

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

zaměření

Tváření plastů a plastických hmot

Katedra tváření a plastů

RENOVACE HŘÍDELE ZADNÍ NÁPRAVY
NÁKLADNÍHO AUTOMOBILU T - 148

Karel Rathouský

114

Vedoucí práce: Ing. Heinz Neumann VŠST Liberec

Konsultant: Ing. Jiří Morávek ČSAO Hradec Králové

Rozsah práce a příloh

Počet stran	55
Počet příloh	-
Počet tabulek	7
Počet obrázků	21
Počet výkresů	1
Počet modelů	
a jiných příloh	-

25. května 1984

Vysoká škola: **strojí a textilní**

Fakulta: **strojí**

Katedra: **tvářeni a plasty**

Školní rok: **1983/84**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKŮNU)

pro **Karla R a t h o u s k é h o**

obor **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 hřídele zadní nápravy nákladního automobilu T - 148**

Zásady pro vypracování:

1. Seznáňte se s výrobním postupem zadní nápravy.
2. Seznáňte se se současným stavem renovace náhradních dílů v n.p. ČSAD Hradec Králové.
3. Proveďte posouzení charakteru a rozsahu opotřebení hřídelů zadní nápravy.
4. Proveďte návrh technologického postupu renovace zadní nápravy.
5. Proveďte ověření technologického postupu a celkové zhodnocení reparačního procesu.

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
727/1974 ze dne 1. února 1974
1962 Věstník MŠK XVI, část 24 ze
dne 31. 8. 1962 § 19 odst. 2 a 3/73 Sb.

V 188/84 S
VYSOKÁ ŠKOLA STROJÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, SPOLEČNÁ
PSC 461 17

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

1. Vorel, M. a Dufek, V. a kol. : Tření a opotřebení strojních součástí, SNTL, Praha, 1976
2. Jech, J. : Tepelné zpracování ocelí - metalografická příručka, SNTL, Praha, 1977
3. Morávek, O. - Baberevský, V. : Nástrojové mat. a tepelné zpracování nástrojů. SNTL, Praha, 1975

Vedoucí diplomové práce: Ing. Heinz M e n n e n

Konzultant : Ing. Jiří Morávek, ČSAO Hradec Králové

Datum zadání diplomové práce: 3. 10. 1983

Termín odevzdání diplomové práce: 25. 5. 1984



J. Imš
Doc. Ing. Jaroslav Imš, CSc.
Vedoucí katedry

Stuž
Doc. RNDr. Bohuslav Štříž, CSc.
Děkan

V Liberci dne 23. 9. 1983

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

Dehtoušek Karel

V Liberci 25.5.1981

POUŽITÁ OZNAČENÍ

b_2	.... šířka drážkování	[mm]
F	.... síla působící na jeden zub	[N]
M_k	.... přenášený kroutící moment	[Nm]
p	.... průměrný tlak na styčných plochách zubů	[Pa]
p_d	.... dovolený tlak	[Pa]
S_{sf}	.... tloušťka paty zubu hřídele na tětivě	[m]
R_m	.... mez pevnosti v tahu	[Pa]
σ	.... normální napětí	[Pa]
τ	.... tečné napětí	[Pa]
φ	.... součinitel styku boků zubů	
h_1	.... výška zubu hřídele	[m]
m	.... modul ozubení	[mm]
h_n	.... nosná výška drážkování	[m]
z	.... počet zubů	
D	.... průměr roztečné kružnice	[m]
v_1	.... výška svršku zubu hřídele	[m]
v_2	.... výška svršku zubu náboje	[m]
k_o	.... koeficient bezpečnosti namáhání v ohybu	
k_s	.... koeficient bezpečnosti namáhání ve smyku	
i	.... převodový poměr	
HV	.... tvrdost podle Vickerse	
HRC	.... tvrdost podle Rockwella	

O B S A H

		strana
1.	Úvod	7
2.	Teoretická část	9
2.1.	Současný stav renovace v n.p. ČSAO Hr. Král.	9
2.2.	Stručný přehled používaných metod renovace ..	9
2.2.1.	Naváření svařecími poloautomaty WLSP 315 a WSP 600 v ochranné atmosféře plynů	11
2.2.2.	Vibrační navařování automatem NVE 302	13
2.2.3.	Práškové navařování systém ROTOTEC	14
2.3.	Výrobní postup hřídele zadní osy	15
2.3.1.	Obecná část	15
2.3.2.	Základní údaje o výrobě hřídele zadní osy ..	16
2.4.	Charakter a rozsah opotřebení hřídele	17
2.4.1.	Výpočet maximálního krouťícího momentu	18
2.4.2.	Pevnostní poměry na drážkování	19
2.5.	Hlavní kritéria volby renovačního zásahu ...	21
2.5.1.	Technologický postup opravy s renovací souč.	21
2.6.	Stanovení technologického postupu	23
2.6.1.	Výběr součástí k renovaci	23
2.6.2.	Odstranění opotřebeného drážkování	24
2.6.3.	Nanesení vrstvy přídavného materiálu	25
2.6.4.	Opracování navařené části	29
2.6.5.	Tepelné zpracování	30
2.6.6.	Kontrolní operace	33
3.	Experimentální část	35
3.1.	Použité zkušební metody	35

3.1.1.	Zkoušky tvrdosti	35
3.1.2.	Defektoskopické metody	36
3.1.3.	Metody zkoumání struktur	38
3.2,	Laboratorní zkoušky	39
3.2.1.	Vzorek 1	40
3.2.2.	Vzorek 2	41
3.2.3.	Vzorek 3	44
3.2.4.	Vzorek 4	47
4.	Celkové zhodnocení renovačního postupu	50
4.1.	Zhodnocení technického řešení	50
4.2.	Ekonomické zhodnocení	52
5.	Závěr	54

1. Ú V O D

Současná fáze vývoje naší společnosti vyžaduje v intencích usnesení XVI. sjezdu KSČ k posílení úlohy vědeckotechnické a ekonomické revoluce zaměřit se na zdokonalování a zavádění nových a úsporných technologií. Úspory a šetření všech druhů energií a materiálů se stává nutnou potřebou ve všech státech. Palivové i surovinové zásoby jsou omezené a proto je nutné jít cestou úsporných opatření a hledání náhrad.

Velice efektivně se zde mohou uplatnit právě moderní technologické principy renovace opotřebovaných součástí strojů a zařízení. Renovace náhradních dílů má značný celospolečenský význam, protože snižuje náklady na opravy strojů, šetří nové náhradní díly, šetří výchozí materiál.

Renovace významně zasahuje do všech oblastí našeho průmyslu. její rozvoj je ovlivněn druhem výrobního programu a největší rozšíření se uplatňuje v organizacích zabývajících se komplexní opravárenskou činností. I zde musí v budoucnosti dojít k určité centralizaci renovace, ke specializaci pracovišť a tím ke zprůmyslnění prováděné činnosti.

Při zavádění renovace je nutné si uvědomit, že nové metody vyžadují nákladná zařízení a specifické přídavné materiály, jejich využití pak předpokládá podrobný rozbor renovovaných dílů a důkladný technologický projekt pracoviště, případně komplex renovačního střediska. Nelze opomenout ani ekonomickou stránku renovace, která nejde stanovit pomocí běžných hledisek. Skutečností však zůstává, že renovace je ve většině případů efektivní a že její význam je celospolečenský. Vždyť každá opotřebovaná součást má množství ploch i vlastností, které

své funkční schopnosti neztratily a mohou se dále využívat. Renovace je progresivním typem obnovy místo výroby nových náhradních dílů.

Podnik, který nevyužívá technických vymožeností, jako jsou bezesporu pokrokové technologie oprav včetně renovace opotřebených ploch součástí, vynakládá zbytečně velký objem svých prostředků na pořizování nových náhradních dílů. Tím klesá účinnost samotné výroby opravárenské organizace a snižuje se celková efektivnost. Takový podnik zaostává a nevytváří dostatečné předpoklady k plnění výrobních úkolů.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Současný stav renovace v n.p. ČSAO Hradec Králové.

Renovace v ČSAO Hradec Králové má již dlouholetou tradici a je na vysoké úrovni. Používá se řada renovačních metod, které jsou neustále rozvíjeny a zdokonalovány. Jsou uplatňovány progresivní svařovací a navařovací technologie s použitím moderních strojů a zařízení, nanášení plastických hmot a některé chemické prostředky.

Renovací je také řešen nedostatek některých náhradních dílů tzv. úzkoprofilových. Renovace je přínosem pro celé národní hospodářství z hlediska úspory energie, základních surovin a živé práce, které by musely být použity pro výrobu nových náhradních dílů.

V podniku ČSAO Hradec Králové se renovuje celkem 1200 druhů součástí pro nákladní i osobní vozidla. Celkový počet renovovaných dílů dosahuje cca 240 tis. kusů za rok a tím jsou nahrazeny nové díly v ceně 35 mil. Kčs. Renovace je v současné době neodmyslitelnou součástí auto-opravářské praxe zajišťující vysokou efektivnost podniku.

Současný stav techniky a technologie umožňuje používání řady renovačních metod, kterými lze renovovat značnou část opotřeбенých součástí automobilů.

Nejrozšířenější renovační metodou je svařování a navařování, které představuje více než 80 % všech renovačních zásahů a je prováděno obalenými elektrodami, v ochranné atmosféře plynů a práškovými metodami.

