

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci,

nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

strojírenská technologie

zaměření

tváření kovů a plastických hmot

Katedra tváření a plastů

RENOVACE STROJNÍCH SOUČÁSTÍ
STROJŮ A ZAŘÍZENÍ NAVAŘOVÁNÍM

Pavel L i c h t e n b e r g

KPT 407

Vedoucí práce: Stanislav Jenší / VŠST Liberec /

Rozsah práce a přílohy

Počet stran: 84

Počet tabulek: 7

Počet obrázků: 33

Počet příloh: -

Počet výkresů: -

2. června 1989

Vysoká škola strojní a textilní Liberec

Katedra: Vytváření a pleťářství Školní rok: 1988/89

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMELECKÉHO DÍLA, UMELECKÉHO VÝKONU)

pro Pavla Lichtenberga

obor 2307 - 8 strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Renovace strojních součástí strojů
a zařízení navařování

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s renovační technikou:
a/ elektrickým obloukem - obalená elektroda
b/ plamenem - prášky
2. Proveďte navaření vzorků vybraných ocelí
3. Navařené vzorky metalograficky vyhodnoťte
4. Získané poznatky aplikujte ve vybraných případech řešení
5. Proveďte ekonomický rozbor

V 152/89 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, ŠTĚPÁNSKÁ 5
PSČ 461 17

Roučka - dílo strojů -
Kacavová

TP/KPT

počet předložených prací: podle požadavků vedoucího katedry
počet přílohů: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

1. LOBL: Navařování, SNTL, Praha 1963
2. Kurz: Navařování ČSVTS, Nitra 1982
3. fakultní úkol K 199, VŠST Liberec, 1987

Vedoucí diplomové práce: Stanislav Jenší

Datum zadání diplomové práce: 26. 9. 1988

Termín odevzdání diplomové práce: 2. 6. 1989



Prof. Ing. Jaroslav Iměj, CSc.
Vedoucí katedry

Prof. Ing. Vladimír Prašil, DrSc.
Děkan

Liberec 26. 9. 1988

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

V Liberci 2.6. 1989

Lichtenberg Pavel

O B S A H

		str.
1.	Ú V O D	7
2.	T E O R E T I C K Á Č Á S T	9
2.1	Charakteristika a rozdělení způsobů navařování	9
2.2	Ruční navařování elektrickým obloukem	11
2.2.1	Volba a označení elektrod	12
2.2.2	Přehled vybraných elektrod	13
2.3	Práškové navařování plamenem	14
2.3.1	Přídavné materiály pro práškové navařování plamenem	19
2.4	Porovnání obou technologií navařování	22
2.5	Opotřebením strojních součástí a nástrojů	23
2.6	Vady svařovaných a navařovaných materiálů	24
2.6.1	Plynové dutiny	25
2.6.2	Vměstky	26
2.6.3	Trhliny	27
2.6.3.1	Trhliny vznikající za tepla	27
2.6.3.2	Trhliny vznikající za studena	31
2.6.3.3	Žíhací trhliny	34
2.6.3.4	Lamelární trhliny	35
3.	E X P E R I M E N T Á L N Í Č Á S T	39
3.1	Charakteristika vybraných základních materiálů určených pro navařování	39
3.2	Popis použitých přídavných materiálů	41
3.2.1	Tvrdonávarová elektroda VÚZ - R4	41
3.2.2	Tvrdonávarová elektroda VÚZ - R5	42
3.2.3	Použité práškové materiály pro navař. plamenem	43

	str.
3.3	Příprava a navařování vybraných vzorků ocelí 44
3.3.1	Příprava navařovaných ploch materiálu 44
3.3.2	Návary na oceli 11 373 44
3.3.3	Návary na oceli 11 600 44
3.3.4	Návary na oceli 19 721 45
3.4	Hodnocení navařovaných vzorků vybraných ocelí 46
3.4.1	Metalografické hodnocení návarů 46
3.4.1.1	Mikrostruktura výchozího stavu oceli 47
3.4.1.2	Mikrostruktura vzorků návarů vytvořená prášky 50
3.4.1.3	Mikrostruktura vzorků návarů vytvoř. elektrodami 53
3.4.1.4	Makrostruktura vzorků návarů 58
3.4.2	Měření tvrdosti vzorků 63
3.4.2.1	Shrnutí výsledků tvrdosti 64
3.5	Uplatnění způsobů navařování při renovaci 64
	vybraných nástrojů a strojních součástí
3.5.1	Renovace vrtáku do zdi 65
3.5.1.1	Technologický postup renovace vrtáku 67
3.5.1.2	Kalkulace nákladů na renovaci vrtáku 70
3.5.2	Renovace ventilátorového mlýnu 71
3.5.2.1	Technologický postup navařování 71
3.5.2.2	Kalkulace nákladů na renovaci ventilátorového 74
	mlýnu
4.	D I S K U S E V Ý S L E D K Ů 75
5.	Z Á V Ě R 79
5.1	Ekonomické zhodnocení renovace součástí navař. 81
6.	S E Z N A M L I T E R A T U R Y 83

Seznam použitých symbolů

- HB° - tvrdost podle Brinella
HRC - tvrdost podle Rockwella
n - počet měření
Rm - mez pevnosti v tahu / MPa /
S - směrodatná odchylka tvrdosti
v - variační koeficient
VÚZ - výzkumný ústav zvaračský
X - střední hodnota tvrdosti
Xi - naměřená tvrdost v daném místě vzorku
σ - tahová napětí / MPa /

1. Ú V O D

Ve zprávě o Hlavních směrech hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1986 až 1990 přednesené na XVII. sjezdu KSČ je hlavní pozornost zaměřena na zavádění ekonomiky intenzivního typu s využitím poznatků a realizace vědeckotechnického pokroku. Tato dlouhodobá strategie je potřebná proto, aby bylo možno změnit často technologicky zastaralý nebo nevyhovující způsob výroby. Přitom velký důraz je kladen na zvyšování technické a ekonomické úrovně při snižování spotřeby materiálu a energie i úspory lidské práce.

Ve strojírenské výrobě se inovace výrobních procesů a zavádění moderních, málo nákladných a efektivních technologií musí projevit v kvalitě, spolehlivosti, trvanlivosti a funkční účinnosti výrobků.

Využití technologie navařování při renovaci opotřebovaných součástí a nástrojů, je jednou z cest při plnění výše uvedených úkolů.

Nanášení materiálů s vysokou odolností proti opotřebení na poškozené plochy, nebo činné plochy nástrojů a součástí ve většině případů vyžaduje velmi malé množství kovu v porovnání s hmotností renovovaného dílu. Tato technologie umožňuje opětovné použití opotřebovaných součástí nebo vytvoření činné plochy se zvláštními vlastnostmi na materiálu nižší jakosti.

Dosažení optimálních vlastností navařené vrstvy kovu je podmíněno volbou vhodného přídavného materiálu a optimální technologie navařování.

Cílem této diplomové práce je ověření navařitelnosti vybraných ocelí (11 373, 11 600, 19 721) elektrickým obloukem (oba-

lenou elektrodou) a plamenem (práškem), provést návrh renova-
vace dvou strojních součástí (vrtáku pro vrtání děr do zdi
a ventilátorového mlýnu) a zhodnocení ekonomického přínosu
oprav součástí navařováním.

1-2

1-1002

8

2. T E O R E T I C K Á Č Á S T

2.1 CHARAKTERISTIKA A ROZDĚLENÍ ZPŮSOBŮ NAVAŘOVÁNÍ / 1 , 20 /.

11)

Pod pojmem n a v a ř o v á n í se rozumí nahrazení chybějícího kovu, nejčastěji na funkční ploše výrobku. Protože jeho množství v porovnání s hmotností součástky je velmi malé, tak se tímto způsobem získávají nejen finanční úspory, ale také úspory materiálu a energie, které by byly potřebné na výrobu nové součásti. Mimo to, je možné nahradit chybějící část materiálu kovem s výhodnějšími vlastnostmi.

Při navařování součástí je však třeba brát v úvahu to, že v materiálu se vytváří strukturální změny, které mohou nepříznivě ovlivňovat dynamické namáhání materiálu. Z tohoto důvodu se musí při volbě způsobu navařování vycházet nejen z chemického složení materiálu, ale také z účelu jeho použití. Při navařování je nutné znát podmínky ve kterých opotřebení materiálu nastává i vlastní stav materiálu, jeho tepelné zpracování, zpevnění atd. Podle těchto podmínek je možné stanovit přídatný materiál a technologický postup navařování, ale také podmínky přípravy základního materiálu pro navařování.

2-1

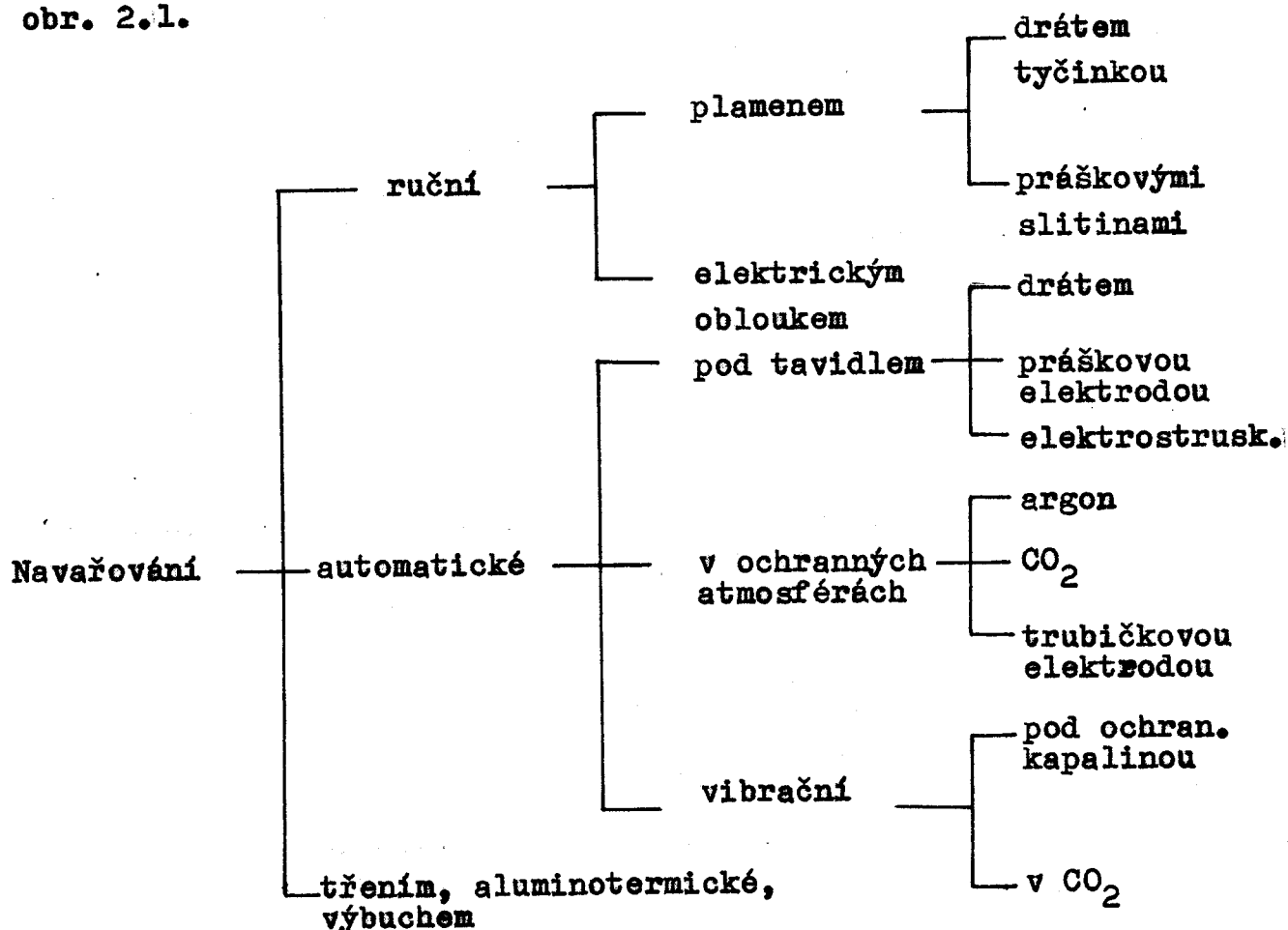
Z hlediska podmínek opotřebení je třeba určit i způsob namáhání materiálu, především jeho povrchové vrstvy a podle toho volit i vhodnost navařovací elektrody. Při valivém nebo kluzném opotřebení jak uvádí BLAŽČÍK / 1 / je důležité, aby návar měl mimo požadovanou tvrdost i dostatečnou houževnatost.

9

Výběr vhodných přídatných materiálů pro navařování elektrickým obloukem a plamenem při určitém způsobu opotřebení je možné určit podle katalogů výrobců.

Mimo vhodného výběru přídavného navařovacího materiálu je třeba také velkou pozornost věnovat vlastní přípravě ploch pro navařování. Tyto plochy nesmí být zoxidované, mastné ani znečištěné. Pokud se na návarových plochách vyskytují trhliny je třeba je odstranit. Ostré plochy je nutné zaoblit, aby nevznikla místa s nedostatečným natavením, popřípadě místa s velkým promícháním přídavného a základního materiálu.

Rozdělení jednotlivých způsobů navařování je uvedeno na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Schématické znázornění rozdělení jednotlivých způsobů navařování

2.2 RUČNÍ NAVAŘOVÁNÍ ELEKTRICKÝM OBLOUKEM / 1 /

Tento způsob navařování je vhodný pro široké plochy nepravidelně opotřebovaných povrchů. Dále se uplatňuje při navařování tvrdých slitin, zejména na těžké součásti u kterých není nutné dodržovat přesné rozměry a kde nemusí být zvláště hladký povrch.

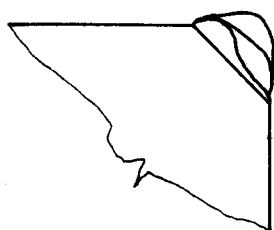
Základní metodou ručního navařování elektrickým obloukem je navařování obalenou elektrodou. Princip tohoto způsobu navařování spočívá v nanášení odtaveného kovu z elektrody na základní materiál, který je rovněž nataven. Z tohoto principu plyne, že návar je značně promíšen se základním materiálem. To používáme v případě, že chceme při použití speciálních návarových elektrod dosáhnout speciálních vlastností návaru. V jiném případě je tento způsob nevýhodný, neboť se návar promícháním se základním materiálem znehodnocuje. Teprve až třetí vrstva návaru není ovlivněna základním materiálem a má tak požadované vlastnosti.

Při navařování klademe housenky přikloněnou elektrodou těsně vedle sebe tak, aby mezi nimi nemohla vzniknout mezera, v níž by se usadila struska. Před nanášením druhé vrstvy dbáme, aby se struska, která ztuhla na první vrstvě, co nejpečlivěji odstranila. Proto návar důkladně oklepeme a potom očistíme ocelovým kartáčem.

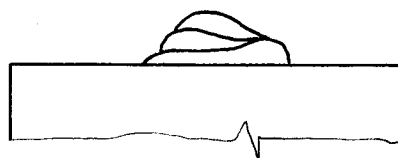
Při navařování je nutno součást umístit tak, aby se housenka kladla pokud možno vodorovně. Přitom se elektroda odklání o 10 až 30 stupňů od svislice. Navařovací elektrody vyžadují krátký oblouk. Co nejmenšího zředění návarového kovu dosahujeme jednak tím, že proudové zatížení návarových elektrod je

všeobecně nižší než u elektrod spojovacích a dále tím, že používáme stejnosměrného proudu s elektrodou připojenou na kladný (+) pól. Tím se dosahuje menšího stupně promíšení základního a návarového materiálu. Tím je také základní materiál méně tepelně ovlivněn. Aby nedošlo k vyššímu propalu elektrody a k celkovému zhoršení vlastností návaru, je nutné při tomto způsobu použít bazických elektrod s vyšší viskozitou svarového ko-
vu. Obal bazických elektrod je však hydroskopický (snadno pohlcuje vlhkost ze vzduchu). Proto je vhodné elektrody skladovat v suchém prostředí a před použitím ještě vysušit v peci při teplotě 120 až 300°C, po dobu 2 hodin. Vlhkost v obalu je příčinou vzniku plynových bublin a pórů v návaru.

Při navařování elektrickým obloukem lze klást housenku elektrodou na plochy uvedené na obr. 2.2.



a) na hranu



b) na činnou plochu

Obr. 2.2 Schéma způsobu kladení housenky při ručním navařování elektrickým obloukem

2.2.1 Volba a označení elektrod / 20 /

12

Navařování obalenou elektrodou je podobné konstrukčnímu svařování elektrickým obloukem. Proto lze k navařování použít elektrody konstrukční. Většinou však používáme speciálních návarových elektrod, které vytváří návary s požadovanými

mechanickými a chemickými vlastnostmi. Jakost a provedení těchto elektrod je předepsáno v ČSN 05 5160 " Elektrody na návary se zvláštními vlastnostmi, technické a dodací předpisy ".

Tato norma obsahuje různá složení návarového materiálu pro různá použití. Elektrody jsou většinou s bazickým obalem, který obsahuje dezoxidační a stabilizační přísady a větší množství legujících prvků.

Návarové elektrody se označují písmenem E s pětimístným číslem začínajícím číslicí 6, která vyjadřuje, že se jedná o elektrodu na návary vrstev se zvláštními vlastnostmi. Další dvojčíslí před tečkou vyjadřuje desetinu střední hodnoty tvrdosti návaru měřené podle Vickerse. Je-li druhá číslice z tohoto dvojčíslí sudá, tvrdost návarového kovu nelze tepelným zpracováním zvětšit. Je-li druhá číslice lichá, potom označená tvrdost je největší, jakou je možno tepelným zpracováním návaru dosáhnout. První doplňková číslice za označením elektrody udává stupeň legování a druhá použitelnost elektrody dle jakostní třídy. Druhou částí označení návarové elektrody je číslo normy jakosti.

Kromě této normy existuje ještě tovární značení. Návarové elektrody, které vyrábí ŽAS Vamberk, jsou označeny značkou E - B/E - elektrody pro ruční svařování elektrickým obloukem; B - obal bazický a trojčíslím, v němž první číslice vyjadřuje účel použití (pro navařování - 5) a další dvojčíslí udává pořadí.

