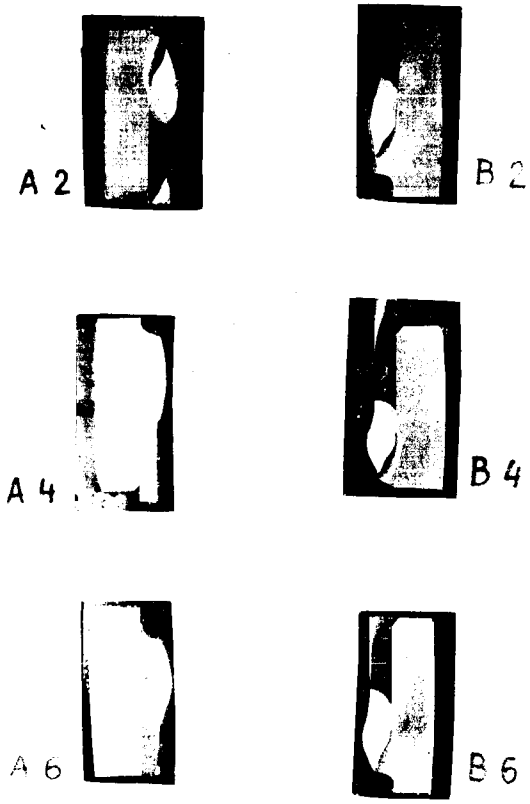


Plate 12


A 1
B 1
A 3
B 3
A 5
B 5


A 2
B 2
A 4
B 4
A 6
B 6