2.2. Stručný přehled používaných metod renovace

1. svařování obalenými elektrodami

a. svařování rámu vozidel, karosářských dílů a pod. elektroda-

mi E-B 121, E-B 123, E-B 125.

- b. Svařování dílů obtížně svařitelných, např. svařování dílů převodovek, hřídelů a nábojů z nízkolegovaných ocelí elektrodami E-B 417, E-B 456.
- c. Navařování zubů a drážek ozubených kol a hřídelů elektrodami E-B 511.
- d. Svařování a navařování litinových skříní a součástí elektrodami E-S 716, E-B 723.

2. Svařování v ochranné atmosféře plynů.

- a. Svařování a navařování rotačních součástí na polohovadle, svařovacími poloautomaty WSP 600 nebo WLSP 350 v ochranné atmosféře CO_2 , $CO_2 + Ar$.
- b. Automatické navařování s osovou vibrací drátu rotačních součástí na polohovadle /nelze svářet ručně/.

3. Práškové navařování v kyslíko-acetylenovém plameni systém ROTOTEC a VÚZ Bratislava.

4. Další používané renovační metody.

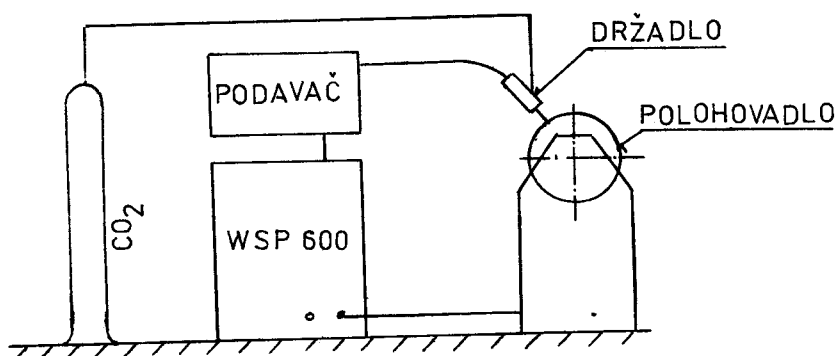
- a. Tvrdochromování kluzných i pevných uložení, cementovaných a kalených dílů, hydraulických pístnic a pod.
- b. Renovace součástí nanesením vrstvy polyamidů na součásti pro uložení valivých ložisek, kluzná uložení pro malé obvodové rychlosti i ochrana povrchu proti poškození např. torsních tyčí.
- c. Renovace na opravárenské rozměry s použitím abnormálních ložisek, abnormálních lož.váleček, jehlových váleček a pod.
- d. Sponkování litinových skříní systém METALLOCK nebo tzv. svařovanými jehlami.

- e. Nahrazování části opotřebeného dílu např. spojovacího drážkování vyrobeným polotovarem a jeho přivaření k původní části.

Uvedenými metodami je charakterizován hlavní renovační zásah, který ve většině případů vyžaduje pečlivou přípravu např. pískováním, obráběním, odmašťováním a po vlastním renovačním zásahu dokončovací operace.

2.2.1. Naváření svářecími poloautomaty WLSP 315 a WSP 600 v ochranné atmosféře plynů.

Princip : Přídavný drát je holý případně poměděný pro snadnější přechod el. proudu do drátu. Posuv drátu je zajištěn mechanicky podavačem. Oblouk vzniká mezi drátem a navařovaným předmětem a svarová lázeň a kov odtavují se z přídavného drátu je chráněn ochrannou atmosférou. Svařovací držadlo je vedeno ručně nebo mechanicky, svařovaný díl je případně upnut v polohovadle. (1)



Obr.1. Schema automatického navařování v ochranné atmosféře.

Technologické podmínky.

Svařovací proces v ochranné atmosféře nemá v celém rozsahu jednotný charakter. Je to způsobeno tím, že do určité hod-

noty svařovacího proudu svarový kov přechází do tavné lázně při procesu zkratovém a od určité hodnoty nastává proces bezzkratový. Při bezzkratovém procesu svařování nedochází ke zkratům mezi kapkami oddělujícími se od elektrody, při zkratovém procesu svařování alespoň některé kapky odtavují se elektrody způsobují zkrat mezi elektrodou a svarovou lázní. Mezi oběma procesy je tzv. přechodové pásmo, kterému se zpravidla vyhýbáme. Hlavním praktickým kritériem dobrého svařování je velikost rozstříku kovu. (1)

Přídavné materiály.

Ochranná atmosféra CO_2 má oxidační charakter, proto mají přídavné materiály zvýšený obsah dezoxidačních prvků Mn a Si. (2)

Dráty pro svařování ocelí třídy 11 C-113 až C-135.

Chemické složení - přísady C, Mn, Si.

Dráty pro svařování nízkolegovaných ocelí tř. 13 až 16 C-204 až C-215, C-312, C-321, C-508.

Chemické složení - přísady C, Mn, Si, Cr, Ni, Mo, Ti, V. (3)

Dráty pro zvláštní účely.

Tvrdonávarový drát UNION 600 IG, směrné chemické složení v %
0,46 C, 3,17 Si, 0,42 Mn, 9 Cr.

Tvrlost návaru 57 HRc až 62 HRc.

Tvrdonávarový drát je možno aplikovat na všechny druhy i obtížně svařitelných ocelí.

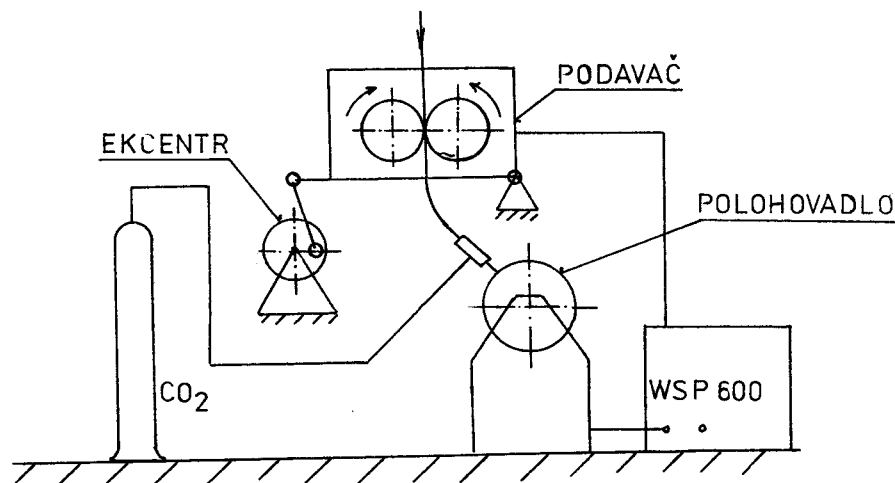
Volba přídavných materiálů pro sváření a naváření v ochranné atmosféře závisí na jakosti základního materiálu, požadovaných vlastnostech a rámcově je nutné se řídit doporučením výrobce.

Příklad použití v ČSAO Hradec Králové.

Výkyvná polonáprava T-148, vymačkané plochy pro kuželíková ložiska, zničený závit M 95 x 1,5
základní materiál 12 022, navařeno drátem C-214 ϕ 1,2 v CO₂.

2.2.2. Vibrační navařování automatem NVE 302.

Princip : Přídavný drát je veden podavačem přes svářecí hubici, která pomocí excentru vibruje a drát vykonává kmitavý pohyb od 0 do 100 Hz směrem k povrchu navařovaného materiálu. Charakter tohoto svařovacího procesu umožňuje navařovat při malém el.výkonu, proto lze navařovat válcové plochy malých průměrů a dochází k menším deformacím i tepelnému ovlivnění základního materiálu. Vibrační navařování je určeno pro automatický provoz, navařování nelze provádět ručně.



Obr.2. Schema vibračního navařování.

Technologické podmínky.

Podmínky svařovacího procesu jsou stejné jako u naváření v CO₂ (viz 2.2.1.) tzn., že je nutné svářet v oblasti zkratové nebo bezzkratové a zásadně se vyhnout přechodné ob-

lasti, při které dochází k velkému rozstříku svarového kovu. Protože se vibračně navařuje většinou při nízkých parametrech, použití je prakticky jen ve zkratové oblasti.

Přídavné materiály.

Použití přídavných materiálů je stejné jako ve stati 2.2.1.

Příklady použití v ČSAO Hradec Králové.

- Hřídel kuželových pastorků T-148, opotřebená kluzná plocha a závit M 65 x 1,5 ,
základní materiál 14 240, navařeno drátem C-508 ϕ 1,2 .
- Příčný hřídel kloubu, opotřebená plocha od jehlových válečků ϕ 63 ,
základní materiál 14 220.4, navařeno tvrdonávarovým drátem UNION 600 IG ϕ 1,2 .
- Pouzdro ložisek T-148, opotřebená kluzná plocha ϕ 220 ,
základní materiál 11 523 nebo zbytky původní výstelky,
navářeno drátem Cu Sn 8 ϕ 1,4 v ochranné atmosféře Ar.

2.2.3. Práškové navařování - systém ROTOTEC

Princip : Prášek je veden ve speciální pistoli (ROTOTEC 80) do neutrálního kyslíkoacetylenového plamene a z 200 mm vzdálenosti je vrhán na téměř studenou součást (20 až 200° C) s upraveným povrchem k naváření. Práškové částice se během letu v plameni roztaví a přivařují se k povrchu (mikrosvary) .