2.2.2 Přehled vybraných elektrod

Výrobcem přídatných materiálů pro svařování je v ČSSR

ŽAS Vamberk, který také vyrábí návarové obalené elektrody pro použití ve všech odvětvích průmyslu. Přehled vybraných návarových elektrod je uveden v tabulce 2.1.

2.3 PRÁŠKOVÉ NAVAŘOVÁNÍ PLAMENEM / 1 /

Práškové navařování plamenem je metoda, při které se na povrch opotřebovaných strojních součástí navařují hořákem (plamenem nebo plazmovým obloukem) práškové kovy specifických vlastností. Tyto práškové kovy nazýváme přídavné práškové materiály.

Strojní součásti navařené těmito prášky mají vlastnosti, které odpovídají vlastnostem použitých druhů práškových přídavných materiálů. V praxi se tato metoda používá při renovaci, ale také i výrobě součástí u níž požadujeme zvláštní (zlepšené) mechanické i jiné vlastnosti.

Pracovní postup při práškovém navařování plamenem musí splňovat následující požadavky:

1. Navařované plochy musí být kovově čisté, zbavené mastnoty, barev a koroze. Na velmi hladkých plochách se velmi těžko zachycují částice práškového přídavného materiálu při nástřiku první vrstvy. Tyto plochy jsou pro navařování nevhodné. Vyhovující jsou plochy hrubě osoustružené nebo obroušené;
2. Pro oceli s obsahem uhlíku do 0,4 % se doporučuje předehřev renovovaných součástí na teplotu 300°C. Pro oceli s vyšším obsahem uhlíku nebo pro oceli nízkolegované se doporučuje předehřev na 400°C až 450°C. Pro oceli samokalitelné se doporučuje předehřev na 600 až 650°C.
3. Před vlastním navařováním je nutné součást předpráškovat tj. nanést (nastříkat) první tenkou (protioxidační) vrstvou

AT
Kval. (2-6)

Tabulka 2.1 Přehled vybraných návařových elektrod / 10 /.

Označení elektrody:	Chemické složení hmot. % :	Tvrdość HV po navař.:	Teplota přehř. °C	Použití:
E - B 501	0,4 C; 1,6 Mn; 1,2 Si	200 - 300 po TZ 570	150 pomalé ochlazov.	Pro navařování méně namáhaných funkčních ploch;
E - B 505	0,8 C; 1,2 Mn; 1,1 Si; 1,8 Cr	570 - 670	350	Pro navařování funkčních ploch namáhaných na opotřebení.
E - B 511	0,2 C; 0,6 Mn; 0,4 Si; 13,0 Cr	520	400	Pro návary odolávající opotřebení při namáhání rázem
E - B 512	0,3 C; 0,4 Mn; 0,3 Si; 16 Cr; 0,6 Ni; 1,2 Mo	480 - 620	150 - 350	Pro navař. funkč. ploch odol. opotřebení při souč. namáh. tahem nebo tlakem
E - B 524	0,4 C; 0,4 Mn; 0,5 Si; 3,2 Cr; 2,0 W; 0,4 V	530 - 630	450 - 550 prohřev 1 hod.	Pro navařování funkč. ploch odoláv. opotřeb. za tepla (zápustky, trny, atd.)
E - B 531	2,9 C; 0,8 Mn; 2,8 Si; 13,5 Cr; 1,5 Mo; 4,0 W; 1,1 V; 1,0 Cu; 0,1 Zr	800	450 - 550	Vhodná pro návary odolné abrazivnímu opotřeb; s případ. tlak. a rázovým namáháním
E - B 561	1,4 C; 0,3 Mn; 1,0 Si; 29,0 Cr; 4,3 W;	400 - 450	400 - 650	Pro navařování těsnících ploch armatur do teploty 550 stupňů Celsia.

práškového materiálu na celou navařovanou plochu bez natavení základního materiálu. Účelem této vrstvy je chránit materiál před oxidací. Roztavením této vrstvy prášku plamenem hořáku se získá navařená vrstva tlustá asi 0,05 až 0,1 mm. Na ni potom můžeme nanášet další vrstvy až do tloušťky několika mm. Vzdálenost hořáku od součásti je 50 až 55 mm. Vlastní navařování je možno provést jako jednovrstvé tehdy, když se předpráškováná vrstva roztaví bez dalšího přidávání prášku. Tímto způsobem se nanášejí vrstvy s tloušťkou několika desetin mm. Při tlustších vrstvách se natavuje předpráškováná vrstvička za současného přidávání dalšího prášku. Z technického hlediska se nedoporučuje nanášet vrstvy tlustší než 2 mm.

4. Nanesená vrstva prášku je správně natavená tehdy, když se její povrch začíná lesknout (potit).
5. Nastavení plamene je závislé na druhu prášku a udává ho výrobce prášku. Ve většině případů se používá neutrální plamen.

Po navaření je nutné, s ohledem na tvar a složitost součásti, snížit vnitřní pnutí dodatečným tepelným zpracováním, aby nevznikla velká pnutí v důsledku rozdílných hodnot tepelné roztažnosti a tím, aby nedošlo k destrukci návaru.

Pro účely navařování práškovými kovy byly v ČSSR vyvinuty dva druhy hořáků pod označením NPK 1 a NPK 2, které byly řešeny jako nástavce do rukojetí standardních svařovacích souprav. Na těchto hořácích byly provedeny určité úpravy a od roku 1980 jsou navařovací hořáky vyráběny s sudým typovým označením. Hlavní technické údaje o navařovacích hořácích jsou uvedeny v tabulce 2.2.

Tabulka 2.2 Hlavní technické údaje navařovacích hořáků / 4 /.

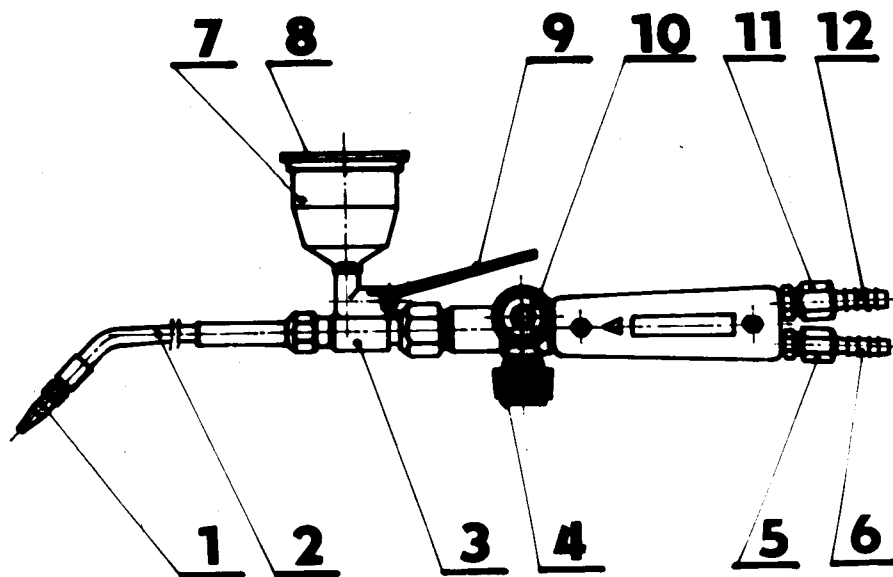
Typ hořáku:	NPK 1, NPK 1A		NPK 2		NPK 3	
	1	2	1	2	1	2
Číslo hubice:						
Přetlak kyslíku (O_2) /MPa/:	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20
Přetlak acetylenu (C_2H_2) /MPa/:	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30
Přetlak acetylenu (C_2H_2) /MPa/:	0,03	0,03	0,04	0,40	0,04	0,04
Spotřeba O_2 /l.h ⁻¹ /:	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Spotřeba C_2H_2 /l.h ⁻¹ /:	150	225	335	500	375	565
Spotř. C_2H_2 /l.h ⁻¹ /:	225	300	500	670	565	750
Hmotnost hořáku s rukojetí /kg/:	0,7	0,7	1,0	1,0	1,1	1,1

Konstrukce hořáků je uvedena na obr. 2.3, byla prováděna s cílem zajistit provozní bezpečnost a funkční spolehlivost jednotlivých částí. Celkové provedení hořáků NPK je ovlivněno i dalšími požadavky, jako např. snadnou ovladatelností, nízkou hmotností a malými rozměry hořáku, jednoduchostí konstrukce jak z hlediska čištění, údržby a oprav, ale také manipulace.

U hořáků NPK probíhá směšování ve dvoustupňovém směšovacím ústrojí, jak je patrné z obr. 2.4. V prvním stupni dochází k přísávání prášku z násypky a jeho míšení s kyslíkem; ve druhém stupni nastává směšování již utvořené směsi (kyslíku a prášku) s acetylenem. Tento způsob směšování umožňuje použití všech prášků tuzemské i zahraniční výroby.

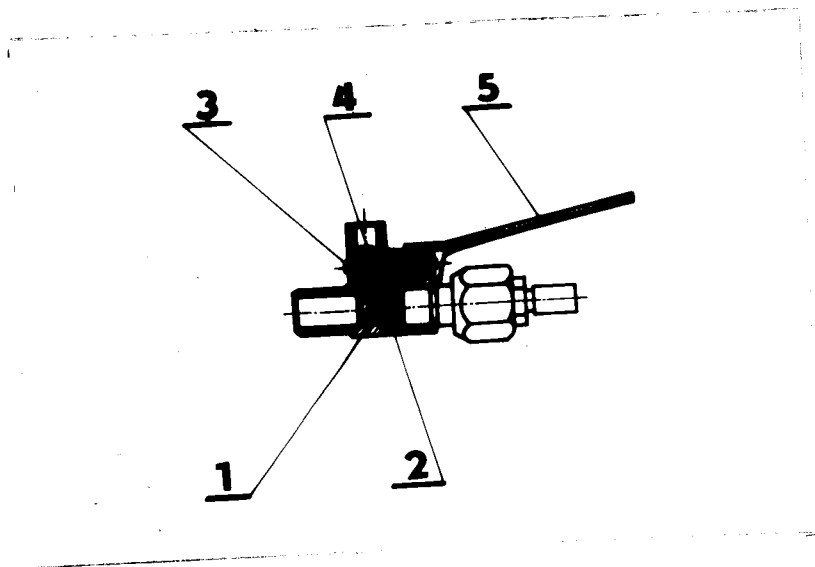
Spolehlivý průtok prášku v hořáku a jeho dávkování zajišťuje rychlouzávěr. Hořáky naší výroby mají velmi dobrou kvalitu

a jejich parametry se vyrovnají hořákům zahraničním.



- 1 - navařovací hubice
- 2 - navařovací nástavec
- 3 - těleso hořáku
- 4 - ventil kyslíku
- 5 - matice G 1/4"
- 6 - nástavec na hadici kyslíku
- 7 - násypka
- 8 - víčko násypky
- 9 - rychlouzávěr prášku
- 10 - ventil acetylénu
- 11 - matice G 3/8"
- 12 - nástavec na hadici acetylénu

Obr. 2.3 Schéma navařovacího hořáku NPK 3 s hlavními díly a ovládacími prvky



- 1 - těleso hořáku
- 2 - odměrná dýzy pro kyslík
- 3 - regulační šroub
- 4 - pryžová vložka
- 5 - ovládací element rychlouzávěru prášku

Obr. 2.4 Schéma podélného řezu tělesem navařovacího hořáku

2.3.1 Přídavné materiály pro práškové navařování plamenem /11/

V ČSSR byly vyvinuty přídavné práškové materiály ve VÚZ Bratislava, výrobcem je ZVL n.p. Dolný Kubín. Vyráběné prášky jsou na bázi niklu a jsou legovány bórem, křemíkem, uhlíkem, chromem, molybdenem, mědí, čímž je dána jejich charakteristika. Jednotlivé druhy prášků jsou charakterizovány následovně:

K 20 - prášková slitina na bázi Ni B Si. Je vhodná na nanášení ploch strojních součástí, jejichž povrch nevyžaduje velkou tvrdost. Po nanesení prášku se dá vrstva upravit soustružením. Prášek je vhodný na úpravu slévárenských

2-M

79

odliték ze šedé litiny.

- K 30 - prášková slitina na bázi Ni B Cr Si. Návar je odolný vůči oxidaci a korozi při vyšší teplotě. Je obrobitelný soustružením. Je vhodný na renovaci výrobních nástrojů, čepů, hřídelů, sklářských forem atd. Použitelný je i u odliték ze šedé litiny.
- K 40 - prášková slitina na bázi Ni B Cr Si. Prášek je vhodný pro navařování ploch strojních součástí vystavených abrazivnímu, koroznímu a tepelnému namáhání. Nanesené vrstvy je možno opracovat soustružením.
- K 50 - prášková slitina na bázi Ni B Cr Si. Patří ke skupině práškových přídavných materiálů s vyšší tvrdostí nanesené vrstvy, kterou lze opracovat broušením. Používá se na nanášení antikoročních návarů odolných vůči abrazi s nízkým koeficientem tření. Vyznačuje se dobrou smáčivostí, tekutostí. Má relativně nízkou teplotu tání. Používá se na renovaci, popřípadě i zlepšení vlastností základního materiálu.
- K 55 - prášková slitina na bázi Ni B Cr W Mo. Prášek je vhodný pro nanášení na ocelové součásti, kde se vyžaduje vysoká tvrdost při zvýšené teplotě a tam, kde je třeba nanést tvarově členité povrchy součástí, případně menší průměry rotačních ploch.
- K 60 - prášková slitina na bázi Ni B Si Mo W. Je to práškový přídavný materiál jehož použitím lze získat největší tvrdost návaru.

Pro orientaci je v tabulce 2.3 uvedeno chemické složení jednotlivých druhů přídavných práškových materiálů.

2-12

20

Tabulka 2.3 Přehled chemického složení a vlastností prášků

Orientační chem. složení hmot. %:	Druh prášku:					
	K 20	K 30	K 40	K 50	K 55	K 60
Ni	95	93	90	80	65	70
B + Si	5					
B + Si + Cr		7	10			
Cr + Si				20		
B + W + Mo					25	
Cr						15
B + Si + W + C						15
Tvrdoost návaru /HRC/:	17-25	30-40	40-50	50-55	55-60	60-65
Teplota tání prášku /°C/:	1070	1050	1070	1010	1030	1100
Hmotnost balení:	0,5; 1; 5 kg					
Dodávaná zrnitost:	pod 0,10 mm - minimálně 90 % zbytek do velikosti částic 0,125 mm					

Poznámka: teplota tání prášku je pouze orientační.

2-13

21

Navarování práškovými materiály na bázi Ni-Cr-B-Si vyžaduje použití neutrálního plamene. Nesprávně nastavený plamen může mít vliv na kvalitu návaru, hlavně na jeho celistvost a povrchový vzhled. Pro tvrdonávarový charakter práškových přídatných materiálů je třeba navarovat součásti, které byly tepelně zpracované kalením, popřípadě funkční plochy zpevněné cementováním. Přitom je třeba počítat s tím, že materiál bude tepelně ovlivněný a tak dojde k jeho strukturním změnám a tím ke změnám vlastností.

Ze zahraničních prášků se u nás nejvíce používají prášky Švýcarské firmy CASTOLIN:

10 002 Dur tec - na bázi Cr - Fe, tvrdost návaru (66 až 70)
HRC, výrobce doporučuje použít plamen s přebytkem acetylénu 3 : 1;

10 112 Tung tec- na bázi Cr - Ni - W, tvrdost návaru (57 až 64)
HRC, s použitím neutrálního plamene.

Tyto prášky jsou vhodné pro navařování menších a složitých součástí s vysokými požadavky na tvrdost a kvalitu povrchu.

2.4 POROVNÁNÍ OBOU TECHNOLOGIÍ NAVAŘOVÁNÍ

Použití způsobu navařování práškem nebo elektrickým obloukem vyplývá z výhod jednotlivých technologií.

Mezi výhody práškového navařování patří:

- a) možnost navařování tenkých vrstev od 0,1 mm;
- b) minimální přídavky na opracování;
- c) možnost navařování malých a středních, tvarově různě orientovaných ploch;
- d) velmi dobré difúzní spojení návaru se základním materiálem;
- e) velmi dobré mechanicko-fyzikální vlastnosti návaru (tvrdost, odolnost proti opotřebení a korozi);
- f) při navařování plamenem lze dosáhnout hladného povrchu návaru, bez trhlin a kráterů;
- g) jednoduchá technologie navařování.

Nevýhodou je vyšší cena prášku v porovnání s klasickými přídavnými materiály (dráty, tyčinky). Při tlustších návarech více než 2 mm se vyskytuje možnost vzniku trhlin vlivem rozdíl-

ných součinitelů tepelné roztažnosti návaru a základního materiálu.

Výhody navařování elektrickým obloukem jsou:

- a) možnost navařování silných vrstev;
- b) rychlost navařování je větší než při navařování plamenem;
- c) možnost renovace velkých strojních součástí;
- d) velmi dobré mechanicko-fyzikální vlastnosti;
- e) u některých typů elektrod je možnost rychlým ochlazením návar zakalit;
- f) jednoduchá technologie navařování

Nevýhodou při navařování elektrickým obloukem je promíšení základního materiálu s první vrstvou návaru, jež se tímto znehodnotí. Přívod tepla se soustřeďuje jen na jedno místo. To obvykle způsobuje, že součásti obsahující více než 0,3 % uhlíku a větší množství legujících prvků nebo součásti složitých tvarů popraskají již během navařování popřípadě při provozu.

Pro obě srovnatelné metody je důležité vhodné navržení a dodržení technologického postupu navařování.

2.5 OPOTŘEBENÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ A NÁSTROJŮ / 9 , 11 /

Životnost (trvanlivost) součástí a nástrojů je značně ovlivňována opotřebením funkčních ploch a hran. Opotřebením je různé podle prostředí, ve kterém součást nebo nástroj pracuje, a způsobu namáhání.

Opotřebením je nežádoucí změna povrchu, rozměrů různých těles způsobená buď vzájemným působením funkčních povrchů, nebo funkčního povrchu a média, které opotřebením vyvolává.

Projevuje se jako odstranění a nebo přemístění částic

materiálu z funkčního povrchu mechanickými účinky, popřípadě doprovázenými jinými vlivy (chemickými, elektro-chemickými).

V ČSN 01 5050 je definováno 6 základních druhů opotřebení:

1. Adhezivní (oddělování a přemísťování částic z míst, kde se stykem kovu s kovem porušily povrchové vrstvy);
2. Abrazivní (oddělování částic z funkčního povrchu účinkem tvrdého a drsného povrchu druhého tělesa a nebo abrazivních částic);
3. Erozivní (oddělování částic z funkčního povrchu částicemi nanesenými proudem vody, plynu a nebo poškození funkčního povrchu proudem kapaliny, páry a dalšího podobného média);
4. Kavitační (oddělování částic v oblastech vzniku kavitačních dutin v kapalině);
5. Únavové (oddělování částic v důsledku vyčerpání plastických vlastností materiálu únavou);
6. Vibrační (oddělování částic a poškození povrchu kmitavými tangenciálními posuvy při jejich zatížení).

2.6 VADY SVAŘOVANÝCH A NAVAŘOVANÝCH MATERIÁLŮ / 7 , 8 , 14/

Prvořadým požadavkem při navařování materiálu je celistvost návaru i základního materiálu. Vzniklé vady ovlivňují užité vlastnosti renovovaných předmětů.

Z tohoto důvodu je této problematice věnována velká pozornost i v této práci.

Základní klasifikace vad svarových spojů je uvedena v ČSN 05 0005.

Při svařování, tak i navařování se mohou ve svarových

(návarových) spojích vyskytovat tyto vady:

1. Plynové dutiny;
2. Vměstky;
3. Trhliny.

2.6.1 Plynové dutiny

Podle tvaru lze plynové dutiny rozdělit na:

- a) bubliny - to jsou dutiny kulového tvaru vyplněné plynem a nebo více plyny, které po ztuhnutí zůstaly ve svarovém kovu (popřípadě vystoupily na povrch svaru);
- b) póry - to jsou dutiny protáhlého tvaru vyplněné plynem, které po ztuhnutí zůstaly ve svarovém kovu (nebo vystoupily na povrch svaru) a jejichž délka je větší než 1,5 násobek šířky.

Vznik plynových dutin je především spojen se změnou rozpustnosti plynů se snižující se teplotou v tekuté fázi a rozdílou rozpustností plynů v tekuté a tuhé fázi.

Ve svarovém kovu spoje mohou také probíhat reakce, během kterých vznikají plynné produkty (např. reakce uhlíku s oxidem železnatým).

Pokud ve svarové lázni nebo na hranici ztavení vznikne plynová dutina, je důležité aby pronikla ze svarové lázně do strusky nebo do okolní atmosféry.

Často se ve svarových spojích vyskytují protáhlé plynové dutiny (póry), uložené v mezidendritických prostorech, které svým růstem zamezily unikání plynů.

Hlavními složkami plynů je téměř vždy vodík a dusík. Dále obsahují plynové dutiny oxid uhelnatý, metan, čpavek a další plyny. Vznik těchto dutin závisí hlavně na chemickém složení základního a přídavného materiálu, na prostředí obklopující návarovou lázeň (atmosféra, struska), na podmínkách a způsobu prováděného procesu.

2.6.2 Vměstky

Vměstky jsou obvykle nežádoucí nekovové částice, které lze rozdělit na:

- a) Exogenní - tj. vměstky vniklé do svarového kovu z okolí. Jsou to v podstatě drobné částičky strusky, které nestačily vyplout za svarové lázně a zůstaly uzavřeny mezi rostoucími dendrity.
- b) Endogenní - tj. vměstky, které vznikají reakcí prvků přítomných v tavenině. Nejčastěji jde o produkty dezoxidace svarového kovu spoje nebo přetavené vměstky základního materiálu s vyšším obsahem nečistot. Vměstky jsou především různé oxidy, komplexní oxidy (nejvíce silikáty, sulfidy) mohou to však být i nitridy, fosfidy a další sloučeniny.

Pro odstranění vměstků z tekutého kovu mají velký význam jejich fyzikální vlastnosti (teplota tání, hustota, schopnost koagulace, která ovlivňuje velikost vměstků a usnadňuje jejich vyplouvání ze svarové lázně).

Vměstky mohou vzniknout v různých fázích tvorby svarového (návarového) kovu, jako následek dezoxidační přísady v obalu

elektrody, tavidla atd.

Z hlediska tvaru jsou nejméně nebezpečné globulární vměstky. Velmi nepříznivé jsou ostrohranné vměstky, které působí jako koncentrátory napětí.

2.6.3 Trhliny

Jsou to nejvýznamější vady celistvosti svarových spojů. Lze je charakterizovat různým způsobem:

- a) podle místa vzniku (ve svarovém kovu spoje, v teplem ovlivněné oblasti, na hranici ztavení) a orientace vzhledem k ose svaru (podélné, příčné);
- b) podle teploty při níž trhлина vznikla (za tepla, za studena);
- c) podle doby, kdy trhлина vznikla (v průběhu svařování, těsně po svařování, po delším čase např. při žihání nebo až při provozu);
- d) podle velikosti (makroskopické, mikroskopické);
- e) podle příčiny vzniku (mechanické namáhání, koroziční účinky, nežádoucí změny struktury atd.).

2.6.3.1 Trhliny vznikající za tepla

Trhliny vzniklé za tepla se mohou vyskytovat ve svarovém kovu spoje i v tepelně ovlivněné oblasti svarového spoje. Pokles teploty svarového kovu spoje a teplem ovlivněné oblasti má vždy za následek vznik nebo vzrůst tahových napětí, která vyvolávají určité deformace. Pokud je deformační schopnost materiálu malá nebo vyčerpaná, mohou vzniknout trhliny.

Trhliny za tepla mohou vzniknout:

- A) ve svarovém kovu spoje;
- B) v teplem ovlivněné oblasti.

Trhliny za tepla, které vznikají ve svarovém kovu spoje je možné z hlediska příčin jejich vzniku rozdělit:

- a) krystalizační;
- b) segregáční (likvační).

a) Krystalizační trhliny - vyznačují se tím, že jsou poměrně dlouhé, málo rozvětvené a více rozevřené. Ve velké míře závisí na úhlu, pod kterým se setkávají rostoucí krystaly a na tvaru svarové lázně. Vznik krystalizačních trhlín nejvýhodněji vysvětluje PROCHOROVOVA teorie. Podle této teorie vznikají krystalizační trhliny v teplotním intervalu křehkosti vyčerpáním zásob plasticity svarového kovu spoje při jeho deformaci způsobené nerovnoměrným ochlazováním. Vznik těchto trhlín je závislý:

- 1) na plasticitě svarového kovu spoje v tepelném intervalu křehkosti;
- 2) na velikosti teplotního intervalu křehkosti;
- 3) na rychlosti narůstání pružně-plastických deformací v teplotním intervalu křehkosti (tj. teplotním gradientu deformací).

Dosáhne-li rychlost deformace v teplotním intervalu křehkosti určité kritické hodnoty, vznikají ve svarovém kovu spoje trhliny.

Plasticita svarového kovu spoje v teplotním intervalu křehkosti je určena chemickým složením, poměrem objemů

tuhé a tekuté fáze, rozměry primárních krystalů, rozložením a tvarem kapalně fáze, chemickou heterogenitou a charakterem teplotního cyklu.

Velikost teplotního intervalu křehkosti je určena chemickým složením svarového kovu spoje, obsahem příměsí a jejich rozložením po hranicích primárních krystalů, chemickou heterogenitou primární struktury, rozměry a tvarem primárních krystalů i rychlostí ochlazování a tuhnutí svarového kovu spoje.

Velikost teplotního gradientu tahové deformace je určena především chemickým složením svarového kovu spoje, svařovacím režimem, typem svarového spoje, množstvím přivedeného tepla i jeho rozložením v materiálu a velikostí gradientu vnější přídavné deformace.

- 2-21
- b) Segregační (likvační) trhliny - mohou ve svarovém kovu spoje vzniknout i po jeho úplném ztuhnutí, tj. pod teplotou skutečného solidu. Proces mezikrystalického rozrušování svarového kovu spoje usnadňuje přítomnost příměsí na hranicích zrn, které se na hranice zrn dostaly odměšováním (segregací). Přítomnost příměsí oslabuje soudržnost sousedních zrn. Trhliny tohoto typu se vyskytují převážně u austenitických ocelí.

Trhliny za tepla, které vznikají v ovlivněné oblasti lze rozdělit též podle jejich vzniku do tří skupin:

- a) segregační (likvační);trhliny;
- b) trhliny z poklesu tažnosti;
- c) trhliny vzniklé jinými mechanismy.

a) Segregační (likvační) trhliny - vyskytují se hlavně při svařování konstrukčních ocelí. Tyto ocele, vyráběné válcováním obsahují vměstky a jiné nečistoty rozložené v řádcích ve směru válcování.

Část nečistot (jejichž teplota tání je nižší než teplota tání materiálu) se v teplem ovlivněné oblasti rozpouští a film taveniny migruje do oblasti hranic primárních zrn. V oblasti těchto teplot zároveň nastává i růst primárních zrn. Tenké filmy taveniny snižují kohezní pevnost hranice zrn. Tyto hranice se účinkem tahových napětí rozevírají a vzniká síť mikrotrhlin. U mikrolegovaných a nízkolegovaných ocelí se uvedeného procesu zúčastňují i mikrolegující prvky (titan, niob). Odměšování na hranicích zrn probíhá při teplotách 1300 až 1350°C.

2-22
2

b) Trhliny způsobené poklesem tažnosti - vyskytují se při svařování chromniklových austenitických ocelí. Hodnoty tažnosti základního materiálu se při ohřevu začnou snižovat až při teplotách blízcích se teplotě solidu. Po ohřátí na takto vysoké teploty jsou hodnoty tažnosti při ochlazování nižší než při ohřevu. Po přechodném růstu tažnosti při ochlazování nastává v oblasti teplot 1050 až 950°C pokles tažnosti. Snížená plasticita materiálu zamezuje vyrovnání vnitřního napětí plastickou deformací a po překročení meze pevnosti se vytváří trhliny.

2.6.3.2 Trhliny vznikající za studena

Vyskytují se nejčastěji v teplem ovlivněné oblasti svaro-
vého spoje, ale také i ve svarovém kovu spoje. Převážně se vys-
kytují u ocelí s vyšší pevností s martenzitickou nebo bainitic-
kou strukturou. Trhliny za studena vznikají po určité době po
skončení svařování, rostou ještě poměrně dlouhou dobu, a proto
se označují jako "zbržděné".

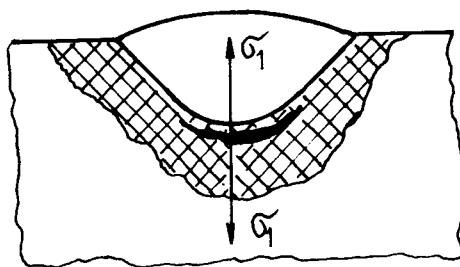
Jejich vznik je charakterizován působením difúzního vodíku,
při teplotě pod 300°C, existencí inkubační doby a přítomností
i reletivně nízkého napěťového stavu.

Trhliny vznikající za studena lze rozdělit podle jejich
vzniku na:

- a) podhousenkové;
- b) příčné;
- c) vrubové;
- d) tavné.

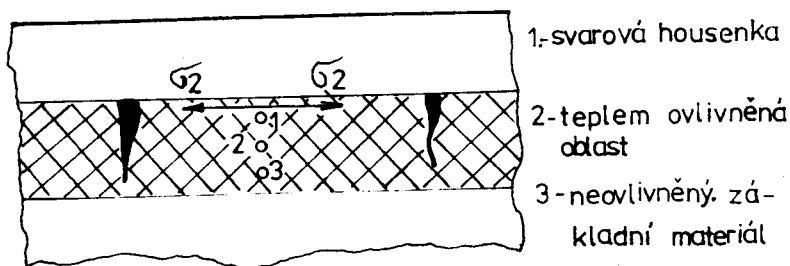
a) Podhousenkové trhliny - vznikají pod hranicí ztavení v ob-
lasti přehřátého základního materiálu, kde byla největší
teplota austenitizace a tím i velikost zrn austenitu před
jeho ochlazením a maximální obsah přítomného vodíku. Trhliny
vznikají za působení tahového napětí σ_1 . V době, kdy začne
probíhat martenzitická přeměna v kritické oblasti, je sou-
sední oblast již transformovaná a to zvyšuje tuhost materiálu.
Obsah vodíku přispívá ke zvýšení hodnoty napětí σ_1 , protože
vodík snižuje tažnost a houževnatost. Podhousenkové trhliny
se objevují pouze při svařování feritickými elektrodami,
jejichž svarový kov má určitý obsah vodíku. Schématické

znázorněná vzniku podhousenkové trhliny je patrné z obr. 2.5.



Obr. 2.5 Schéma vzniku podhousenkové trhliny

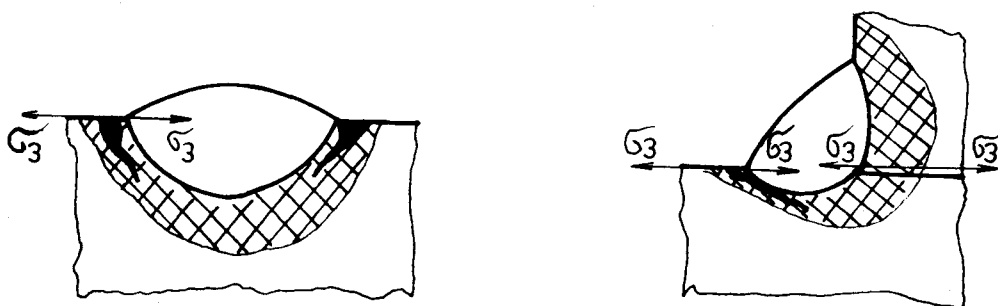
b) Příčné trhliny - vznikají pod účinkem složky smršťovacích napětí a probíhají kolmo na izotermy transformační oblasti svařovaného základního materiálu. Jejich iniciace je v oblasti přehřátého martenzitu a mohou se prodloužit do svařového kovu spoje i do svařování neovlivněného základního materiálu. Vznikají i bez přítomnosti vodíku ve svařovém kovu spoje. Nejvhodnější podmínky pro vznik těchto trhlin jsou v blízkosti hranice ztavení. Směrem do základního materiálu náchylnost k výskytu trhlin klesá. Schéma vzniku příčné trhliny je uvedeno na obr. 2.6.



Obr. 2.6 Schéma vzniku příčné trhliny

- c) Vrubové trhliny - jsou nejtypičtějším druhem trhlin za studena. Objevují se bez přítomnosti vodíku a inkubační doba jejich vzniku je krátká. Vznikají v oblasti víceosých tahových napětí a šíří se převážně v přehřátém martenzitu.

Vrubový účinek v místě vzniku podporuje přechod z houževnatého do křehkého lomu. Schéma vrubové trhliny je uvedeno na obr. 2.7.



Obr. 2.7 Schéma vrubové trhliny a místo jejího vzniku

- d) Tavné trhliny - vznikají obdobným mechanismem jako trhliny podhousenkové. Vyskytují se pouze při svařování austenitickými elektrodami nebo jinými vysokolegovanými elektrodami při navařování těsně nad hranicí ztavení. V této oblasti dochází ke zředění svarového kovu a vytváří se pásmo s kalíci schopností.

Závěrem této kapitoly lze konstatovat, že mezi hlavní faktory, které se podílejí na vzniku trhlin za studena patří:

- přítomnost tahového napětí ve směru kolmém na vznik trhlin;
- existence nepříznivé struktury (martenzit);
- přítomnost vodíku schopného difúze.

2.6.3.3 Žihací trhliny

Vznikají při tepelném zpracování svarků v oblasti teplot pod A_1 . Trhliny tohoto typu byly zjištěny u nízkoalloyovaných a vysokopevnostních ocelí na bázi Cr - Ni - Mo - B a u ocelí žárupevných Cr - Mo - V, Cr - Nb, ale také u austenitických ocelí typu Cr - Ni, Ni.

Vznikají především při svařování materiálu větší tloušťky v teplem ovlivněné oblasti. V podstatě mohou žihací trhliny vzniknout:

- a) v rozmezí teplot do 300°C při ohřevu na žihací teplotu;
- b) v teplotní oblasti žihacích teplot při žihání ka snížení vnitřního pnutí (600 až 700°C).

Trhliny v nízkoteplotní oblasti vznikají při nepřiměřené rychlosti ohřevu. Teplotní napětí vznikající při rychlém ohřevu superponují se zbytkovými vnitřními napětími, která vznikají při rozpadu nerovnovážných struktur. Iniciace trhlín vzniká v místech částečně poškozených v procesu svařování.

Žihací trhliny v teplotní oblasti žihání vznikají v přehřáté zóně teplem ovlivněné oblasti, která má hrubozrnnou strukturu. Zrna se během ohřevu na teplotu žihání a v prvním stádiu výdrže na teplotě žihání zpevňují precipitačními procesy. Dojde-li na hranicích zrn k vyčerpání creepové tažnosti, vznikají mezikrystalické trhliny a nakonec trhliny.

Vzniku žihacích trhlín lze zabránit použitím elektrod s vyšší plasticitou svarového kovu, polštářováním, předehřevem při svařování, změnou tepelného zpracování svarků atd.

2.6.3.4 Lamelární trhliny

Lamelární trhliny se vyskytují prakticky výrazně v případech, kdy teplem ovlivněná oblast je při svařování namáhána ve směru tloušťky materiálu (hlavně u tlustších plechů z ocelí s vyššími mechanickými vlastnostmi). Vyskytují se většinou na konci teplem ovlivněné oblasti nebo i v základním materiálu. Mají charakteristický kaskádovitý (stupňovitý) tvar.

Lamelární trhliny se mohou v oblasti svarových spojů iniciovat dvěma způsoby:

- a) exogenně - např. z defektu typu mikrotrhliny vzniklé za tepla;
- b) endogenně - pokud trhlina vzniká následkem vysokého namáhání ve směru tloušťky.