Příprava povrchu navařeného dílu.

Součást musí být před navařením dobře odmaštěn (trychloetylén) , rotační součást osoustružena, aby byly odstraněny oxidy. Dále se vyřeže oblý závit stoupání 0,8 mm. Na takto upravený

povrch se provede vlastní naváření, které musí být zahájeno nejdéle za 2 hod., aby na povrchu nevznikly oxidy nebo zaprášení.

Technologie naváření.

První vrstva (cca 0,1 mm) je navařena práškem XUPER BOND jako základní oddělovací pod veškeré funkční vrstvy.

Další funkční vrstvy se nanáší práškem podle potřeb - ných vlastností od tvrdosti 20 HRC do 60 HRC (DUROTEC) nebo barevnými kovy, výstelkami a pod.

Praktické použití v ČSAO Hradec Králové.

Renovace unikátních a drahých součástí, u kterých nelze provádět navařování v CO₂, např. klikové hřídele (12 060), nanášení výsterek atd.

Přídavné materiály.

Prášky v technologickém balení, jejich přesné složení výrobce neudává.

Výrobce : CASTOLIN - Švýcarsko

2.3. Výrobní postup hřídele zadní osy.

2.3.1. Obecná část

Vozy Tatra 148 jsou svou konstrukcí předurčeny pro provoz v terénních i klimaticky extrémních podmínkách. Jejich nasazení při stavbách vodních děl a pozemních komunikací v sibiřských podmínkách Sovětského svazu i v polopouštním klimatu států středního východu je obvyklé.

Unikátní páteřová konstrukce podvozku T-148 a pohon všech kol má svoje přednosti z hlediska průchodnosti terénem.

Celý podvozek je sešroubován z centrální roury, příčníků a středů náprav vodotěsně, přičemž veškeré pohony jsou uvnitř, proto se může dlouhodobě pohybovat pod vodou. Výkyvné polonápravy těsně k centrální části speciálními gumovými měchy zajišťují téměř neustálý styk jednotlivých kol s povrchem terénu.

Hřídel zadní nápravy, které se týká tato práce je posledním přímým hnacím elementem kol, tudíž přenáší i největší točivý moment. Konstrukce a výrobní postup je značně náročný, protože definovat namáhání jednotlivých elementů při záběru všech 6-ti kol na nerovném terénu a v rozdílných adhézních podmínkách je obtížné. Proto jsou prováděny dlouhodobé ověřovací zkoušky s vyhodnocením výsledků event. provedeny konstrukční změny.

2.3.2. Základní údaje o výrobě hřídele zadní osy. (4)

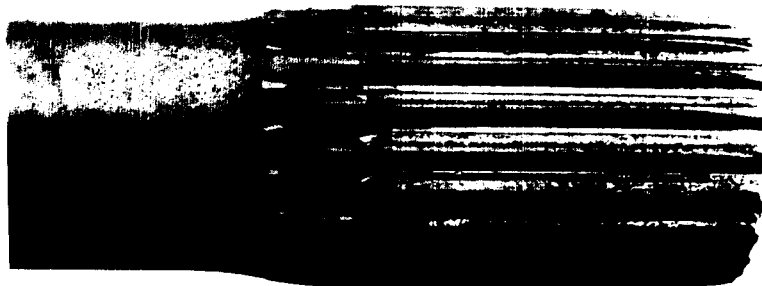
- základní materiál 14 230.0
- výchozí polotovár-zápustkový výkovek V-6-138.1.34.10-1
- a. Povrch hřídele soustružen na kopírovacím poloautomatu KDM 9/125 podle šablony
- b. Vrtání 10 otvorů ϕ 18 D 12 na vyvrtávacím stroji JUS AV 071
- c. Válcování evolventního drážkování 60 x 2,5 d 9 na hotovo na válcovačce GROB.
- d. Kontrola na trhliny - INKAR a odmagnetování.
- e. Kalení povrchu a popouštění
 - upnutí 2 kusů hřídelů přírubou dolů na kalícím stroji, ohřev pomocí induktoru v SF poli 2,25 Hz, kalení vodní sprchou na hloubku 6 až 8 mm a tvrdost 48 až 54 HRC, na drážkování je povoleno snížení tvrdosti na 45 HRC.
 - Kalení probíhá podle stanoveného programu automaticky

na zařízení EMA 2 - Siemens.

- popouštění v šachtové peci KPOA 38/15 při 300 až 310°C s výdrží 150 min., chlazení na vzduchu.
- f. Rovnání v přípravku na lise CDC 30, házivost drážkování $\pm 0,1$ max., dřík hřídele $\pm 0,5$ max. příruby 0,2 max.
- g. Kontrolní měření tvrdosti dle Rockwella u 50% hřídelů.

2.4. Charakter a rozsah opotřebení hřídele.

Opotřebení hřídele zadní osy od přenášeného kroutícího momentu se projevuje výhradně otláčením evolventního drážkování. Případy havarovaných /ukroucených/ hřídelů nejsou běžně zaznamenány. Pokud dojde k poškození hřídele mimo oblast drážkování je to vždy vlivem ohnuté výkyvné polonápravy čímž hřídel zadní osy je namáhána navíc ohybem a po určité době dojde k překroucení /prasknutí/. Tyto případy se dle vyjádření pracovníků TK vyskytují přibližně 3 až 5 x ročně, což činí při celkové produkci 2000 ks oprav /tj. 4000 ks hřídelů/ 0,1 % výskytu. Opotřebené drážkování nad stanovenou mez se dle údajů THN /technicko - hospodářská - norma/ vyskytuje u 50 % hřídelů tj. 2000 ks ročně.



Obr. 3 Hřídel zadní osy

Na hřídel je přenášen točivý moment evolventním drážkováním z náboje talířového kola v délce 100 mm, drážkování přechází v kruhový profil $\varnothing 53$ v délce 700 mm, který radiusem R 20 přechází do unášecí příruby z níž je deseti šrouby M 18 na $\varnothing 205$ unášen náboj talířového kola.

2. 4. 1. Výpočet maximálního krouťícího momentu

Nákladní vozidlo T-148 je určeno především pro provoz v terénních podmínkách kde dochází u jednotlivých kol k různým adhezním podmínkám i k nerovnoměrnému zatížení. Předpokládám, že za nejnepříznivějších podmínek jsou v záběru dva hřídele při zablokovaných diferenciálech zadních náprav, je zařazen I. převodový stupeň v převodovce a v přídatné převodovce je zařazen redukováný převod.

Výpočet celkového převodu

$$\begin{aligned}
 i_p &= \text{převodový poměr I. stupně} \dots\dots 9,97 \\
 i_r &= \text{redukováný převod} \dots\dots\dots\dots\dots 2,20 \\
 i_z &= \text{stálý převod zadní nápravy} \dots\dots 3,39 \\
 i_c &= \text{celkový převod} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (6)
 \end{aligned}$$

$$i_c = i_p \cdot i_r \cdot i_z = 74,356 \quad /1/$$

Točivý moment na hřídel zadní nápravy

$$\begin{aligned}
 M_{k_m} \text{ max.} &= \text{největší točivý moment motoru} \dots\dots 813 \text{ Nm} \\
 Z &= \text{počet hnacích hřídelů v záběru} \dots\dots\dots\dots\dots 2 \\
 i_c &= \text{celkový převod} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 74,356
 \end{aligned}$$

η = mechanická účinnost..... 0,75

Mk_h max. = největší točivý moment na 1 hřídel

$$Mk_h \text{ max.} = \frac{Mk_m \text{ max}}{Z} \cdot i_c \cdot \eta = 22670 \text{ Nm} \quad /2/$$

2.4.2. Pevnostní poměry na drážkování

Výpočet únosnosti dle ČSN 01 4950

Kontrola únosnosti evolventního drážkování dle ČSN 01 4951

$$D = 0,055 \text{ m} \quad m = 2,5 \quad p_d = 2 \cdot 10^8 \text{ Pa} \quad \varphi = 0,75$$

$$b_2 = 0,1 \text{ m} \quad R_m = 1,45 \cdot 10^9 \text{ Pa} \quad z = 22 \quad Mk = 22670 \text{ Nm}$$

Namáhání zubů přenášeným kroutícím momentem je trojí:

a/ ohybem /normální napětí od ohybového momentu/

b/ smykem /tečné napětí od posouvající síly/

c/ tlakem

Obvodová síla na jeden zub

$$F = \frac{2 \cdot Mk}{\varphi \cdot D \cdot z} = \frac{2 \cdot 22670}{0,75 \cdot 0,055 \cdot 22} = 49961 \text{ N}$$

Namáhání zubu ohybem

$$S_{sf} = 2,17 \cdot m = 2,17 \cdot 2,5 = 5,425 \text{ mm} = 5,425 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$h_f = 1,1 \cdot m - 0,05 = 1,1 \cdot 2,5 - 0,05 = 2,7 \text{ mm} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{6 \cdot F \cdot h_f}{b_2 \cdot S_{sf}^2} = \frac{6 \cdot 49961 \cdot 0,027}{0,1 \cdot 0,005425^2} = 2,75 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{ko} = 0,85 \cdot R_m = 0,85 \cdot 1,45 \cdot 10^9 = 1,23 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

koeficient bezpečnosti namáhání v ohybu k_o

$$k_o = \frac{\sigma_{ko}}{\sigma} = \frac{1,23 \cdot 10^9}{2,75 \cdot 10^8} = 4,48$$