Na vznik lamelárních trhlin působí tyto hlavní faktory:

- 1) vlastnosti oceli ve směru tloušťky; anizotropie materiálu;
- 2) technologické podmínky a parametry svařování;
- 3) konstrukce svařovaného uzlu.

Vznik lamelárních trhlin úzce souvisí s výskytem nekovových vměstků v oceli. Velikost, tvar a rozložení vměstků závisí na procesu dezoxidace oceli a na způsobu válcování. Deformovatelné vměstky (nejčastěji siričkové) se v procesu válcování zplošťují a výrazně protahují. Tyto vměstky způsobují diskontinuitu kovové hmoty a okraje vměstků působí jako ostré vruby při namáhání ve směru tloušťky materiálu.

Pro vznik lamelární poruchy materiálu jsou rozhodující tyto vlivy:

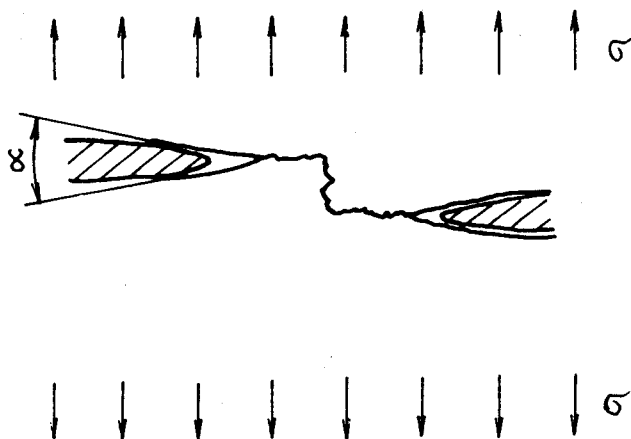
- A) tahová napětí působící ve směru tloušťky materiálu;
- B) existence plošných nečistot, které působí jako vruby s kořenem orientovaným ve směru šíření trhliny;

C) vrubová celistvost a plastické vlastnosti kovové matrice.

Iniciátorem lamelární poruchy je buď trhlina nebo ostré hrany rozválcovaných plošných nečistot (většinou sulfidického typu). Iniciovaná trhlina se může lamelárně šířit:

1. Pokud je ve vývalku dostatečné množství velkých plošných defektů, které se svými průměty částečně překrývají, nebo jsou dostatečně blízko sebe; začne spontánní rozevírání dutin v místech, kde plošné defekty porušují celistvost kovové hmoty.
2. Má-li kovová hmota vysokou vrubovou citlivost a malou plasticitou schopnost " neobtéká " vznikající dutinu a porucha se šíří při malém úhlu rozevření bez makroskopické deformace.

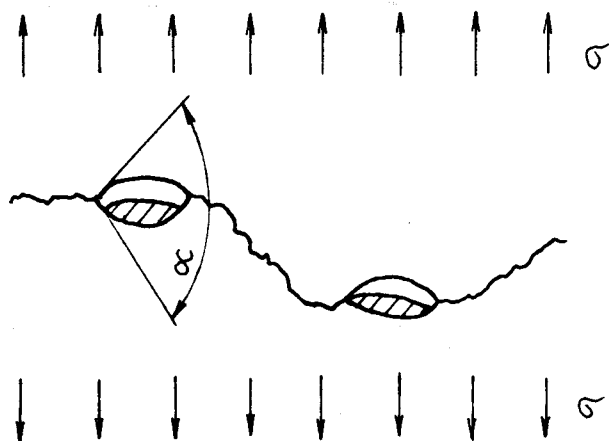
Probíhá-li tento proces ve více paralelních rovinách, dojde ke kaskádovitému propojení nálomů přestříhnutím můstků mezi jednotlivými poruchami a vznikne lamelární trhlina, což je patrné z obr. 2.8.



Obr. 2.8 Schématické znázornění šíření lamelární trhliny

Pokud má kovová hmota malou vrubovou citlivost a dostateč-

nou plastickou schopnost, může se energie od působícího napětí absorbovat plastickou deformací kovové hmoty a dojde ke vzniku křehkého lomu. Okolo každého defektu se vytváří plasticky deformovaný prstenec a v něm tzv. kalíšek. Kovová hmota se mezi jednotlivými vadami postupně deformuje (obtéká vzniklou dutinu). Při dostatečně velkém napětí dochází k plastickému lomu (porušení dutinovým mechanismem). Takový materiál lze charakterizovat jako odolný proti vzniku trhlin. Schéma šíření plastické trhliny je uvedeno na obr. 2.9.



Obr. 2.9 Schématické znázornění šíření plastické trhliny

Pro snížení sklonu k tvorbě lamelárních trhlin existuje řada technologických i konstrukčních možností:

- a) volba jednovrstvých nebo málovrstvých svarů;
- b) volba přídavných materiálů, které poskytují vysoce plastický svarový kov;
- c) snížení napětí předehřevem nebo dohřevem;

d) zmenšení tuhosti svařovaného uzlu.

Nejúčinnějším způsobem je však volba základního materiálu s vyhovujícími plastickými vlastnostmi ve směru jeho tloušťky.

Závěrem je třeba k této části diplomové práce konstatovat, že všechny uvedené poznatky byly uplatněny při provádění a vyhodnocování všech experimentů prováděných v rámci této práce.

2-30

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části se diplomová práce zabývá praktickým navařováním vybraných konstrukčních uhlíkových ocelí a ocelí nástrojové, elektrickým obloukem obalenou elektrodou a plamenem práškovými materiály. U takto renovovaných materiálů byl proveden metalografický rozbor a na základě získaných výsledků bylo použito navařování při opravě nástroje a to vrtáku pro vrtání otvoru do zdi a součásti práškového kotle ventilátorového mlýnu.

Uvedené experimenty byly prováděny v podmínkách katedry tváření a plastů Vysoké školy strojní a textilní v Liberci.

3.1 CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH ZÁKLADNÍCH MATERIÁLŮ URČENÝCH PRO NAVAŘOVÁNÍ

Pro účely navařování elektrickým obloukem a plamenem byly použity tyto ocele:

11 373 - konstrukční uhlíková ocel obvyklých jakostí; s chemickým složením max. 0,20 % C; max. 0,050 % P; max. 0,05 % S; $R_m = 360$ až 470 MPa, se zaručenou svařitelností podle ČSN 05 1310. Lze provádět podle ČSN 41 1373 ruční svařování plamenem, svařování pod tavidlem, ruční obloukové svařování a svařování v ochranné atmosféře. Tato ocel se nejvíce používá pro výrobu součástí namáhaných staticky, popřípadě i mírně dynamicky tj. na čepy, hřídele, menší ozubená kola.

11 600 - konstrukční uhlíková ocel obvyklé jakosti s max. obsahem 0,5 % C, max. 0,055 % P, max. 0,050 % S. Rm = 588 až 706 MPa, s obtížnou svařitelností podle ČSN 05 1310. Normalizační žihání se provádí při teplotě 840 až 870°C; kalení z teploty 790 až 830°C do vody nebo z teploty 800 až 840°C do oleje. Popouštěcí teplota je 670 až 700°C s ochlazováním na vzduchu. Ocel je určena pro staticky i dynamicky namáhané součásti, např. hřídele, klíny, čepy, pastorky, šneky atd. Po zušlechtní se dosahuje tvrdost této oceli až 800 HV, podle velikosti součásti a způsobu kalení.

19 721 - vysokolegovaná nástrojová ocel na bázi W - Cr - V, s chemickým složením 0,25 až 0,35 % C; 0,30 až 0,50 % Mn; 0,15 až 0,45 % Si, 0,15 až 0,30 % V ; 2,1 až 2,6 % Cr; 8,5 až 10 % W; max. 0,030 % P; max. 0,030 % S. HB = 240 ve stavu žíhaném na měkko. HRC je min. 47 po kalení do oleje. Žihání na měkko se provádí při teplotě 760 až 800°C s výdrží nejčastěji 4 hodiny, podle velikosti součásti a pak následuje pomalé ochlazování v peci. Žihání na odstranění vnitřního pnutí se provádí při teplotě 600 až 650°C s výdrží na teplotě až 2 hodiny, pak následuje pomalé ochlazování v peci. Kalení lze provádět do oleje z teploty 1100° až 1150°C nebo na klidném vzduchu, popřípadě v lázni o teplotě 450 až 550°C, kdy teplota kalení je 1120 až 1170°C. Používá se při kalení členitých nástrojů za účelem snížení deformace. Popouštění se provádí při teplotě 560 až 650°C, ochlazuje se na vzduchu, stupeň popou-

štění se řídí potřebnou tvrdostí a houževnatostí materiálu. Tvrdost HRC pro určité teploty popouštění /°C/ je následující:

<u>Teplota:</u>	<u>400</u>	<u>500</u>	<u>550</u>	<u>600</u>	<u>650</u>
Tvrdost:	48	49	51	50	42

Teplota přeměny A_{c1} je 810 až 900°C; $M_s = 380^\circ\text{C}$.
Ocel se používá pro výrobu nástrojů pracujících za tepla tj. malé lisovací zápustky, zápustkové vložky, malé průtlačnice, trny, lisovací kotouče, formy pro tlakové lití slitin mědi, prostřihovadla, malé ostřihovací matrice atd.

3.2 POPIS POUŽITÝCH PŘÍDAVNÝCH MATERIÁLŮ

Pro navařování vybraných vzorků ocelí byly použity tyto přídatné materiály.

3.2.1 Tvrdonávarová elektroda VÚZ - R4

Směrné chemické složení svarového kovu je následující:
0,8 až 1,1 % C; max 0,8 % Mn, max. 0,6 % Si; 4 až 5,3 % Cr;
15 až 17 % W; 1 až 1,8 % Mo; 4 až 5,5 % Co.

Elektroda je s bazickým obalem, úsporně legovaná Co, určena pro navařování vysokovýkonných obráběcích nástrojů.

Tepelné zpracování návaru se provádí:

- žihání na měkko - při teplotě 820 až 840°C po dobu 4 až 8 hodin v zábalu chránícím před oduhlíčením (dřevěné uhlí, vypálený koks, atd.), pomalé chladnutí v peci. Maximální tvrdost návaru je 370 HV.

- b) termální kalení - stupňovitý ohřev na teplotu 600°C a pak na 1270 až 1290°C. Ochlazování se provádí v lázni o teplotě 500 až 550°C nebo na vzduchu.
- c) popouštění - při teplotě 550 až 560°C až 3 krát po dobu 1 hodiny.

Tvrдость materiálu po uvedeném tepelném zpracování je závislá na jeho velikosti a způsobu kalení; pohybuje se v rozmezí hodnot 800 až 900 HV.

Tato elektroda se používá pro návary nástrojů určených pro **třískové** obrábění těžko obrobitelných materiálů, např. středně a vysokolegovaných odlitků a na navařování nástrojů pro velké výkony a tam, kde se požaduje velká trvanlivost ostří.

Elektrodu je možné použít též na opravu poškozených nástrojů z rychlořezné oceli 19 854 (maximum speciál 55), případně 19 824 a 19 826.

Při navařování na nástrojovou ocel nebo při opravě nástrojů je třeba volit předehřev podle základního materiálu nástroje, minimálně však 450°C. Po navařování musí následovat pomalé ochlazování v peci vyhřáté na teplotu předehřevu, nebo v tepelně-izolačním zábalu.

3.2.2 Tvrdonávarová elektroda VÚZ - R5

Směrné chemické složení návarového kovu je následující:
0,9 až 1,2 % C; max. 0,8 % Mn; max. 0,6 % Si; 4 až 5,3 % Cr;
6,5 až 8,5 % W; 4,5 až 6,0 % Mo; 2,0 až 2,6 % V; 11,0 až 13,0 % Co. Elektroda je úsporně legovaná Co, s bazickým obalem, obdobného užití jako elektroda VÚZ - R4.

42 / 4 - S

Tepelné zpracování návaru se provádí:

- a) žíhání na měkko - při teplotě 830 až 850°C po dobu 4 až 8 hodin v zábalu chránící návar před od-uhličením, pak následuje pomalé ochlazování v peci. Maximální tvrdost návaru je 400 HV.
- b) termální kalení - stupňovitý ohřev na teplotu 600°C, 900°C a 1280 až 1290°C; ochlazování se provádí v lázni 500 až 550°C nebo na vzduchu.
- c) popouštění - je při teplotě 560 až 580°C 2 až 3 krát.

Tvrdost po tepelném zpracování se pohybuje od 850 do 930 HV.

Elektroda VÚZ - R5 je vhodná pro navařování nástrojů na obrábění těžko obrobitelných materiálů, např. odlitků a vysoko-
legovaných ocelí.

Při renovaci nástrojů navařováním je třeba volit přehřev podle velikosti a tvaru nástroje v rozmezí teplot 400 až 600°C. Minimální teplotu přehřevu je třeba udržovat během celého navařování. Po navařování musí nástroj pomalu chladnout v peci vyhřáté na teplotu přehřevu.

3.2.3 Použité práškové materiály při navařování plamenem / 11 /

Při navařování plamenem byly použité práškové materiály (prášky) VÚZ: K 20, K 30, K 55, K 60, jejichž popis je uveden v kapitole 2.3.1.

Dále byl použit prášek 10 224 řy. CASTOLIN (Švýcarsko) na bázi Ni o tvrdosti po navařování 180 až 215 HB neutrálním plamenem.

Tento prášek je odolný vysokým teplotám a korozi, neodolá-

vá však adhezi. Je vhodný pro navařování menších, tvarově složitých součástí jako jsou ozubená kola, hřídele atd.

3.3 PŘÍPRAVA A NAVAŘOVÁNÍ VYBRANÝCH VZORKŮ OCELI

3.3.1 Příprava navařovaných ploch materiálu

Před vlastním navařováním byl základní materiál očištěn na kotoučové brusce drátěným kartáčem a tak připraven k navařování. Návar byl proveden buď na plochu nebo na hranu základního materiálu. Tato hrana měla příčný průřez $4 \times 45^\circ$ a byla zbroušena na brusce B 400.

3.3.2 Návary na oceli 11 373

Na ocel 11 373 v dodaném, nezpracovaném stavu byly provedeny návary pomocí prášků: VÚZ K 20, K 30, K 60 a 10 224 CASTOLIN na plochu základního materiálu. Tento materiál byl předehřátý v elektrické peci HDG 4/3 na teplotu 350°C po dobu 20 minut. Návary byly provedeny v podobě nastříknutí jedné vrstvy prášku pomocí hořáku NPK 2. Po každém nástřiku jednotlivými druhy prášků byl prostor násypky hořáku důkladně vyčištěn, aby nedošlo k ovlivnění kvality jednotlivých prášků.

Po navaření byly jednotlivé vzorky ponechány k volnému chlazení na vzduchu na šamotové cihle.

3.3.3 Návary na oceli 11 600

Na ocel 11 600, tepelně nezpracovanou byl proveden návar na plochu materiálu i na hranu elektrodou VÚZ R4 o průměru 2,5 mm. Materiál byl předehřát na teplotu 500°C po dobu 30

minut. Návar byl proveden třemi housenkami. Ke svařování by použit stejnosměrný proud $I = 80 \text{ A}$, napětí $U = 30 \text{ V}$. Elektroda byla připojena na (+) pól a základní materiál na (-) pól svařovacího zdroje.

Po navaření byl vzorek ponechán na klidném vzduchu, aby mohl volně vyhladnout.

Dále bylo navařování prováděno na oceli 11 600 zušlechťené na teplotu 500°C . Tvrdost tohoto materiálu byla zjištěna pomocí metody Brinella a dosahovala hodnot 243 až 250 HB, což odpovídá pevnosti v tahu 800 až 850 MPa.

Před navařováním byl základní materiál předehřátý v elektrické peci na teplotu 500°C po dobu 1 hodiny. Návar byl proveden elektrodou VÚZ R4 na plochu i na hranu základního materiálu třemi housenkami. Parametry svařování byly použity jako v předchozím případě ($I = 80 \text{ A}$, $U = 30 \text{ V}$ atd.).

Po navaření vzorek chladnul na klidném vzduchu.

3.3.4 Návary na oceli 19 721

Na ocel 19 721, kalenou a popouštěnou na teplotu 500°C byly provedeny tyto návary:

a) Elektrodou VÚZ R4 o průměru 2,5 mm, kdy byl proveden návar na plochu i na hranu základního materiálu. Materiál byl předehřátý v elektrické peci na teplotu 500°C po dobu 30 minut. Návar byl opět proveden třemi housenkami. Opět byly použity stejné parametry svařování jako v minulých případech.

Po navaření byl vzorek ponechán v peci vyhřáté na teplotu předehřevu po dobu po dobu 30 minut a pak chladnul na

klidném vzduchu.

- b) Elektrodoou VÚZ R5 o průměru 3,5 mm byl proveden návar stejným způsobem jako elektrodoou VÚZ R4. Předehřev základního materiálu probíhal také shodným způsobem. Při navařování byly použity tyto parametry: stejnosměrný proud $I = 90 \text{ A}$, napětí $U = 30 \text{ V}$, elektroda byla připojena na (+) pól elektrického zdroje.
- c) Práškem VÚZ K 55 za použití hořáku NPK 2. Navařování bylo prováděno na plochu základního materiálu, který byl předehřátý na teplotu 550°C po dobu 30 minut v peci. Po navařování materiál chladnul na klidném vzduchu.

3.4 HODNOCENÍ NÁVAROVÝCH VZORKŮ VYBRANÝCH OCELÍ

Vhodnost jednotlivých způsobů navařování na vybraných ocelí byla sledována metalografickým hodnocením struktury návarového kovu. To bylo doplněno měřením tvrdosti návarů.

Tyto výsledky a poznatky přispívají k návrhu navařování a renovace vybraných strojních součástí (vrtáku do zdi a ventilátorového mlýnu), což je obsahem další části této práce.

3.4.1 Metalografické hodnocení návarů

Návarové vzorky vybraných ocelí byly zkoumány metalograficky na optickém (světelném) mikroskopu NEOPHOT 2, výrobce Carl Zeiss Jena (NDR).

Pro optické pozorování byly vzorky návarů upraveny běžně známým metalografickým způsobem (tj. rozřezány na anodomechanické pile VUMA PA 30, zality do dentakrylové pryskyřice a broušena a leštěny pomocí běžných metalografických zařízení a

pomůcek).