Namáhání paty zubu smykem

$$\tau = \frac{3 \cdot F}{2 \cdot b_2 \cdot S_{sf}} = \frac{3 \cdot 49961}{2 \cdot 0,1 \cdot 0,005425} = 1,38 \cdot 10^8 \text{ Pa} \quad /9/$$

$$\tau_k = 0,45 \cdot R_m = 0,45 \cdot 1,45 \cdot 10^9 = 6,525 \cdot 10^8 \text{ Pa} \quad /10/$$

koeficient bezpečnosti namáhání ve smyku k_s

$$k_s = \frac{\tau_k}{\tau} = \frac{6,525 \cdot 10^8}{1,38 \cdot 10^8} = 4,73 \quad /11/$$

Namáhání zubu na otlačení

$$h_n = v_1 + v_2 \quad /14/ \quad v_1 = 0,4 \cdot m - 0,05 \quad /12/$$

$$v_2 = 0,5 \cdot m \quad /13/$$

$$h_n = 0,9 \cdot m - 0,05 = 0,9 \cdot 2,5 - 0,05 = 2,2 \text{ mm} = 0,0022 \text{ m} \quad /15/$$

$$p = \frac{F}{b_2 \cdot h_n} = \frac{49961}{0,1 \cdot 0,0022} = 2,27 \cdot 10^8 \text{ Pa} \quad /16/$$

$$p_D = 2 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

Není splněna podmínka $p \leq p_D$

Kontrolní výpočet i praktický provoz naznačují, že dražkování hřídele zadní osy je za mimořádných podmínek namáháno extrémně na otlačení. Vstupní hodnoty výpočtu tj. počet hřídelů zadní osy v záběru a mechanické ztráty jsou teoretické, ani podle dokumentace výrobce nebylo možno konkrétní údaje zjistit.

2.5. Hlavní kritéria volby renovačního zásahu

2.5.1. Technologický postup opravy s renovací součástí (7)

Při opravě všech výrobních, dopravních, zemědělských a stavebních zařízení a strojů se po demontáži na součásti tyto třídí obecně na dvě základní skupiny. Do první patří součásti dobré nepoškozené, jejichž opotřebení nepřesáhlo dovolenou mez. Jsou to součásti které je možno remontovat bez jakéhokoliv opravářského zásahu.

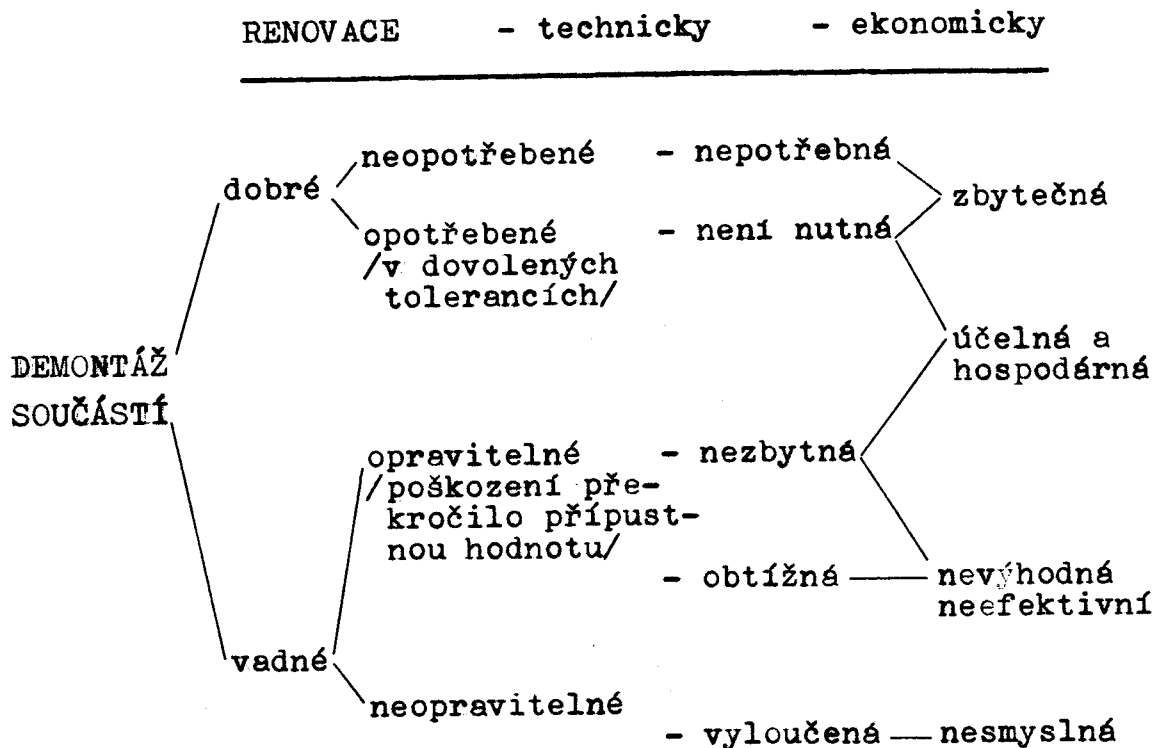
Do druhé skupiny pak patří vadné součásti, jejichž opotřebení nebo poškození překročilo dovolenou hodnotu. Tyto součásti se mohou vrátit do provozu pouze po provedené opravě - renovaci.

Vadné součásti se dále třídí na dvě skupiny. podle technicko - ekonomických hledisek do první podskupiny patří součásti, u nichž je oprava renovací technicky možná i ekonomicky účelná. Často také neúčelná, ale zase nutná. Ve druhé podskupině jsou součásti, které se vyřazují do šrotu. Přesto se mnohdy i ty přes technickou obtížnost a neefektivnost renovují, nebo se alespoň některé jejich části výhodně použijí. Vyjíměčně jich lze použít i jako materiál na jiné menší součásti.

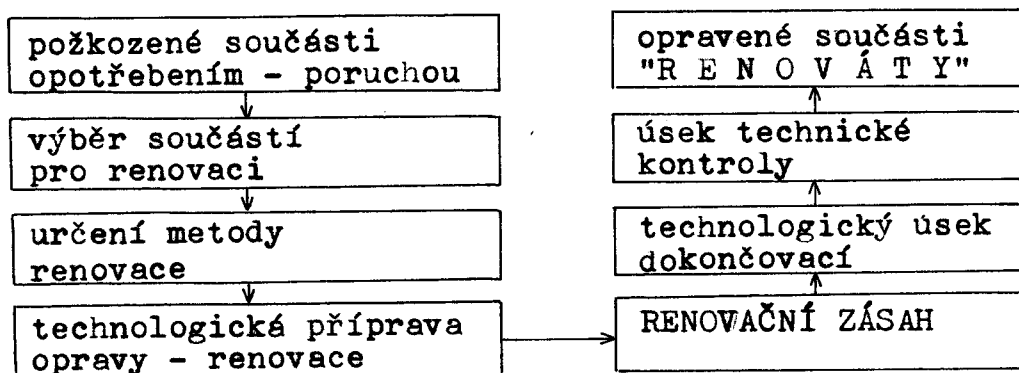
Z technického hlediska je základním úkolem renovace obnovit původní stav všech funkčních ploch opotřebené součástí. Renovace je fáze obnovení geometrického tvaru a jmenovitého nebo opravného rozměru při opravě součásti. Renovací se proto zde rozumí pouze sice hlavní, ale jen poškozenou plochu obnovující fáze technologického postupu / např. renovace navážením/ při opravě znehodnocené součásti. Vlastní

renovační zásah vyžaduje většinou důkladnou přípravu a hlavně pak precizní dokončovací operace.

Tabulka 1



Tab. 2 Schéma technologického postupu renovace součástí



2. 6. Stanovení technologického postupu

Podle charakteru opotřebení hřídele zadní nápravy T - 148 je nutné obnovit renovačním zásahem evolventní drážkování, které přenáší kroutící moment z náboje talířového kola na vozová kola zadních náprav.

Pro vlastní renovační zásah přicházejí v úvahu dvě alternativy:

A - nahrazení drážkového konce vyrobeným polotovarem a přivážením k neporušené části hřídele

B - opracováním vadného drážkování, navařením vhodným materiálem a opracování na původní tvar a rozměry

Vzhledem k charakteru namáhání a speciálnímu povrchovému tepelnému zpracování, které podstatně zvyšuje pevnostní hodnoty hřídele, bylo od alternativy "A" upuštěno. Dále byla již zpracována jen alternativa "B". Celý renovační zásah je rozdělen na 6 úseků, které jsou nutné k renovaci hřídele.

1. Výběr součásti k renovaci
2. Odstranění zbytků opotřebeného drážkování
3. Nanesení vrstvy přídavného materiálu navařením
4. Opracování návaru a zhotovení drážkování
5. Tepelné zpracování
6. Kontrolní operace

2. 6. 1. Výběr součástí k renovaci

Z charakteru opotřebení /2.4./ vyplývá, že všechny dobré součásti, kde opotřebení drážkování nepřesáhlo dovolenou mez byly remontovány bez renovačního zásahu. Ostatní opotřebené hřídele jsou tedy určeny k renovaci nebo do šrotu.