Pro zvýraznění struktury byla použita leptadla: Nital 3 % a Villela - Bain 3 %. Optické pozorování na mikroskopu bylo prováděno při zvětšení 500 násobném (základní materiál), 80 násobném (přechodová pásma návaru a základního materiálu).

Přehled jednotlivých metalografických vzorků je uveden v tabulce 3.1. Metalografické snímky mikrostruktur jednotlivých typů ocelí navařovaných za výše uvedených podmínek jsou patrné z obr. 3.1 až 3.16 .

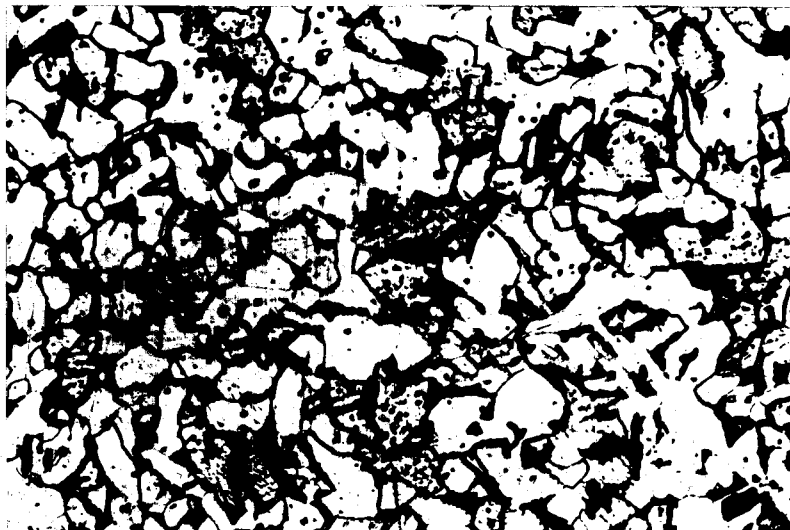
3.4.1.1 Mikrostruktura výchozího stavu oceli

- a) 11 373 - mikrostruktura je feriticko-perlitická s menším množstvím perlitu, toto množství odpovídá obsahu uhlíku oceli, které je 0,2 %. Lamely perlitu jsou velmi jemné. Struktura obsahuje malé množství nekovových vměstků (struska, sirníky) v přiměřeném množství odpovídajícím konstrukční oceli. Mikrostruktura je uvedena na obr. 3.1.
- b) 11 600 - sledovaná struktura je feriticko-perlitická s obsahem 50 % perlitu. Struktura je velmi jemnozrná bez přítomnosti nekovových vměstků a výrazné řádkovitosti. Materiál po zušlechťování na teplotu 500°C má sorbitickou strukturu, které je středně hrubozrná bez nerozpuštěných karbidů. V rozsahu sledovaného materiálu nebylo patrné porušení celistvosti prasklinami. Struktura zušlechtěné oceli je uvedena na obr. 3.2.

Tabulka 3.1 Přehled sledovaných vzorků návarů a jejich tvrdost

Číslo vzorku:	Označení oceli:	Navařování plamenem Typ prášku:					Navař. obl. Typ elekt.		Střed. hodnota tvrd./HRC/	Směrod. odch. tv. /HRC/:	Variač. koef. tv./%/:
		K20	K30	K55	K60	10224	R4	R5			
1.	11 373	P						21,2	0,75	3,5	
2.			P					29,2	1,83	6,3	
3.								59,2	2,32	3,9	
4.					P			15,0	0,63	4,2	
5.		11 600				P		52,8	1,69	3,2	
6.								Neměř.	Nepoč.	Nepoč.	
7.	11 600 zušlechťená						54,8	2,01	3,6		
8.							Neměř.	Nepoč.	Nepoč.		
9.							54,4	2,43	4,4		
10.	19 721 zušlechťená						Neměř.	Nepoč.	Nepoč.		
11.							56,6	2,41	4,2		
12.							Neměř.	Nepoč.	Nepoč.		
13.				P			54,8	0,2	0,3		

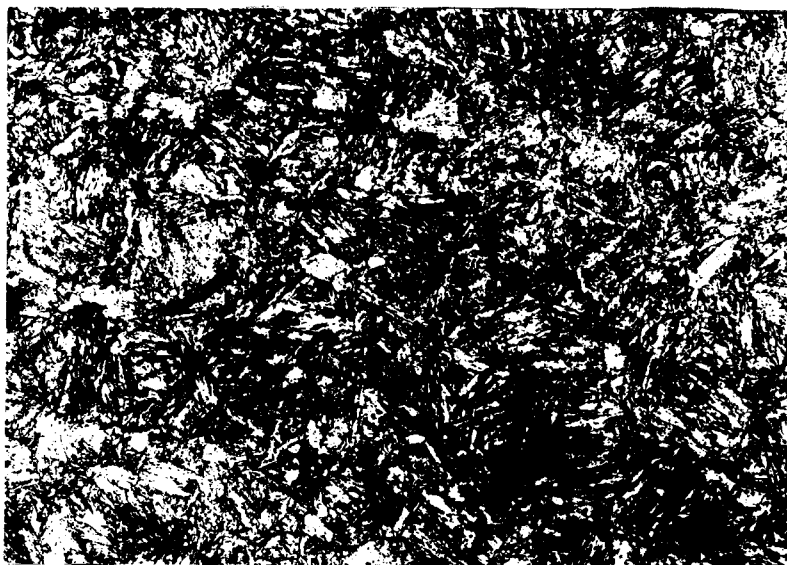
Poznámka: Ø elektrod R4 = 2,5mm; R5 = 3,5 mm; návary byly prováděny třemi housenkami; návary na plochu jsou označ. P; na hranu H; u vzorků 6,8,10,12 nebyla tvrdost zjišťována.



Nital

500 x

Obr. 3.1 Mikrostruktura oceli 11 373



Nital

500 x

Obr. 3.2 Mikrostruktura oceli 11 600 po zušlechtění
na teplotu 500°C

3-10a

- c) 19 721 - zušlechtěná; struktura je jemnozrnná sorbitická, kdy jemné karbidy vznikly z původních martenzitických jehlic. Mikrostruktura neobsahuje vady ani vměstky, jak je patrné z obr. 3.3.

3.4.1.2 Mikrostruktura vzorků návarů vytvořených prášky

a) 11 373 - K 20, návar na plochu

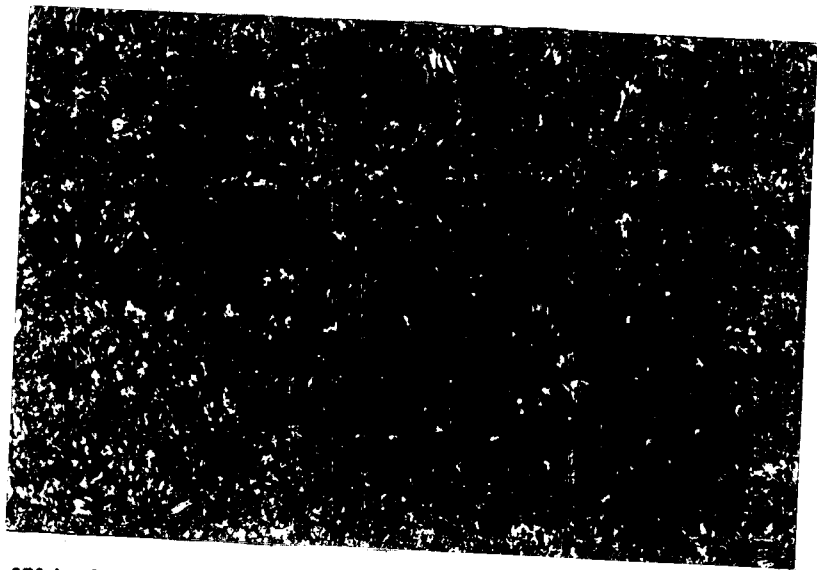
Mikrostruktura je uvedena na obr. 3.4. U návarového kovu byla zjištěna struktura skládající se z globulárního kovu, na spoji se základním materiálem se projevuje pojivo na bázi niklu. Návarový kov obsahuje menší množství vnitřních nečelistvostí (bublin max. velikosti 0,06 mm). Spojení se základním materiálem nevykazuje vady, struktura základního materiálu v přímé blízkosti návarového kovu je bainitická, ve vnitřních vzdálenostech od povrchu s výskytem feritu postupně přechází na strukturu výchozího materiálu.

b) 11 373 - K 30, návar na plochu

Mikrostruktura je uvedena na obr. 3.5. Základní materiál obsahuje 5 % feritu. Struktura návarového kovu i základního materiálu je obdobná jako v předchozím případě (viz. obr. 3.4). Popisovaná struktura obsahuje pouze nepatrné množství nekovových vměstků a bubliny malých rozměrů. V pojivu návarového kovu je patrná slabá povrchová vrstva ovlivněná difúzí železa.

c) 11 373 - K 60, návar na plochu

Struktura je uvedena na obr. 3.6. Návarový kov je tvořen shluky karbidů, obsahuje větší množství porů typu stažení



Nital

500 x

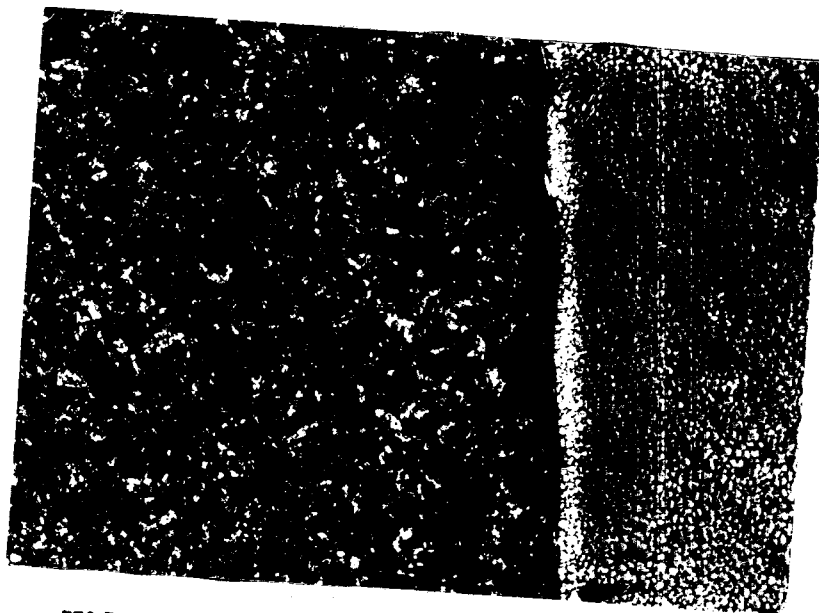
Obr. 3.3 Mikrostruktura oceli 19 721 po zušlechtní
na teplotu 650°C



Villele - Bain

80 x

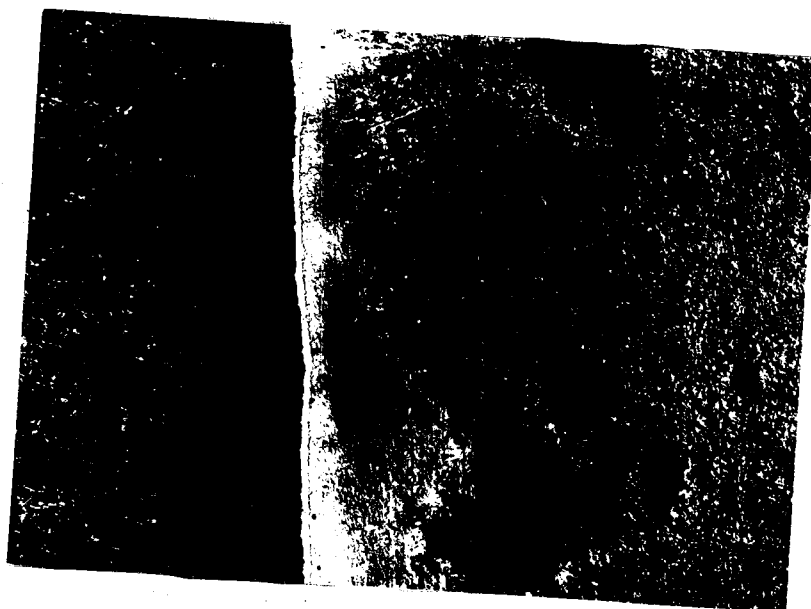
Obr. 3.4 Mikrostruktura návarového kovu na oceli 11 373
na plochu práškem VÚZ K 20



Villela - Bain

80 x

Obr. 3.5 Mikrostruktura návarového kovu na oceli 11 373
na plochu práškem VUZ K 30



Villela - Bain

80 x

Obr. 3.6 Mikrostruktura návarového kovu na oceli 11 373
na plochu práškem K 60

a bublin. Maximální rozměr vnitřních necelistvostí je 0,25 mm.

d) 11 373 - Castolin 10 224 - návar na plochu

Mikrostruktura návarového kovu a základního materiálu je uvedena na obr. 3.7. Návarový kov se skládá z nenatavených částic, které částečně jsou uspořádány dendriticky.

Struktura obsahuje pouze nepatrné vnitřní necelistvosti typu bublin. Styk návarového kovu se základním materiálem nemá žádnou souvislou vrstvu pojiva.

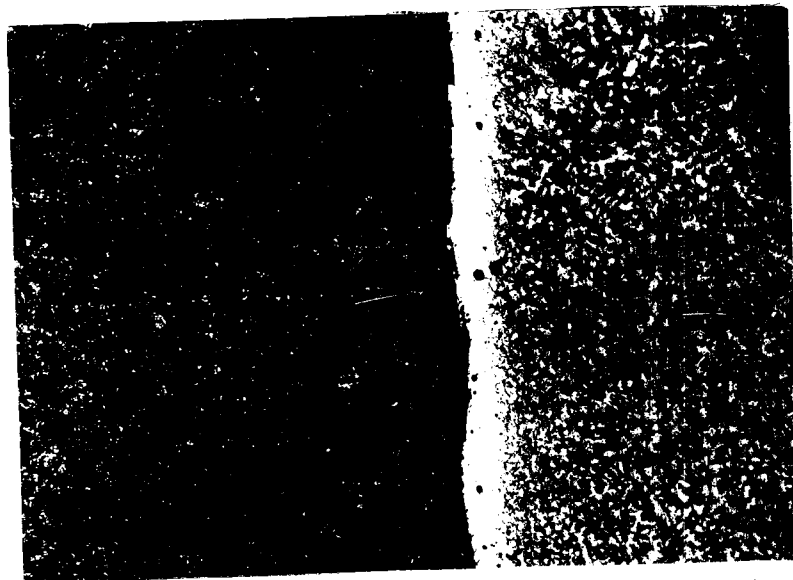
e) 19 721 - K 55, návar na hranu

Mikrostruktura návarového kovu i základního materiálu je uvedena na obr. 3.8. Struktura návaru se skládá z karbidů různé velikosti a tvaru. Karbidy jsou uloženy ve struktuře návarového kovu nerovnoměrně, avšak v místech v blízkosti základního materiálu tvoří rovnoměrnou vrstvu. Ve struktuře nejsou patrné další vady.

3.4.1.3 Mikrostruktura vzorků návarů vytvořených elektrodami

a) 11 600 - R 4, návar na plochu a hranu

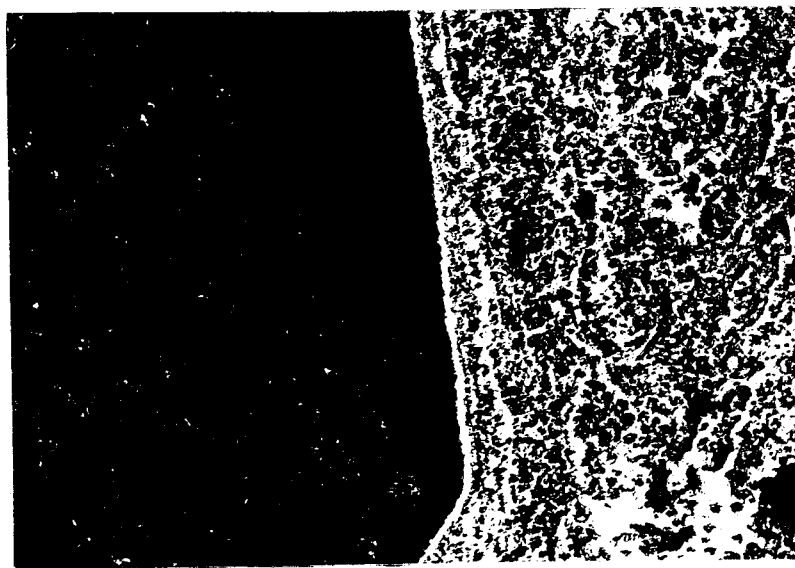
Na obr. 3.9 je uvedena mikrostruktura návarového kovu a základního materiálu, kdy navařování bylo vytvořeno na plochu. Na obr. 3.10 je uvedena tato mikrostruktura vytvořená návarem na hranu. Návarový kov v obou případech má strukturu jemnou dendritickou, v poslední vrstvě návaru jsou osy dendritů uspořádány ve směru odvodu tepla. První a druhá návarová vrstva obsahuje menší množství ledeburitických karbidů. Vrstva vytvořená vzájemnou difúzí obou kovů je nepatrná. Na obr. 3.9 v místě maximálního průvaru jsou



Villela - Bain

80 x

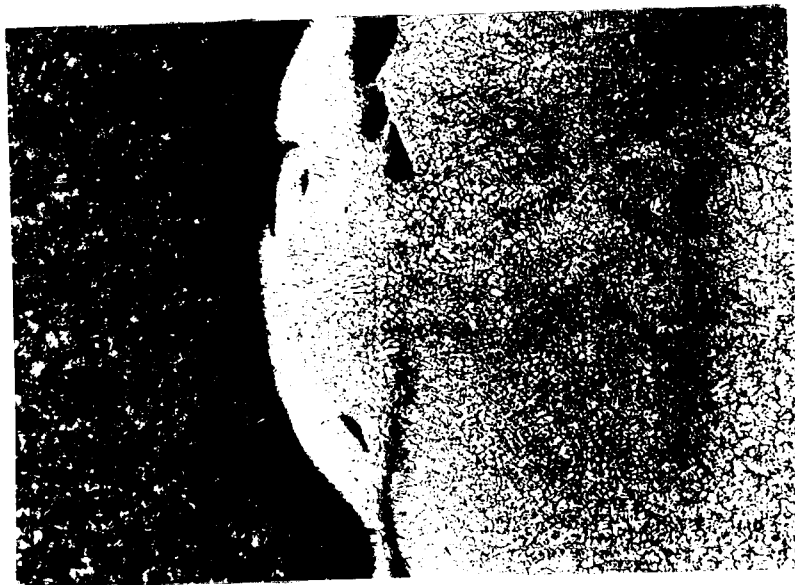
Obr. 3.7 Mikrostruktura návarového kovu na oceli 11 373
na plochu práškem Castolin 10 224