Na opotřebených dílech se provede technický nález, kterým se určí vhodnost k renovaci.

- a. házivost válcové části 0,5 mm max.
- b. házivost unášecí příruby 0,3 mm max.
- c. vizuální kontrola v oblasti přechodu válcové části do příruby a do drážkování, při podezření na trhliny použít kapilární zkoušku

Vadné hřídele se vyřadí z renovačního cyklu.

2. 6. 2. Odstranění opotřebovaného drážkování

Opracování opotřebovaného drážkování se provede soustružením uběracím nožem s SK na dvě třísky. Patní kružnice evolventního drážkování je na \emptyset 54 mm, proto volíme první hrubovací třísku na \emptyset 53 mm, tak aby špička nože nebyla namáhána přerušovaným řezem. Druhou třískou odsoustružíme povrch na \emptyset 52 mm s plynulým výběhem na \emptyset 53 válcové části hřídele za vlastním drážkováním. Soustružení na \emptyset 52 mm je voleno proto, aby po navařování nezasahovala přechodová zóna do patní kružnice drážkování.



Obr. 5 Opracovaná plocha hřídele pro naváření

2. 6. 3. Nanesení vrstvy přídavného materiálu

Pro nanesení přídavného materiálu na hřídel bylo nutné vyřešit:

- A - Předběžné stanovení technologie naváření
- B - Přídavný materiál
- C - Stanovení optimální navařovací technologie

ad. A. Pro předběžné stanovení navařovací technologie bylo bráno v úvahu:

- Dosažitelná kvalita návaru
- produktivita navařování

Z těchto hledisek bylo jednoznačně určeno, že navařování bude prováděno holou elektrodou v ochranné atmosféře CO_2 na rotačním polohovadle v automatickém cyklu.

ad. B. Přídavný materiál byl volen z hlediska

- Základního materiálu hřídele
- dosažitelnosti

Charakteristika materiálu hřídele zadní osy T - 148

Hřídel zadní osy je vyrobena z manganochromové oceli s přísadou bóru 14 230. Ocel je velmi dobře tvárná za tepla, ve stavu žíhaném je dobře obrobitelná. Ve stavu zušlechtěném je vhodná na značně namáhané součásti menších průřezů do průměru 60 mm. (13)

Kalení je doporučeno z teploty 830 - 860 °C do vody, součásti do průměru 20 mm do oleje. Oceli legované pouze man-

ganem jsou jen málo náchylné k popouštěcí křehkosti. V kombinaci s ostatními slitinovými prvky, především s chromem, zvyšuje však mangan velmi náchylnost oceli k popouštěcí křehkosti. Popouštěcí křehkost lze snížit rychlým ochlazením po popouštění. Proto je podle (13) doporučeno ochlazovat součásti z této oceli, po popouštění, ve vodě nebo v oleji. (14)

Chemické složení:

Tabulka 3

C	Mn	Si	Cr	Ni	B	P	S
0,28	0,90	max.	0,80	max.	0,001	max.	max.
až	až		až		až		
		0,35		0,40		0,035	0,035
0,35	1,20		1,10		0,005		

Hlavní vliv bóru spočívá v stabilizaci austenitu při kontinuálním rozpadu. Takže i normalizačně žíhaná ocel má bainitickou nebo bainiticko-martenzitickou strukturu a po normalizačním zpracování a žíhání se získá jemná sorbitická směs. (15)

Svařitelnost oceli 14_230

Jedním z kritérií svařitelnosti oceli je ekvivalentní obsah uhlíku, který závisí na chemickém složení oceli a tloušťce stěny.

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024 \cdot t \quad /17/$$

Tento vzorec platí pro uhlíkové a slitinové oceli třídy 10 - 16.

Ocel lze svařovat bez zvláštních opatření, jeli obsah uhlíku $C = 0,22 \%$ a ekvivalentní obsah uhlíku $C_e = 0,50 \%$. Oceli s větším obsahem uhlíku, popř. C_e , vyžadují zpravidla při svařování zvláštní opatření.

V tomto případě je $t = 60 \text{ mm}$. Chemické složení je dosaženo podle tab. 3.

Pro minimální obsah prvků:

$$C_e = 0,28 + \frac{0,9}{6} + \frac{0,8}{5} + \frac{0,4}{15} + \frac{0,035}{2} * 0,0024 \cdot 60 = 0,78$$

Pro maximální obsah prvků:

$$C_e = 0,35 + \frac{1,2}{6} + \frac{1,1}{5} + \frac{0,4}{15} + \frac{0,035}{2} + 0,0024 \cdot 60 = 0,96$$

Obsah uhlíku i uhlíkový ekvivalent převyšují hranici zaručené svažitelnosti tzn., že svařovací proces bude vyžadovat zvláštní opatření.

Podle chemického složení základního materiálu 14 230 byl vybrán vývojový drát C 508 /14 331/, který je zároveň dosažitelný z tuzemské výroby.

Chemické složení drátu C = 508 a návaru (20)

Tabulka 4

	C	Mn	Si	P	S	Cr
C 508	0,25	1,01	0,92	0,016	0,012	0,94
návar	0,20	0,78	0,75	0,020	0,013	0,85

Dosažitelná tvrdost návaru je po kalení 42 - 52 HRC. (20)

Doporučená teplota předehřevu podle (15) je 150 až 240 °C.
Doporučený předehřev ze ŽAZ Vamberk pro drát C 508 je 150 °C.

ad. C Pro optimální stanovení navařovací technologie byly provedeny experimentální návary ve třech variantách.

I. varianta - navařování provedeno poloautomatem WSP 600 v CO₂ na rotačním polohovadle /2.2.1./ v automatickém cyklu s předehřevem 150 až 200 °C. Navařování prováděno od konce hřídele směrem ke středu. Po prvním návaru chladnutí pod 200 °C potom proveden druhý návar na Ø 63 mm. Teplota kontrolována termokřídou VUSKA - 176.

Navařovací podmínky -

- navařovací napětí 24 V
- proud 140 A
- posuv drátu 2,5 m/min.
- stoupání svarové housenky 4 mm /ot

II. varianta - navařování v CO₂ vibračním automatem NVE 302 na rotačním polohovadle v automatickém cyklu, bez předehřevu. Navařování prováděno od konce hřídele směrem ke středu, po návaru chladnutí na 100 °C a pokračováno dalším návarem.

Navařovací podmínky - navařovací napětí 15 V

- proud 110 A
- posuv drátu 1,6 m/min.
- amplituda vibrace 1,5 mm
- stoupání svarové housenky 2,25 mm/ot

III. varianta - navařování prováděno s předehřevem 150 °C stejných navařovacích podmínek použito jako ve druhé variantě.

Mezi jednotlivými návary chladnutí pod 200 °C, kontrola teplot prováděna termokřídou VUSKA - 176.

Po experimentálním ověřování jsem provedl závěr, že při III. variantě navařování bylo dosaženo nejlepších výsledků. Podle této varianty byly navařeny hřídele pro ověřování zkoušky v praktickém provozu.

2. 6. 4. Opracování navařené části

Před odpracováním navařené části bylo nutné zásadně rozhodnout jakou technologií bude vyrobeno evolventní drážkování. Technologie válcování drážek za studena, kterou provádí výrobní závod, není v opravárenských závodech zavedena.

Navrhl jsem třískové obrábění drážek odvalovacím způsobem speciálními nástroji. Pro tyto účely byly v národním podniku TOS Čelákovice vyrobeny speciální odvalovací frézy, $M = 2,5$ s úhlem záběru $\alpha = 30^\circ$ se sníženým ozubením. Rozměry válcové části hřídele pro drážkování jsem výkresově upravil pro třískové obrábění.

Postup zpracování:

1. Upnutí mezi hroty, zajištění unašeče /soustruh SU 18/1250/.
2. Soustružení povrchu na $\emptyset 59,4$ h 10 .
3. Soustružení radiusu $R = 100$ s plynulým výběhem do válcové části hřídele $\emptyset 53$.
4. Zarovnání čela a sražení hrany $2 \times 45^\circ$.
5. Kontrola.
6. Frézování evolventních drážek
- počet drážek 22

- modul 2,5
- úhel záběhu $\alpha = 30^\circ$
- kontrolní míra přes 5 zubů 34,418 $\begin{matrix} -0,04 \\ -0,11 \end{matrix}$

7. Kontrola.

2. 6. 5. Tepelné zpracování

A. Povrchové kalení

Povrchové kalení součástí je z ekonomických důvodů velmi výhodné při sériové výrobě tvarově jednoduchých dílů, např. čepů, hřídelů i ozubených kol a pod. Při povrchovém kalení dílů je ohřev povrchu neobyčejně rychlý, neboť dosahuje rychlosti až několika set $^\circ\text{C s}^{-1}$. Čím větší je rychlost ohřevu tím vyšší musí být teplota potřebná k dosažení dostatečně homogenního austenitu. (8)

Po dosažení potřebné austenitizace povrchových vrstev součásti rychle ochladí podle druhu oceli ve vodě, oleji proudem vzduchu a pod. Hloubka povrchově zakalené vrstvy závisí na hloubce austenitizačního ohřevu. Martenzitická struktura zakalené vrstvy pozvolna přechází přes přechodové struktury do zpravidla zušlechťeného jádra.