Villela - Bain

80 x

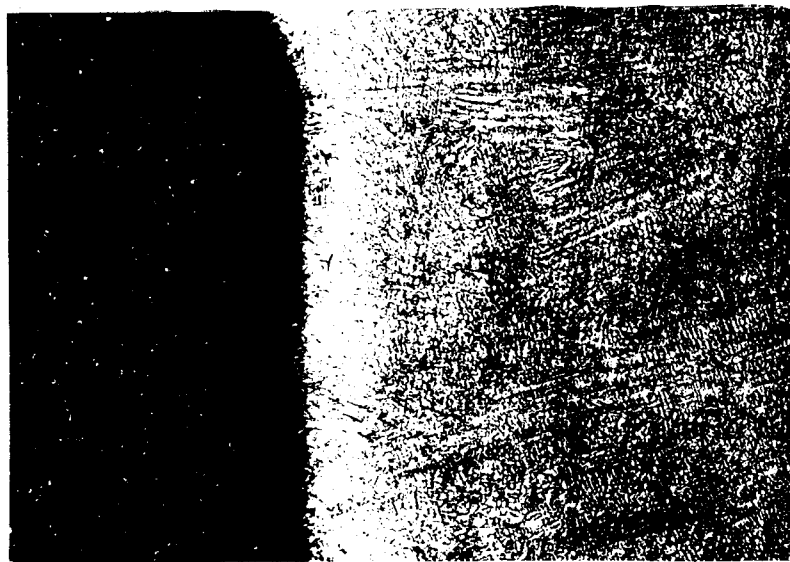
Obr. 3.8 Mikrostruktura návarového kovu na oceli 19 721
zušlechtěné; na hranu práškem K 55



Vilela - Bain

80 x

Obr. 3.9 Mikrostruktura návarového kovu na oceli 11 600
na plochu elektrodou R 4



Vilela - Bain

80 x

Obr. 3.10 Mikrostruktura návarového kovu na oceli 11 600
na hranu elektrodou R 4

S-11.8

patrné nepravidelnosti vzniklé promísením návarového kovu a základního materiálu.

b) 11 600, zušlechtěná - R 4, návar na plochu a hranu

Na obr. 3.11 je uvedena mikrostruktura návarového kovu vytvořeného na plochu základního materiálu a na obr. 3.12 je mikrostruktura návaru na hranu. Z obou obrázků je patrný velký účinek mechanického promísení návarového kovu ve spodní vrstvě návaru. Struktura základního materiálu v přímé blízkosti s návarovým kovem je bainitická, popřípadě feriticko-bainitická. Ve vzdálenějších místech se mění ve strukturu sorbitickou. Na obr. 3.11 je první vrstva návarového kovu tvořená jemnou dendritickou strukturou, která není výrazně orientovaná. Na obr. 3.12 je v místě styku u základního materiálu patrná struktura bainitická s 50 % obsahem feritu.

c) 19 721, zušlechťená - R 4, návar na plochu a hranu

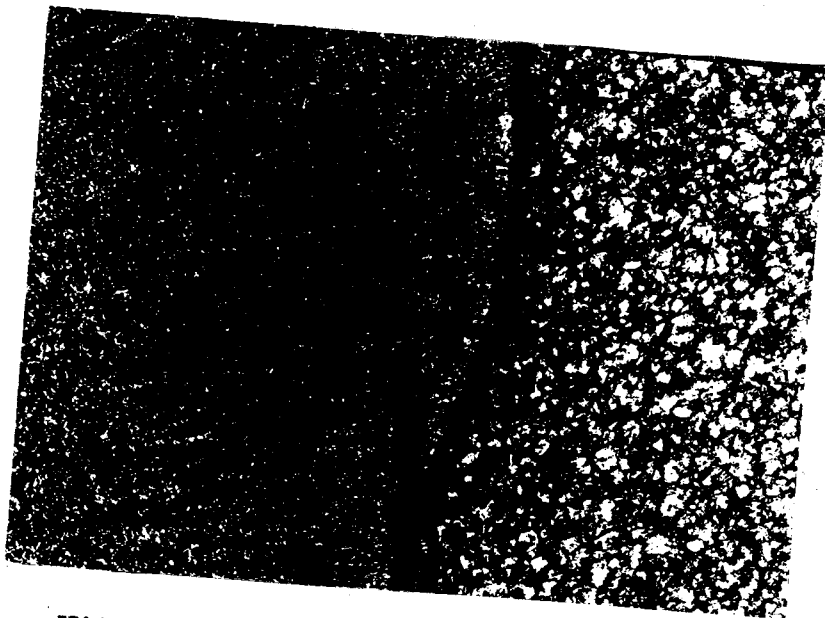
Na obr. 3.13 je uvedena mikrostruktura návarového kovu vytvořeného na plochu základního materiálu a na obr. 3.14 je mikrostruktura na hranu. Z obou obrázků je patrné, že struktura návarového kovu je dendritická s osami usměrněnými ve vrchní vrstvě návaru. Spodní vrstvy mají jemné dendrity bez směrové orientace. V případě blízkosti styku se základním materiálem při navařování na plochu (obr. 3.13) obsahuje struktura drobné nerovnoměrnosti; pravděpodobně způsobené nerovnoměrným promísením návarového kovu se základním materiálem. Na uvedených strukturách nejsou patrné vady. Na obr. 3.13 jsou v návarovém kovu patrné vměstky neznámého původu. Řádkovitost základního materiálu



Villela - Bain

80 x

Obr. 3.11 Mikrostruktura návarového kovu na oceli 11600
zušlechtěné; na plochu elektrodou R 4



Villela - Bain

80 x

Obr. 3.12 Mikrostruktura návarového kovu na oceli 11 600
zušlechtěné; na hranu elektrodou R 4

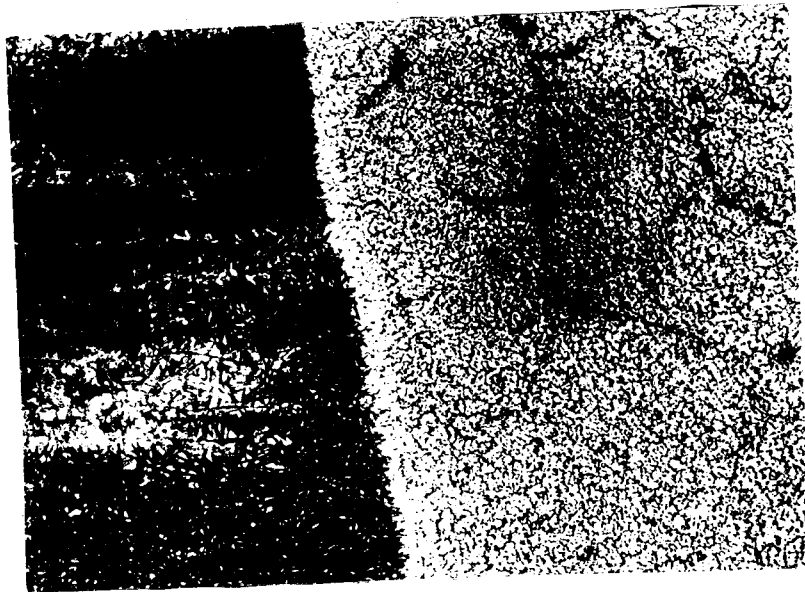
(část vlevo) je kolmá na povrch , který byl použit pro navařování. Na obr. 3.14 je řádkovitost struktury základního materiálu skloněná, z důvodu, že se jedná o návar na hranu.

d) 19 721, zušlechtěná - R 5 návar na plochu a hranu

Na obr. 3.15 je patrná mikrostruktura návarového kovu vytvořená na plochu a na obr. 3.16 mikrostruktura vytvořená na hranu základního materiálu. Struktury v obou případech jsou podobné jako v předchozím případě. Návarový kov je tvořen ledeburitickou strukturou. Ve sledovaných místech obou případů návarů není patrná řádkovitost struktury základního materiálu. U obou struktur je viditelná pozvolná změna návarového kovu první a druhé vrstvy.

3-13
3.4.1.4 Makrostruktura vzorků návarů

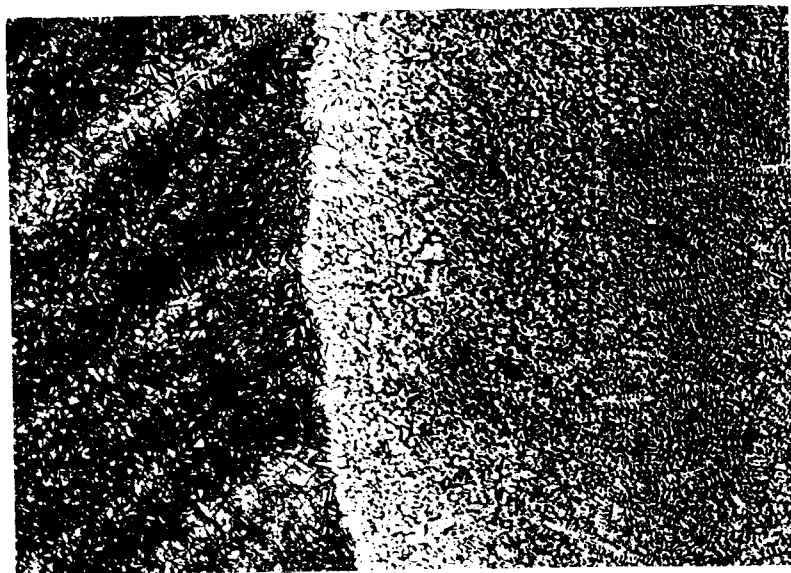
Byla sledována vizuálně, kdy byly vyhodnoceny základní rozměry návaru (hloubka, šířka, max. tloušťka návarového kovu, počet vrstev). Získané výsledky makrostruktury jednotlivých návarů jsou uvedeny v tabulce 3.1.1 a 3.1.2 podle druhu přídavného materiálu.



Villela - Bain

80 x

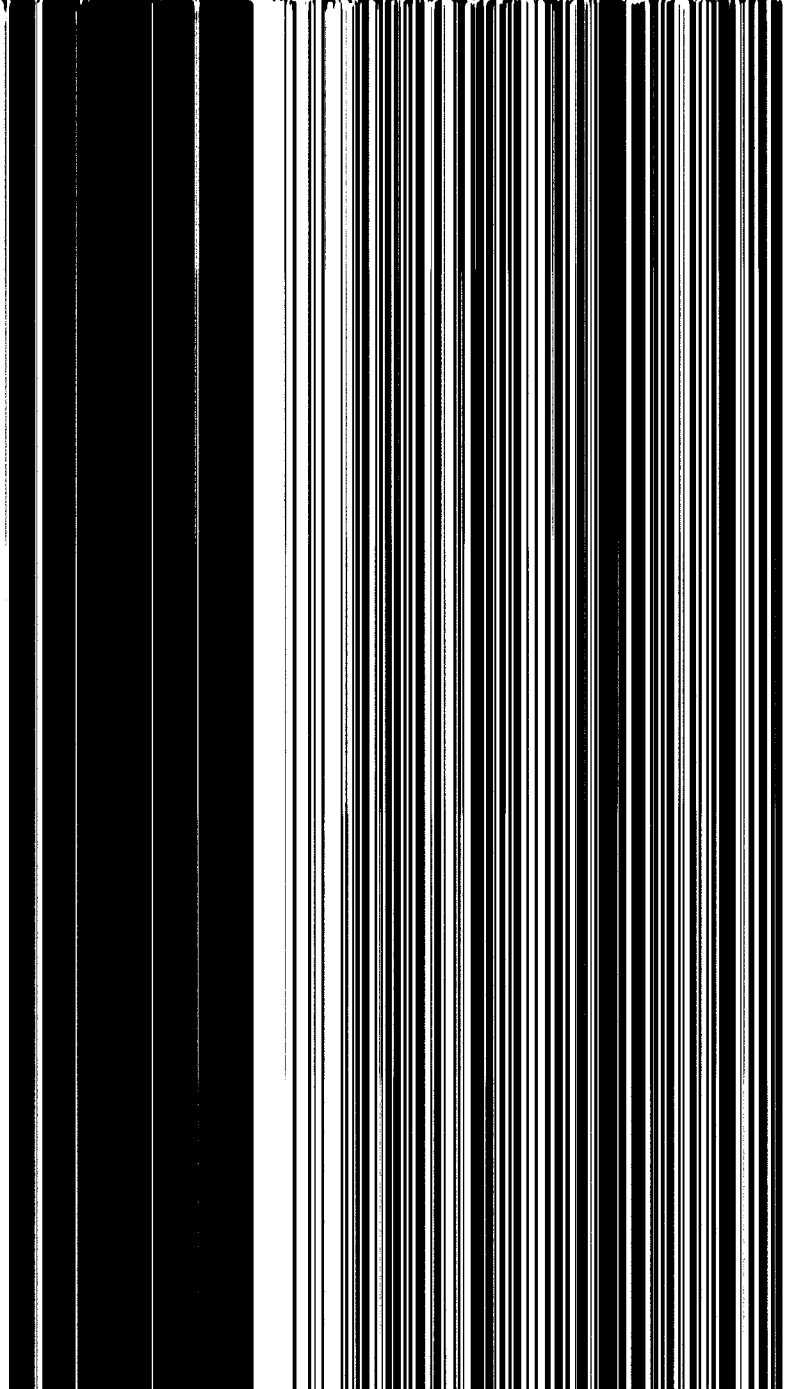
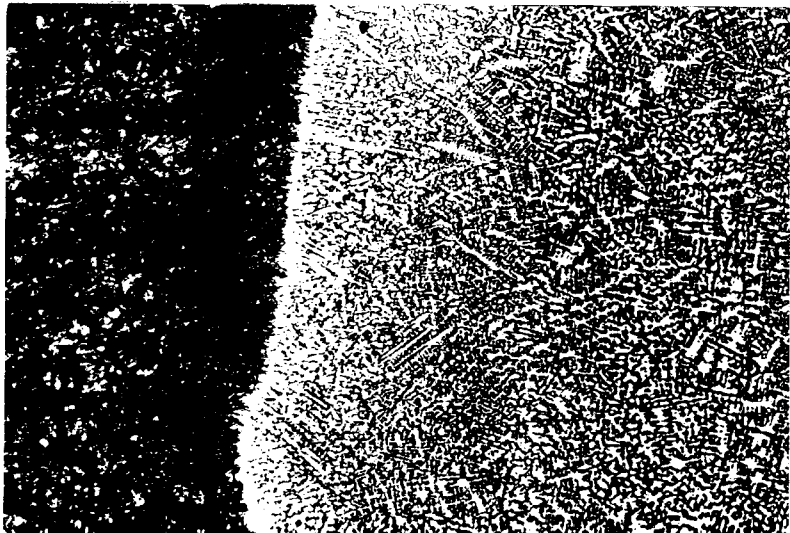
Obr. 3.13 Mikrostruktura návarového kovu na oceli 19 721
zušlechtěné; na plochu elektrodou R 4

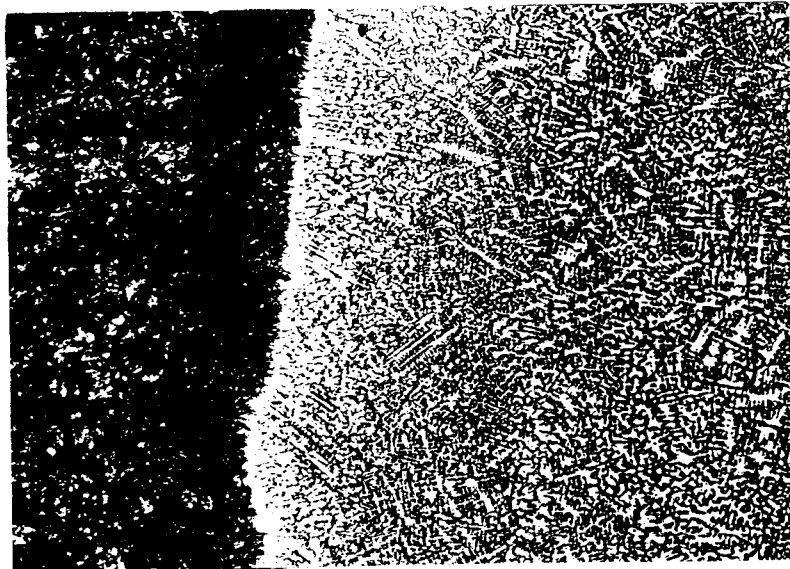


Villele - Bain

80 x

Obr. 3.14 Mikrostruktura návarového kovu na oceli 19 721
zušlechtěné; na hranu elektrodou R 4

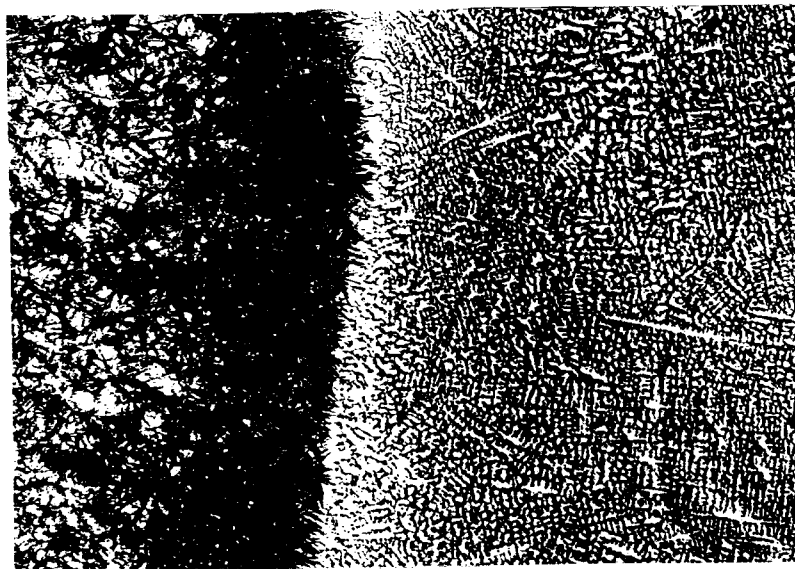




Villele - Bain

80 x

Obr. 3.15 Mikrostruktura návarového kovu na oceli 19 721
zušlechtěné; na plochu elektrodou R 5