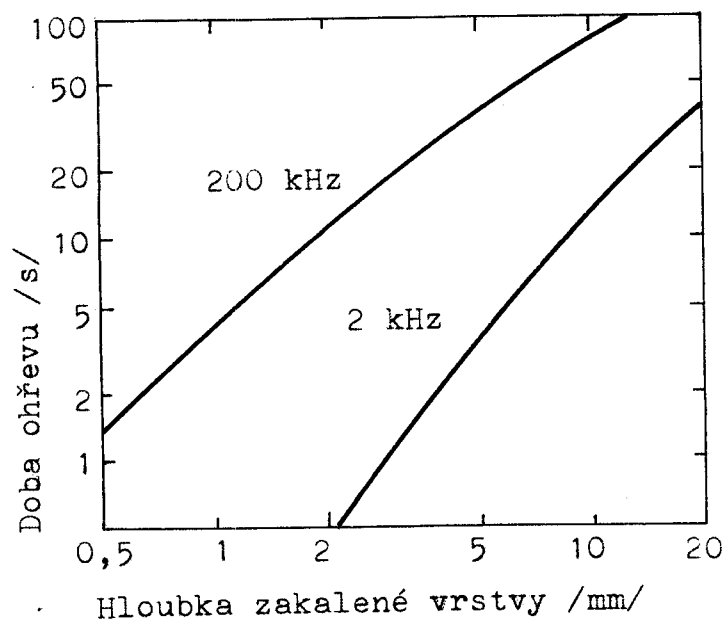
Tvrдость povrchově kalených součástí závisí na chemickém složení oceli a především na obsahu uhlíku. Značné strukturální rozdíly mezi kaleným povrchem a nekaleným jádrem bývají příčinou velkých vnitřních pnutí, proto se obvykle povrchově kalené součásti ihned popouštějí.

Podle způsobu ohřevu součástí lze povrchové kalení rozdělit na několik skupin. Nejdůležitější jsou indukční kalení a kalení plamenem.

Indukční kalení

Nejrozšířenějším způsobem povrchového kalení je kalení indukční, které probíhá na různých kalících strojích ve spojení s vhodnými generátory. Povrchová vrstva kalené součásti se ohřívá indukovanými proudy střední nebo vysoké frekvence, pomocí induktoru, jehož tvar je přizpůsoben kalenému povrchu. Prochází-li induktorem střídavý proud, indukuje se v kalené součásti střídané magnetické pole a vznikají vířivé proudy. Intenzita magnetického pole a hustota vířivých proudů je na povrchu součásti největší a povrchová vrstva se při tom rychle ohřívá Jouleovým teplem. Zhuštění magnetického pole a vířivých proudů u povrchu /skinefekt/ je tím výraznější čím vyšší je použitá frekvence. (8)

Hloubka zakalené vrstvy závisí tedy na použité frekvenci a samozřejmě na rychlosti a době ohřevu.



obr. 6 Závislost hloubky zakalení při indukčním povrchovém kalení uhlíkové oceli na frekvenci a době ohřevu.

K indukčnímu ohřevu se používá různých energetických zdrojů od kmitočtu 50 Hz do 2 MHz. V kombinaci s kalícím strojem jsou nejčastěji používaným zařízením pro povrchové kalení ve strojírenských závodech.

Proud z generátoru se vede do vlastního ohřívacího ústrojí tj. induktoru. Je to měděná trubka, chlazená protékající vodou. Tvar induktoru musí co nejmenší vzdáleností sledovat tvar kaleného povrchu k zajištění co nejlepší indukční vazby mezi induktorem a předmětem. Při kalení sprchou jsou zpravidla v induktoru vyvrtány otvory 45° až 30° od svislé roviny směrem dolů, kterými voda vystřikuje na kalený povrch. Podle velikosti a tvaru kalené plochy se používá ohřevu postupného nebo integrálního za klidu nebo rotačního pohybu a posuvu. Postupné kalení za rotace je obvyklé u čepů, hřídelů a jiných válcových součástí. Proti ostatním způsobům tepelného zpracování má indukční povrchové kalení řadu předností. Při velmi rychlém ohřevu je okoujení povrchu nepatrné, zakalený povrch zůstává čistý a většinou nevyžaduje dalších úprav. Proces kalení lze snadno automatizovat a zařadit do výrobní linky. Proto je tento postup vhodný pro seriovou výrobu. (8)

Indukčního ohřevu se využívání i pro kování menších součástí, ohýbání trubek, předehřívání, žíhání, popouštění a pod.

B. Popouštění (8)

Zakalená ocel je křehká a náchylná k praskání. Aby se úroveň vnitřních pnutí snížila a zlepšila se houževnatost, musí po zakalení vždy následovat popouštění. Je to ohřev na teplotu 150 až 700°C . Popouštěním se snižuje rovněž tvrdost, pevnost

a mez kluzu. Pro popouštěcí teploty nad 250 °C se používá solné lázně, roztaveného olova nebo pecí s nucenou cirkulací atmosféry.

Hluboké prokalitenosti se dosahuje přísadami, zejména Cr, Mn, Ni a Mo. Jejich vliv se výrazně projevuje i při popouštění oceli. Zatímco u uhlíkových ocelí při vyšších teplotách popouštění tvrdost rychle klesá, s roustoucím obsahem slitinových prvků se pokles významně zpomaluje.

C. Povrchové kalení hřídele zadní osy

Povrchové kalení po opracování návaru bylo provedeno ve dvou variantách,

I. Varianta - kalení ve VF poli při 200 kHz za rotace s vodní sprchou. Kalení proběhlo v hloubce 1 až 2 mm. Kaleno jen evolventní drážkování /viz. experimentální část/.

II. Varianta - kalení ve SF poli při 2,25 kHz za rotace s vodní sprchou bylo provedeno ve výrobním závodě n. p. Tatra Bánovce, stejným postupem jako při výrobě /2. 3. 2./ Hloubka kalení 6 až 8 mm /viz. experimentální část/.

Popouštění provedeno v šachtové peci na 300 až 310 °C 150 min., po vyjmutí z pece chladnutí na vzduchu.

Po provedeném rozboru v experimentální části jsem určil II. variantu včetně popouštění za jedinou možnost technologického postupu kalení při renovaci.

2. 6. 6. Kontrolní operace

A. Vyrovnání hřídele zadní osy se provádí na hydraulickém lise

CDC 30 maximální házivost dříku je $\pm 0,5$ mm, boční házivost příruby 0,2 mm, házivost drážkování $\pm 0,1$ mm.

B. Kontrola tvrdosti se provádí u každého pátého kusu. Tvrdost se musí pohybovat v rozmezí 48 - 54 HRC. Minimální tvrdost drážkování je 44 HRC /v návaru/.

C. Kontrola hřídele na trhlinky zařízením INKAR po kontrole se hřídel odmagnetuje.

D. Hřídele se omyjí v ostřikovací pračce 3 % roztokem ALKONU K 12 s pasivačním účinkem a předají do meziskladu.

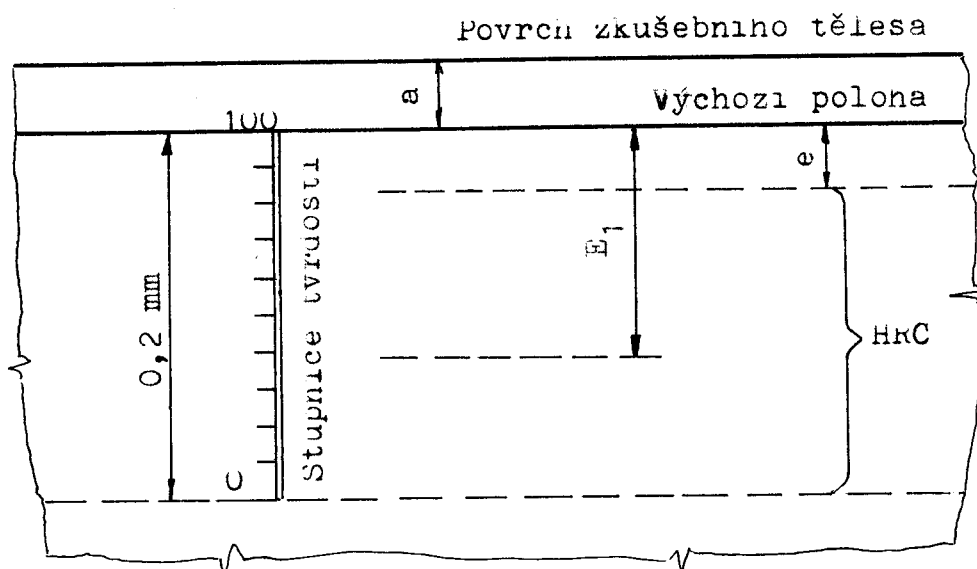
3. Experimentální část

3.1. Použité zkušební metody

3.1.1. Zkoušky tvrdosti

A. Rockwellova metoda (9)

Při metodě Rockwelově se do zkoušeného předmětu zatlačuje vnikací těleso, kterým je diamantový kužel se zaobleným hrotem $r = 0,20$ mm o vrcholovém úhlu 120° . Měří se hloubka vtisku, přičemž jednotkou tvrdosti je hloubka $0,002$ mm. Hloubka vtisku se měří od určité výchozí polohy vnikacího tělesa, které se dosahuje předběžným zatížením. (8)



Obr. 7 Postup při měření Rockwellovou metodou

a...Hloubka vniknutí působením předběžného zatížení

E_1 ...Zvětšení hloubky vniknutí působením přidavného zatížení

e...Trvalé zvětšení hloubky vniknutí po odlehčení přidavného zatížení. (9)

Indentor se předběžným zatížením $F = 98 \text{ N} / 10 \text{ kp}$ pomalu vtlačí do povrchu zkoušeného předmětu. Pak se nastaví stupnice na hloubkoměru do počáteční polohy a zatížení se zvolna zvětšuje na hodnotu předepsanou normou, tj. u diamantového kuželu $1471 \text{ N} / 150 \text{ kp}$. Po odlehčení zpět na základní zatížení odečteme na hloubkoměru přímo tvrdost ve stupních HRC.