Villela - Bain

80 x

Obr. 3.16 Mikrostruktura návarového kovu na oceli 19 721
zušlechtěné; na hranu elektrodou R 5

Tabulka 3.1.1 Shrnutí poznatků o makrostruktuře vzorků návarů vytvořenými elektrodami

Číslo vzorku:	Orientační značka vzorku:	Hloub. průvar. / mm / :	Šířka návar. / mm / :	Tl. návar. / mm / :	Max. přev. n.k. / mm / :	Počet vrst. n.k.	Tep. ov. o. / mm /	Poznámka:
5.	11 600 - R 4 - P	1,0	8,0	3,7	2,7	3	1,5	Styk návar. kovu se zákl. materiálem bez vad
6.	11 600 - R 4 - H	2,0	7,5	4,5	2,5	3	1,5	Styk návar. kovu se z.m. výskyt bublin, vměstků
7.	11 600 - R 4 - P zušl.	1,5	10,0	4,5	3,0	3	1,5	"
8.	11 600 - R 4 - H zušl.	1,5	9,0	4,0	2,5	3	4,0	"
9.	19 721 - R 4 - P zušl.	1,5	10,5	4,5	3,0	3	2,5	Styk návar. kovu se z.m. vady; řádkovitost strukt.
10.	19 721 - R 4 - H zušl.	1,5	9,0	6,0	4,5	3	2,5	"
11.	19 721 - R 5 - P zušl.	1,5	12,0	5,0	3,5	3	2,5	"
12.	19 721 - R 5 - H	1,0	12,0	4,0	3,0	3	4,0	"

Poznámka: ov. o. - značí tepelně ovlivněnou oblast; číslo vzorku je v souladu s tabulkou 3.1
z.m - značí základní materiál

Tabulka 3.1.2 Shrnutí poznatků o makrostruktuře vzorků návarů vyrobených prášky:

Číslo vzorku:	Orientační značení vzorků:	Šířka návar. kovu / mm/:	Tep. ovl. obl. z. m. / mm /:	Max. tl. návar. / mm /	Smáčí-vost:	Styk návar. se z. m.:	Poznámka:
1.	11 373 - K 20 - P	viz. pozn.	neznat.	1,0	nehod.	bez závad	šířka návaru je dána šířkou zkuš. vzorku = 6 mm
2.	11 373 - K 30 - P	"	"	0,5	"	"	"
3.	11 373 - K 60 - P	"	"	2,0	"	"	"
4.	11 373 - 10224 P	"	"	1,0	"	"	"
13.	19 721 - K 55 - H	10,0	4,0	1,5	velmi dobrá	"	v návarovém kovu jsou patrné drobné vady

Poznámka: Mimo mat. 19 721 zušlechť. K 55 - H byla šířka vzorku jednotná tj. 6 mm

Číslo vzorku koresponduje se značením v tabulce 3.1

z. m. - značí základní materiál

3.4.2 Měření tvrdosti vzorků

3-16
příjdu za kopírování metalografie 3.4.2-1

Metalografické sledování struktury návarů bylo doplněno měřením jejich tvrdosti. Pro sledování tvrdosti byla použita metoda podle Rockwella, indentrorem byl diamantový kužel o vrcholovém úhlu 120° s příslušným zatížením 1500 N. Tato metoda byla vybrána protože označení prášků (číselné označení) odpovídá tvrdosti po jejich použití.

Na každém vzorku byla měřena tvrdost návaru v 5 srovnatelných místech. Zjištěné hodnoty tvrdosti jsou uvedeny v tabulce 3.2. Tyto hodnoty byly dále statisticky vyhodnoceny, obecně známou metodou, kterou uvádí i RIAČANOVÁ / 6 / a byly zjištěny tyto hodnoty:

X - střední hodnota tvrdosti, podle vzorce (1);

S - směrodatná odchylka tvrdosti, podle vzorce (2);

v - variační koeficient tvrdosti, podle vzorce (3). Dále značí:

X_i - naměřenou tvrdost v daném místě vzorku;

n - počet měření.

$$X = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n X_i \quad / \text{HRC} / (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n |X - X_i|^2} \quad / \text{HRC} / (2)$$

$$v = \frac{S}{X} \cdot 100 \quad / \% / (3)$$

Vypočítané hodnoty střední tvrdosti, směrodatné odchylky i velikosti variačního koeficientu byly pro přehlednost sledované problematiky zařazeny do tabulky 3.1.

Tabulka 3.2 Přehled naměřených tvrdostí jednotlivých vzorků

Číslo vzorku:	Tvrdost / HRC /:				
1.	22	20	21	21	22
2.	31	27	27	30	31
3.	55	60	62	59	60
4.	15	14	16	15	15
5.	54	52	50	55	53
7.	51	56	55	57	55
9.	55	54	50	57	56
11.	53	58	57	60	55
13.	54	55	55	55	55

3.4.2.1 Shrnutí výsledků tvrdosti

Ze všech výsledků tvrdosti je patrné, že naměřená tvrdost odpovídá hodnotám, které udávají výrobci. U všech použitých práškových navařovacích materiálů zjištěná tvrdost nepřesahuje 5 % odchylku proti údajům výrobce. Podobně je to i se zjištěnou tvrdostí návarů pomocí elektrod R4 a R5.

3.5 UPLATNĚNÍ ZPŮSOBŮ NAVAŘOVÁNÍ PŘI RENOVACI VYBRANÝCH NÁSTROJŮ A STROJNÍCH SOUČÁSTÍ

Ověřené způsoby jednotlivých druhů navařování byly uplatněny při renovaci dvou předmětů - vrtáku o \varnothing 30 mm pro vrtání děr do zdi a tělesa ventilátorového mlýnu o \varnothing 1000 mm.

3.17
3.18
Na obr. 3.17 je vrták před renovací a na obr. 3.18 těleso ventilátorového mlýnu.

3.5.1 Renovace vrtáku do zdi

Vrták do zdi má obchodní název Narex 30/380 a je dán podnikovou normou PN 1988 . 2, vyrábí podnik Narex Děčín. Vrták je tvořen tělem a břitovou destičkou. Tělo vrtáku je z oceli 15 260, kalené a popouštěné na výslednou tvrdost 38 až 43 HRC. Ocel je typu Mn - Cr - V s chemickým složením: 0,47 až 0,55 % C; 0,70 až 1,00 % Mn; 0,15 až 0,40 % Si; 0,90 až 1,20 % Cr; 0,10 až 0,20 % V; max. 0,30 % Ni; max. 0,035 % P a max. 0,035 % S. Pevnost v tahu je až 1030 MPa a tvrdost podle Brinella HB je 317. po zušlechťování na střední pevnost, jak uvádá ČSN 41 5260.

Břitová destička je ze slinutého karbidu. Protože renovace vrtáku byla prováděna pouze na jeho těle, není dále provedena analýza slinutého karbidu.

Vrták do zdi byl použit v příklepové vrtačce EKV 35 - S s těmito základními parametry:

napětí - 220 V;

příkon - 750 W;

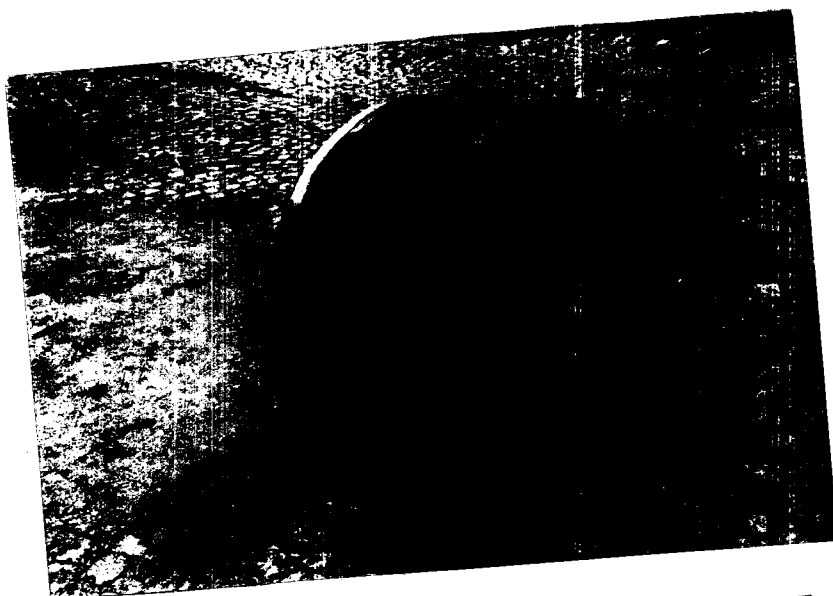
max. otáčky - 420 min⁻¹.

Maximální průměr vrtáku je 35 mm.

Během provozu je vrták značně cyklicky namáhán na krut. K tomu přispívá napěchování zdiva kolem tělesa vrtáku. Tím se podstatně zvyšuje kroutící moment, který překračuje mezní dovolenou hodnotu a dochází k destrukci vrtáku.



Obr. 3.17 Vrták do zdi před renovací
zmenšeno 3 x



Obr. 3.18 Těleso ventilátorového mlýnu před renovací
zmenšeno 25 x

3-19

3.5.1.1 Technologický postup renovace vrtáku

Jak již bylo uvedeno, k destrukci vrtáku došlo v jeho těle, které je z oceli 15 260. Před navařováním resp. svařováním vrtáku byly obě jeho části obroušeny na kuželovou plochu o vrcholovém úhlu 120° v místě jejich spojení. Pro přesné zajištění polohy obou svařovaných částí vrtáku byl zhotoven speciální přípravek z ocelového L profilu o rozměrech 40 x 40 x 3 mm a délka byla volena větší než délka vrtáku.

S ohledem na dříve získané zkušenosti při renovaci materiálu bylo rozhodnuto, že jako velmi účinné bude použití svařování elektrickým obloukem. Elektroda byla zvolena v závislosti na základní materiál tj. Mn - Cr - V ocel. Jako vhodná elektroda byla vybrána el. E - B 415, průměru 2,5 mm, která má chemické složení: 0,1 % C; 6,0 % Mn; 0,4 % Si; 18,0 % Cr; 8,0 % Ni. Pevnost v tahu R_m je 500 až 650 MPa. Tato elektroda vykazuje zvýšenou odolnost proti rázům a otěru, což odpovídá namáhání vrtáku.

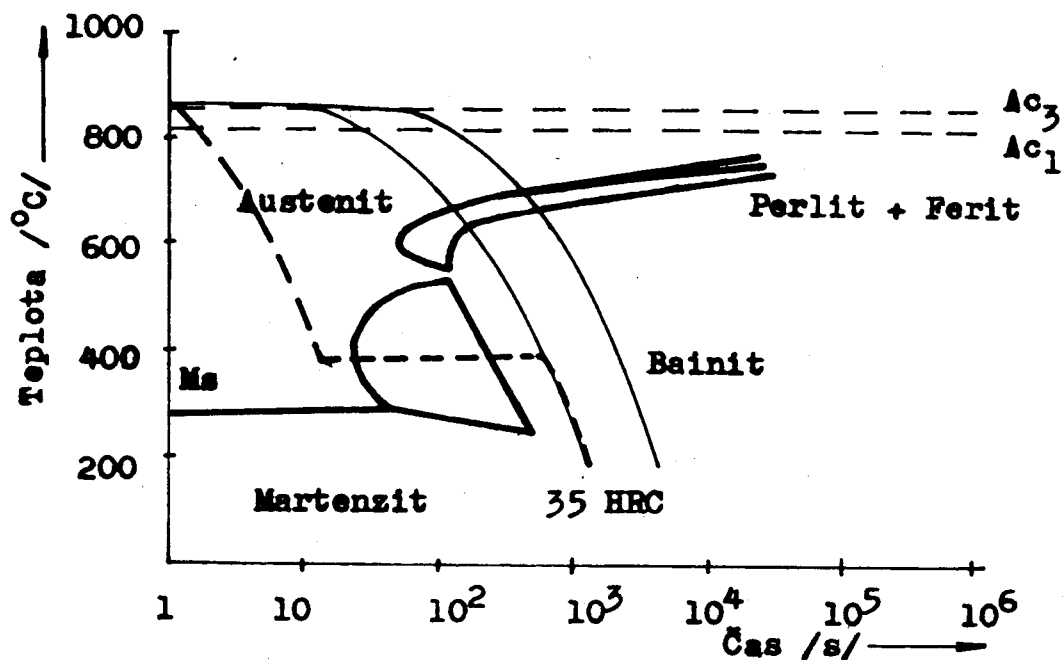
Pro svařování byly použity 4 kusy elektrody, které byly vysušeny v peci vyhřáté na teplotu 100°C po dobu 1 hodiny.

Základní materiál tj. obě části vrtáku byly ohřáté na teplotu 500°C (resp. přehřátý) v běžné elektrické peci, po dobu cca 30 minut. Takto připravené části vrtáku byly vloženy do přípravku a přibodovány k sobě na několika obvodově souměrných místech. Pak následovalo vlastní nanášení ^uhosenek v renovovaném místě vrtáku za současného ručního otáčení kolem jeho podélné osy.

Jako svařovací agregát byla použita svářečka typu KS 200/01 s nastavenými svařovacími parametry: $I = 100 \text{ A}$, $U = 35 \text{ V}$.

Jak je obecně známé, při ochlazování v rozmezí teplot 250 až 400°C se snižuje houževnatost oceli. Z tohoto důvodu byl vrták po renovaci dohříván v elektrické peci na teplotě 400°C po dobu 15 minut. Tento režim ochlazování je znázorněn na obr. 3.19. V místě svaru proběhnu~~l~~ tepelný režim obdobný izotermickému kalení, který zaručuje u oceli 15 260 zvýšení plastických vlastností jádra vrtáku.

Jako v předchozích případech, i zde byla sledována tvrdost povrchu návaru podle metody Rockwella. Bylo opět provedeno měření v pěti odpovídajících místech návaru a byla vypočítána průměrná tvrdost, která je 35 HRC. Návar byl celistvý a nevykazoval viditelné vady. Protože vrták po renovaci byl určen k jeho použití, nebylo provedeno metalografické hodnocení návaru.

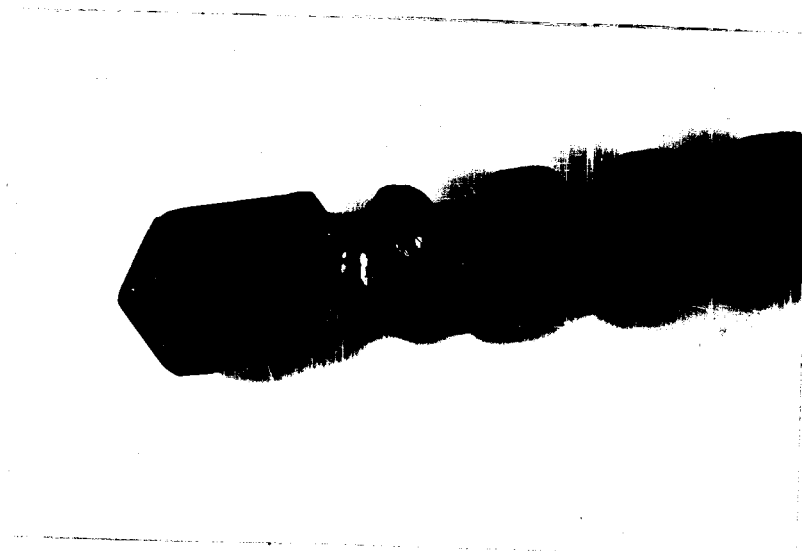


Čárkovane~~n~~ je naznačen ochlazovací cyklus po navařování s výdrží v peci na teplotě 300 až 400°C po dobu 15 minut

Obr. 3.19 Schématické naznačení ochlazování vrtáku po jeho navaření v diagramu ARA.



Obr. 3.20 Detail porušené části vrtáku do zdi



Obr. 3.21 Detail vrtáku do zdi po navaření

5a, 3-22

3.5.1.2 Kalkulace nákladů na renovaci vrtáku

Pracnost (úprava ~~návarových~~ ploch a vlastní
navařování) 20 min.

Mzda (18,- Kčs. h⁻¹)

6,-

Režie (180 %)

10,80

Cena přídatného materiálu

5,20

22,- Kčs

Velkoobchodní cena jednoho kusu vrtáku je 188,- Kčs.

Z uvedeného vyplývá, že provedeme-li renovaci 100 kusů vrtáků naznačeným způsobem navařování, budou celkové náklady 2200,- Kčs. Cena 100 kusů nově vyrobených vrtáků je 18 800,- Kčs. V tomto případě dojde k úspoře 16 600,- Kčs.

Ekonomický přínos renovace vrtáků je evidentní, nehledě k tomu, že se jedná o nedostatkový typ výrobku na našem trhu.

2-23

3.4.2.6

3.5.2 Renovace ventilátorového mlýnu

3' 3.22.

Ventilátorový mlýn MV 8 se používá k drcení hnědého uhlí práškového kotle. Drcení uhlí probíhá za rotace mlýnu po jeho obvodě. Vlivem abrazivního opotřebení došlo k zmenšení průměru činných ploch. Mlýn je uveden na obr. 3.18 a je vyroben z oceli 11 373. Chemické složení této oceli je uvedeno v předchozí části této práce; pro orientaci uvádím max. 0,2 % C; max. 0,05 % P; max. 0,05 % S. Detail mlýnu po renovaci je na obr. 3.22.

3.5.2.1 Technologický postup navařování

3.23.