Malá hloubka vtisku umožňuje měřit tvrdost tenkých součástí a povrchových vrstev. (8)

B. Vickersova metoda. (10)

Metoda Vickersova má jako vnikací tělísko čtyřboký jehlan o vrcholovém úhlu $136^\circ \pm 0,5^\circ$. Při tomto tvaru jsou vtisky geometricky podobné i při změně zátěžné síly v širokém rozsahu, takže zatížení lze volit prakticky libovolně. Tvrdost označujeme HV a vypočte se ze vzorce:

$$HV = \frac{1,8544 F}{d^2}$$

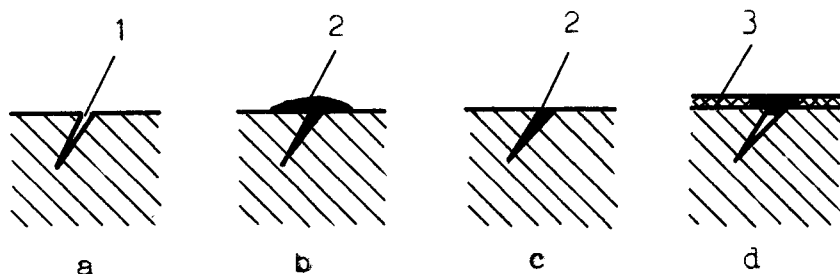
Délku "d" úhlopříčky vtisku měříme ve dvou kolmých směrech a pro střední hodnotu odečteme z tabulek tvrdost. Obvyklá zatížení jsou od $9,8 \text{ N} / 1 \text{ kp}$ do $980 \text{ N} / 100 \text{ kp}$. Doba zatížení se volí od 10 do 180 sec. podle tvrdosti zkoušeného materiálu. Vickersova metoda je přesnější, vyžaduje však, vzhledem k malým rozměrům vtisků, pečlivou úpravu povrchu /např. broušením/. (8)

3.1.2. Defektoskopické metody

A. Kapilární zkouška (11)

Kapilárních zkoušek se používá ke zviditelnění jem-

ných povrchových vad a trhlinek. Zkouška využívá kapilárních sil, které umožňují vniknutí vhodných indikačních kapalin do jemných povrchových nečistostí. Po setření se nanese na povrch vhodná detekční látka, která nasává indikační látku ze štěrbin a změnou barvy zviditelňuje výrazně povrchovou vadu. (8)



Obr. 8 Podstata kapilární metody. a - povrch před nanesením indikační kapaliny, b - po nanesení kapaliny, c - po otření povrchu, d - po nanesení detekční látky, 1- trhлина 2 - indikační kapalina, 3 - detekční látka.

B. Magnetická metoda prášková⁽¹²⁾

Tato metoda je jednou z nejpoužívanějších zkoušek pro zjišťování skrytých povrchových vad polotovarů a výrobků z feromagnetických materiálů. K indikaci vad se využívá změny magnetického toku, vyvolané vadami ve zkoušeném předmětu, který je za tímto účelem zmagnetován. Vady zvyšují podstatně magnetický odpor, takže v místě vady dochází ke zhuštění a zakřivení siločar, z nichž část vystupuje na povrch a tím vzniklý rozptylový magnetický tok vytvoří na obvodu vady magnetické póly.

K indikaci míst rozptylového toku se používá buď su-

chého feromagnetického prášku nebo detekční kapaliny, tj. řídkého oleje v němž je prášek rozptýlen. V místech vystupujícího rozptylového toku se feromagnetické částičky zachytí, takže průběh vady je jimi výrazně zobrazen. (12)

3.1.3. Metody zkoumání struktur

Ke studiu struktury na lomu či vyleštěné ploše vzorku slouží makroskopické pozorování a světelná nebo elektronová mikroskopie. Makroskopické vyšetření umožňuje pouze posouzení poměrně hrubých detailů struktury. Podrobný rozbor struktury lze provést jen mikroskopickými metodami.

A Makroskopické pozorování

Příprava vybrusu záleží většinou v obroušení, popř. hrubém vyleštění. K vyvolání makrostruktury se používá leptadel, která necháváme obvykle působit delší dobu, a tím vyvoláme hloubkové naleptání. K naleptání ocelí a litin se často používá 50% kyseliny chlorovodíkové, obvykle za horka. Tímto leptáním lze zviditelnit hrubší vady, necelistvosti, vycezeniny, trhliny a větší vměstky. Rovněž lze takto určit hloubky cementovaných a kalených vrstev. (8)

B Mikroskopické pozorování

Odebraný vzorek vyžaduje poměrně pracnou úpravu, při níž nesmí dojít k tepelnému nebo mechanickému ovlivnění struktury. Pracnost přípravy roste s velikostí vzorku. Proto se volí obvykle vzorky malé s plochou výbrusu asi do 5 cm². Pro mechanické leštění se používá nejjemnějších zrnitostí práškového kysličníku hlinitého. Leští se na otáčejícím se kotouči, potaženém plstí, sukem nebo sametem, který se navlhčuje jemně rozptýleným kysličníkem ve vodě.

Vhodně volená leptadla různě ovlivňují jak rozdílné strukturní složky, tak jednotlivá zrna téže složky, podle jejich krystalografické orientace vzhledem k rovině výbrusu. Jednotlivá zrna se tím naleptají do různé hloubky, tím vzniknou při šikmém osvětlení tmavé linie hranic zrn a povrch jednotlivých strukturních složek získá rozdílnou schopnost odrážet světlo. (8)

3.2. Laboratorní zkoušky

Pro ověřování jednotlivých variant řešení jsem určil jako kritické místo oblast hřídele, kde válcová část přechází do evolventního drážkování. Je to oblast teplem ovlivněné zóny s možnými zjevnými i skrytými vadami a strukturálními změnami. Zároveň jsem věnoval pozornost oblasti kolem hranice ztavení.

Hodnocení jednotlivých postupů renovace jsem prováděl podle průběhu tvrdosti v příčném průřezu v porovnání před a po renovaci a podle makroskopických a mikroskopických pozorování.

Laboratorní zkoušky jsem prováděl v metalurgické laboratoři ZVÚ Hradec Králové ve spolupráci s jednotlivými laboranty. Tyto laboratorní práce byly objednány n.p. ČSAO. Základní dokumentace /negativy/ je uložena v archivu laboratoře.

Makrosnímky byly prováděny na přístroji NEOPHOT 1, mikrosnímky na přístroji NEOPHOT 21. Výrobce KARL ZEISS JENA. Na negativy byly použity fotografické desky ORWO NP 21.

Měření tvrdosti podle Vickerse bylo prováděno na přístroji BRIVISOR 62,5. Výrobce: REICHERTER.

Měření tvrdosti podle Rockwella na tvrdoměru

ROCKWELL RB-1. Výrobce ŠKODA PLZEŇ.

Kapilární zkoušky prováděny přípravky ve spreji
INDICAL.

Odběr vzorků byl prováděn v renovačním středisku
n.p. ČSAO. Příčný řez oblastí drážkování byl veden cca 50 mm
od konce hřídele a podélný průřez v oblasti přechodu válcové
části na drážkování v délce cca 100 mm. Tím, že jednotlivé
vzorky jsou ze stejných oblastí, lze výsledky zkoumání srovnávat a určit tak nejlepší variantu.

3.2.1. Vzorek 1

Příčný a podélný řez oblastí drážkování hřídele na-
vařované v CO_2 s předehřevem 150 až 200°C.