Vzhledem k velké navařovací ploše byla zvolena vysoce produktivní technologie MOG, stávající se z rotační svářečky typ K 600, která je uvedená na obr. 3.23 a její součástí je podávací zařízení typ SAP 401 a speciální navařovací pistole typu KHO 400. Detail podávacího zařízení je uveden na obr. 3.24 .

3.4.2.7

Jako přídavný materiál byla použita trubičková elektroda OTS 517 o \varnothing 3,2 mm, která je určena pro navařování vrstev se zvláštními vlastnostmi. Chemické složení elektrody je následující: 1,7 % C; 1,0 % Mn; 1,0 % Si; 12,0 % Cr; 0,9 % B; 0,7 % Ti.

3.24.

Tvrдость návaru se pohybuje od 57 do 64 HRC. Elektroda je vhodná pro navařování součástí ve výrobě i při renovaci opotřebených ploch. Návar odolává abrazi.

3.24

Před navařováním byly navařované plochy důkladně očištěny drátěným kartáčem. Předehřev součástí vzhleden k jejím rozměrům (1600 mm) nebyl možný ani účelný.

Nanášení návarového kovu vyžadovalo koordinaci pohybů svářeče, který ovládal jednou rukou navařovací res. svařovací

pistolí a pomocí její páky i rychlost podávání drátu za současného střídavého pohybu drátem z jedné strany na druhou. Po nanesení rovnoměrné vrstvy o tloušťce 5 mm po celém obvodu mlýna, byla odstraněna struska a zbrušeny nežádoucí výstupky.

Kontrola návaru byla provedena vizuálně. Nebyly zjištěny vážné nedostatky, jak je patrné z obrázku detailu.

Základní materiál 11 373 pro nízký obsah uhlíku patří podle ČSN 05 1310 mezi oceli se zaručenou svařitelností.

Renovace ventilátorového mlýnu byla provedena v dílně katedry tváření a plastů VŠST v Liberci, kde z prostorových důvodů nebylo možné realizovat plynulé otáčení součásti kolem své osy. Daleko výhodnější by bylo provádět tuto renovaci přímo na pracovišti bez zdlouhavé a namáhavé demontáže.



Obr. 3.22 Detail návaru ventilátorového mlýnu



Obr. 3.23 Použitá svařovací souprava pro navařování ventilátorového mlýnu



Obr. 3.24 Detail podávacího zařízení variátorového typu SAP 401 pro navařování

3.4.2.8
3-26

3.5.2.2 Kalkulace nákladů na renovaci ventilátorového mlýnu

Pracnost (úprava návarových ploch a vlastní
navařování) 5 hod.

Mzda (18,- Kčs . h⁻¹) 90,-

Režie (180 %) 162,-

Cena spotřebovaného přídatného materiálu 165,60

(6 kg elektrody OTS 517, cena 1 kg = 27,60 Kčs)

Celkové náklady 417,60 Kčs

Velkoobchodní cena ventilátorového mlýnu je 20 000,- Kčs.

Závěrem lze konstatovat, renovace navařováním je pro tuto součást velmi výhodná, neboť se jedná o speciální zařízení a jeho výroba je z ekonomického hlediska nákladná.

Podoba' krouha vent. mlýna

3-27

4. D I S K U S E V Ý S L E D K Ů

Výsledky, kterých bylo v předložené práci dosaženo, přináší do technologie navařování ocelových i ocelových zušlechťených výrobků informace, které přispívají ke zvyšování jejich funkčního uplatnění.

Obecně lze charakterizovat renovaci součástí navařováním jako proces, který je závislý na více okolnostech (např. chemickém složení navařovaného materiálu, způsobu navařování, přípravě součásti a jejím předehřevu před navařováním, způsobu ochlazování po navařování atd.). S takovými úvahami je nutno přijímat výsledky, které byly získány v experimentální části a lze je rozdělit do několika skupin:

- 4-1
- a) Metalografickým hodnocením návarů na oceli 11 373 vytvořenými prášky K 20, K 30, K 60 a Castolin 10 224 bylo zjištěno, že návarový kov je tvořen globulemi spojenými niklem. Na styku návarového kovu se základním materiálem je struktura základního materiálu bainitická a pozvolně přechází do základního feriticko-perlitického materiálu s 5 % perlitu. Návar vytvořený práškem K 60 obsahuje shluky karbidů, jejich vznik je závislý na obsahu karbidotvorných prvků v prášku. Struktura tohoto materiálu obsahuje póry. Návarový kov vytvořený práškem Castolin 10 224 obsahuje nenatavené částice; struktura kovu má dendritický charakter, s nepatrným množstvím necelistvostí. Styk návarového kovu se základním materiálem nemá řádnou souvislou vrstvu pojiva. Podle údajů výrobce, prášek Castolin 10 224 je podobný, co se týká získané tvrdosti návaru prášku s tvrdostí 20 HRC.

Návarový kov vytvořený na zušlechtěné oceli 19 721 se skládá z karbidů, k jejich vzniku přispívají karbidotvorné prvky prášku.

- b) Návary vytvořené tvrdonávarovými elektrodami R 4, R 5 mají dendritickou strukturu, poslední vrstva návaru má dendrity uspořádány ve směru odvodu tepla. V návarové vrstvě jsou patrné ledeburitické karbidy. Návary mají místa nepravidelného průvaru, která pravděpodobně vznikla promísením základního a návarového kovu.

Návary těmito elektrodami na ocelích zušlechtěných také vykazují promísení návarového kovu. V blízkosti návaru základní materiál má bainitickou strukturu a ve vzdálenějších oblastech přechází ve strukturu zušlechtěného základního materiálu, což je nejčastěji struktura sorbitická. První vrstvy návarového kovu jsou tvořeny dendrity s výraznou orientací. Další vrstvy návaru mají jemnou dendritickou strukturu bez výrazné orientace.

Po navaření materiálu 19 721 zušlechtěného, vykazuje struktura základního materiálu řádkovitost, což je patrné při návaru na hranu základního materiálu, kdy je řádkovitost skloněna podle směru odvodu tepla, jak bylo zjištěno při použití elektrody R 4. Návarový kov je tvořen ledeburitickou strukturou, jejíž dendrity jsou orientovány ve směru odvodu tepla.

- c) Hodnocením makrostruktury u návarového kovu získaného prášky K 20, K 30, K 60 a Castolin 10 224 na materiálu 11 373, 11 600, 11 600 zušlechtěném a 19 721 zušlechtěném byla zjištěna šířka svarového kovu ; resp. návarového kovu 6 mm (mimo návar na hranu u materiálu 19 721 byla zjiště-

na šířka 10 mm). U jednotlivých vzorků návarů není patrná tepelně ovlivněná oblast, až na návar materiálu 19 721 na hranu. Struktura na styku návarového kovu a základního materiálu byla u všech vzorků pozorována bez závad. Při použití elektrod R 4, R 5 u materiálu 11 600, 11 600 zušlechtěného a 19 721 zušlechtěného byla zjištěna hloubka průvaru od 1,0 do 2,0 mm. Tloušťka návarového kovu se pohybuje od 3,7 do 6,0 mm. Při tomto způsobu navařování se objevuje tepelně ovlivněná oblast od 1,5 do 4,0 mm. Její hloubka je pravděpodobně závislá na typu oceli, tepelném zpracování atd. U většiny těchto návarů byly pozorovány drobné bubliny.

- d) Z výsledků měření tvrdosti a výpočtu střední hodnoty tvrdosti je patrné, že tyto hodnoty zjištěné na návarech odpovídají tvrdosti udávané výrobcem. Střední tvrdost jednotlivých návarů nepřesahuje rozdíl 5 % údajů výrobce.

Všechny tyto výsledky prokázaly, že lze navařování realizovat na ocelích zušlechtěných se sorbitickou strukturou, která je výhodná u součástí dynamicky namáhaných, at již se jedná o nástroje nebo strojní součásti. Přitom je však nutné správně zvolit druh a způsob navařování tj. podle velikosti, funkce opotřebení součástí apod.

Při navařování různých druhů ocelí je třeba dodržet, jak uvádí BLAŽČÍK / 1 /, správnou volbu předehřevu základního materiálu navařované oceli, který je spojen s množstvím uhlíku základního materiálu a množstvím legujících prvků.

Všechny uvedené poznatky byly úspěšně uplatněny při renovaci - navařováním dvou konkrétních součástí:

1. Vrtáku do zdi z materiálu 15 260, kde s ohledem na složení materiálu vrtáku na bázi Mn - Cr - V, byla zvolena elektroda E - B 415 (obsahuje 18 % Cr, 8 % Ni). K navařování byla použita svářeška typy KS 200/01;
2. Ventilátorového mlýnu z materiálu 11 373, kdy pro navařování byla zvolena technologie MOG s použitím trubičkové elektrody OTS 517 \emptyset 3,2.

Vyhodnocení provedené kvality navařování bylo provedeno vizuálně a měřením tvrdosti u vrtáku do zdi. Naměřená tvrdost byla zjištěná z pěti orientačních měření 35 HRC. U obou navařovaných součástí nebyly patrné žádné vady a lze předpokládat, že budou dlouhodobě plnit svou funkci.

Myslím, že i když nebylo provedeno navařování vzorků na oceli 15 260 získané předešlé poznatky byly dostačující k tomu, aby i renovace vrtáku navařováním byla úspěšná.

4-4
Pokud se jedná o ekonomické hodnocení, které je podrobněji popsáno v závěru této práce, je třeba dodat, že nebylo provedeno v takovém rozsahu jako když se jedná o výrobní nahrazení novou progresivnější technologií.

Renovace součástí navařováním je nejvíce uplatňována u kusové a maloseriové výroby u těch výrobků, které jsou výrobně velmi náročné nebo na trhu nedostupné.

S touto úvahou bylo provedeno i ekonomické hodnocení navařování vrtáku do zdi a ventilátorového mlýnu, kdy byly kalkulovány pouze mzdy, potřebný materiál a režie, tak jak je uvedeno v této práci.

5. Z Á V Ě R

Předložená diplomová práce, zpracovaná na téma: Renovace strojních součástí a strojů navařováním, se skládá ze dvou hlavních částí. První část - rešeršní je zaměřena na shrnutí poznatků o renovaci strojních součástí navařováním elektrickým obloukem a plamenem za použití navařovacích práškových materiálů. Uvedené poznatky byly uplatněny v druhé - experimentální části diplomové práce. Tato část se zabývá vyhodnocováním vzorků vybraných ocelí 11 373, 11 600, 11 600 a 19 721 ve stavu zušlechtěném na kterých bylo provedeno navařování na plochu a hranu různými způsoby.

Všechny získané výsledky potvrdily možnost navařování i ocelí tepelně zpracovaných (zušlechtěných). Z těchto výsledků lze formulovat tyto dílčí závěry:

- a) mikrostruktura návarového kovu vytvořená prášky K 20, K 30, K 60 a Castolin 10 224 na oceli 11 373 je dendritická, u návarů s použitím prášků vyšší tvrdosti je struktura karbidická. Na styku návarového kovu a základního materiálu má základní materiál bainitickou strukturu.
- b) mikrostruktura návarového kovu vytvořená tvrdonávarovými elektrodami R 4, R 5 na plochu a na hranu oceli 11 600 je tvořena jemnou dendritickou strukturou bez výrazného směrového uspořádání.

Mikrostruktura návarového kovu této oceli po jejím zušlechtění je také dendritická a na styku bainitická až přechází na strukturu sorbitickou základního materiálu.

Mikrostruktura návarového kovu na oceli 19 721 zušlechtěné je také dendritická s patrnými vměstky. Návarový kov je tvořen ledeburitem. Základní materiál se vyznačuje řádkovitostí struktury.

- c) naměřená tvrdost a vypočítaná její střední hodnota návarového kovu jednotlivých ocelí při použití vybraných technologií navařování odpovídá údajům, které uvádí výrobce. Směrodatná odchylka jednotlivých vzorků návarů nepřesahuje 2,5 HRC a variační koeficient tvrdosti 6,3 %.
- Největší tvrdost dosahuje návarový kov získaný pomocí prášku K 60, kdy byla zjištěna střední hodnota tvrdosti 59,2 HRC a tvrdonávarovými elektrodami R 4 a R 5, kdy byly zjištěny střední hodnoty tvrdosti 54,4 a 56,6 HRC.
- d) makrostruktura návarového kovu vytvořená jednotlivými způsoby navařování neobsahuje výrazné vady a trhliny. U některých vzorků byly patrné vměstky vzniklé od strusky. Maximální hloubka průvaru vytvořená elektrodou byla zjištěna 2,0 mm a maximální ovlivněná oblast dosahovala tloušťku 4,0 mm; to bylo zjištěno u návaru na materiálu 19 721. U vzorků návarů zhotovenými prášky je též maximální tloušťka návarového kovu 2,0 mm. Návarový kov ani místo styku neobsahuje výrazné vady.
- e) návarové kovy ani místa na spoji u jednotlivých vzorků nevykazují výrazné vady a necelistvosti, pouze v některých případech se vyskytují vměstky.

V návaznosti na uvedené poznatky bylo provedeno navařování na dvou součástkách; resp. strojírenských dílech:

1. Vrtáku do zdi z oceli 15 260;
2. Tělese ventilátorového mlýnu z materiálu 11 373.

Obě součásti po navaření byly prohlédnuty a nebyly zjištěny žádné povrchové vady. U vrtáku do zdi byla zjištěná tvrdost 35 HRC.

5.1 Ekonomické zhodnocení renovace součástí navařováním

Renovace opotřebených součástí navařováním umožňuje jejich další funkční použití. Jak již bylo uvedeno, nahrazuje se chybějící materiál jen na funkční ploše, popřípadě v jiném místě avšak v malém objemu. Nehledě také na to, že při navařování se může nahradit chybějící materiál resp. kov kovem lepší (výhodnější) kvality. Protože množství materiálu v porovnání s množstvím materiálu celé součásti je velmi malé, získávají se renovací úspory energie, materiálu, ale také lidské práce potřebné na výrobu nové součásti.

Velmi výhodná je renovace materiálu navařováním u náročných součástí nebo výrobních celků, které se vyrábí v malých seriích nebo pouze jednotlivě a jsou ještě výrobně velmi náročné.

Pro zdárný průběh navařování a tím i pro ekonomický efekt je však také třeba dbát na správné dodržování režimu navařování (tj. správná úprava návarových ploch, předehřev navařovaného materiálu, správná technologie navařování, ochlazování materiálu po navařování atd.).

Z výše uvedeného vyplývá, že navařování strojních součástí je velmi výhodné, což potvrzuje i prováděné navařování vrtáku

do zdi a tělesa ventilátorového mlýnu.

Při provádění renovace vrtáku do zdi byly zjištěny na 100 kusů renovace úspory cca 16 000 Kčs, jak je přesně uvedeno v kapitole 3.5.1.2. A při renovaci tělesa ventilátorového mlýnu jsou náklady cca 420,- Kčs a velkoobchodní cena tohoto zařízení činí 20 000 Kčs, jak je uvedeno v kapitole 3.5.2.2 této práce.)

Závěrem lze konstatovat, že z ekonomického hlediska renovace ocelových strojních součástí je velmi výhodná a nehledě na to, že v podstatě mimo speciálního navařovacího hořáku a elektrod je zapotřebí běžné dílenské svařovací vybavení.

6. SEZNAM LITERATURY

- / 1 / BLAŽČÍK, F. a kol.: Technológia tvarovania, zlievanstva a zvarovania. 1. vyd. Bratislava, Praha 1988.
- / 2 / JECH, J.: Tepelné zpracování oceli. Metalografická příručka. 1. vyd. Praha 1969.
- / 3 / NĚMEC, J.: Fyzikální a metalurgické základy obloukového svařování. 1. vyd. Praha 1977.
- / 4 / NOVOTNÝ, V.: Hořáky pro svařování práškových kovů. In: Zaškolenie na plameňovopráškové navaranie. Žilina 1981, s. 55.
- / 5 / PLUHAŘ, J., KORITTA, J.: Strojírenské materiály. 3. nezměněné vyd. Praha 1982.
- / 6 / RIEČANOVÁ, Z. a kol.: Numerické metody a matematická štatistika. 1. vyd. Praha, Bratislava 1987.
- / 7 / TMĚJ, J., NEUMANN, H., JENŠÍ, S.: Teorie svařování. Skripta. VŠST - FS Liberec 1982.
- / 8 / VANĚK, J., KREJČÍ, M.: Současné možnosti identifikace trhlin vznikajících za tepla v austenitických materiálech. Strojírnoství 39. 1989, č. 2. s. 114.

- 2-9
- / 9 / VOCEL, M. a kol.: Tření a opotřebení strojních součástí. 1. vyd. Praha 1976.
 - / 10 / KOLEKTIV: Přídavné materiály pro svařování a pájení kovů. ŽAS Vamberk 1986 - 1987.
 - / 11 / KOLEKTIV: Podkladové materiály VÚZ Bratislava.
 - / 12 / ČSN 01 5050: Rozdělení opotřebení materiálů.
 - / 13 / ČSN 05 0005: Základní klasifikace vad svarových spojov. Základní pojmy.
 - / 14 / ČSN 05 1142: Skúšenie odolnosti svarového kovu proti tvoreniu krystalizačných trhlin.
 - / 15 / ČSN 05 1310: Svařitelnost oceli.
 - / 16 / ČSN 41 1373: Ocel 11 373.
 - / 17 / ČSN 41 1600: Ocel 11 600.
 - / 18 / ČSN 41 5262: Ocel 15 260.
 - / 19 / ČSN 41 9721: Ocel 19 721.
 - / 20 / ČSN 05 5160: Elektrody na návary se zvláštními vlastnostmi, technické a dodací předpisy.

P O D Ě K O V Á N Í

Je mojí milou povinností poděkovat vedoucímu diplomové práce s. Stanislavu J e n š í m u za pomoc, rady a připomínky při řešení práce, které mi poskytnul.

Dále děkuji s. Ing. Františku Beranovi, Haně Peštové i všem pracovníkům katedry tváření a plastů, vedeným s. Prof. Ing. Jaroslavem T m ě j e m, CSc, kteří mi při řešení práce také velmi pomohli.

Za přepsání textu práce děkuji Pavle a Daně Hažmukovým.

Liberec, 2. června, 1989