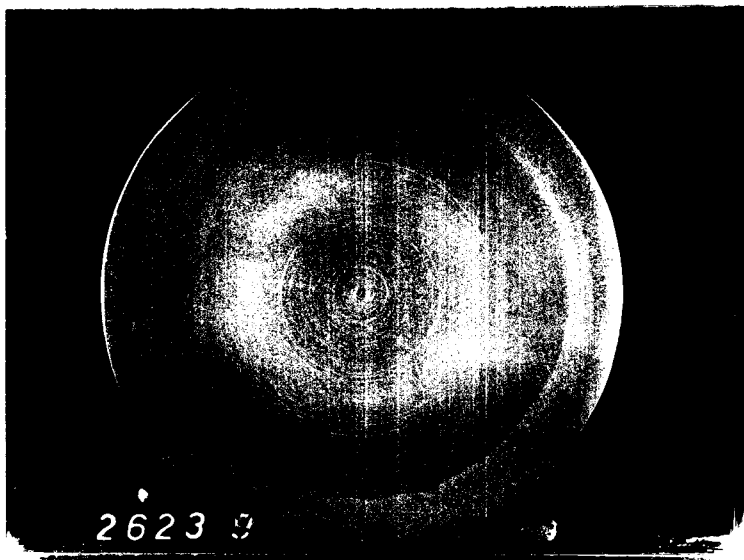
Přídavný drát C 508 ϕ 1,2 mm

Proud.....140 A

Napětí.....24V

Posuv drátu...2,5 m/min

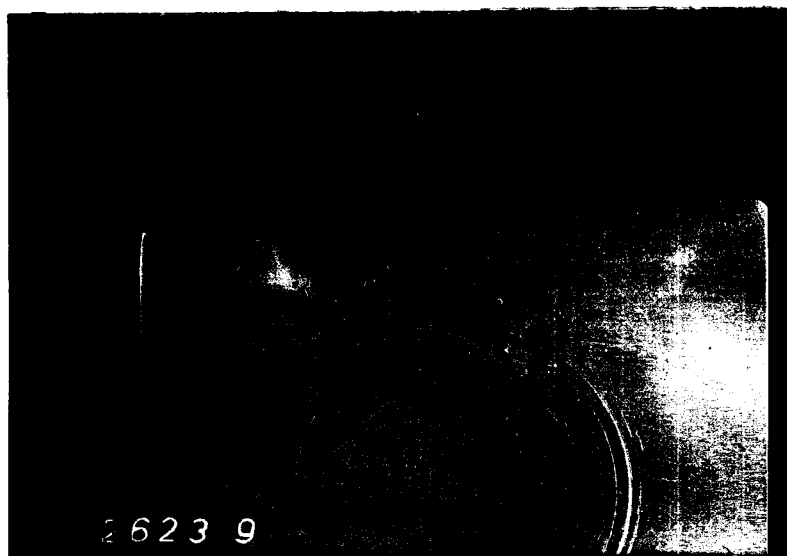
Počet vrstev....2



Obr.9 Příčný průřez, průběh tvrdosti v tab. 5

Na snímcích je patrná rozsáhlá teplem ovlivněná ob-
last. Návar je pravidelný po celém obvodu. Lze na něm pozoro-
vat dvě svarové vrstvy, ve kterých nebyly nalezeny žádné de-

fekty.



Obr. 10 Podélný průřez

Z naměřených hodnot /tab. 5/ tvrdosti dle Vickerse je zřejmé, že návar přechází plynule do základního materiálu bez vzniku tvrdých struktur. Avšak tepelným ovlivněním jádra zde dochází k výraznému poklesu tvrdosti a tím i meze pevnosti v tahu jádra.

Tab. 5

měř.	1	2	3	4	5	6	7
HV	182	179	187	193	181	176	161

Měření jsou provedena od povrchu ke středu se stejnými mezerami. Některé naměřené hodnoty v jádře jsou pod 188 HV tj. podle (16) $R_m = 640$ MPa, což je pod spodní hranicí výkresové hodnoty.

3.2.2. Vzorek 2

Vzorek z oblasti drážkování hřídele vibračně navařované v CO_2 bez předehřevu.

Přídavný drát C - 508 ϕ 1,2 mm

Proud 110 A

Napětí15 V

Posuv drátu...1,6 m/min

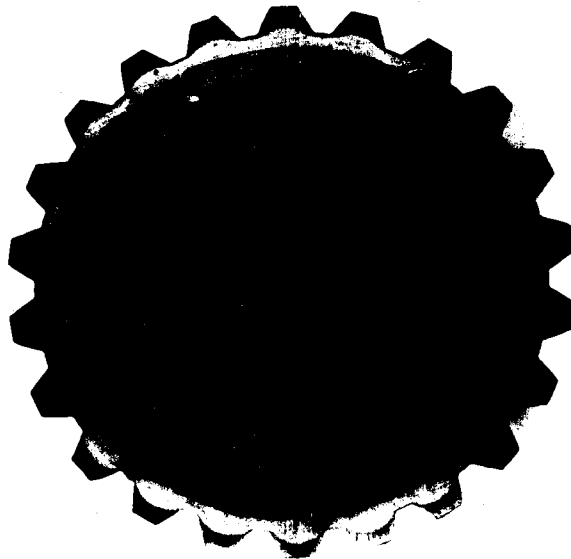
Amplituda kmitů ...1,5 mm

Kmitočet vibrace ... 70 Hz

Počet vrstev3

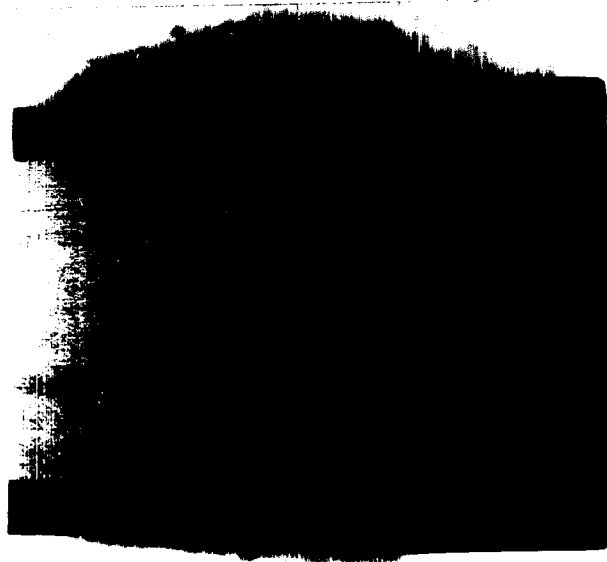
Kaleno vysokofrekvenčně 200 kHz

Na snímku /obr. 11/ je patrné, že jsou zakaleny pouze zuby drážkování, nikoliv 6 až 8 mm pod patní kružnici jak je předepsáno na výkrese (5) což je zcela nevyhovující. Je to způsobeno vysokým kmitočtem indukčního ohřevu. Návar je pravidelný po celém obvodu.



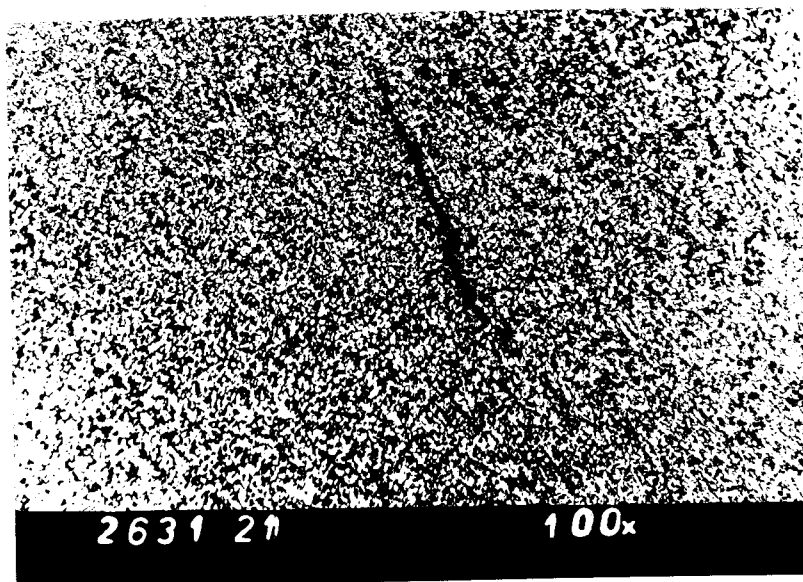
Obr. 11 Makrosnímek příčného řezu vzorku 2 /lab. označ. 3/

Makrosnímek podélného řezu vzorku 2 ukazuje, že teplem ovlivněná oblast leží v pásmu kalené vrstvy. V případě kalení do správné hloubky projde teplem ovlivněná oblast martenzitickou přeměnou a neměla by tedy výrazně ovlivňovat mechanické vlastnosti materiálu.



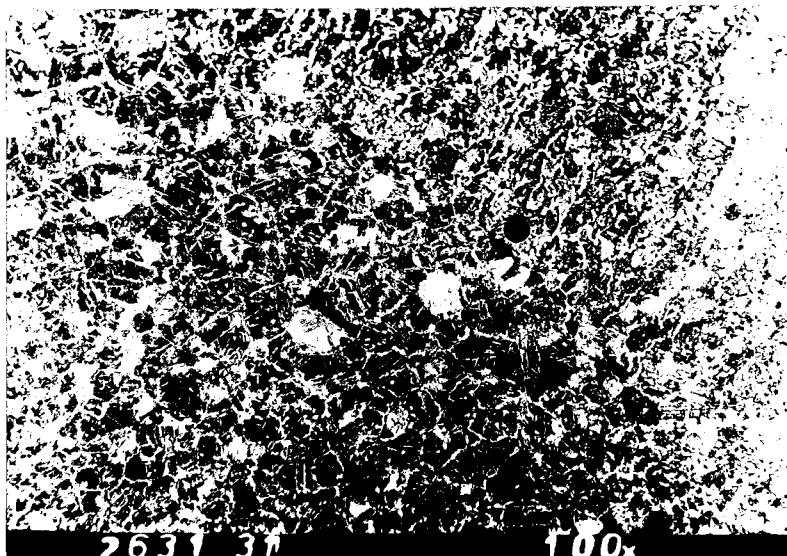
Obr. 12 Makrosnímek podélného řezu vzorku 2 /lab. označ. 3/

Při mikroskopickém pozorování byly nalezeny trhliny /obr. 13/ vyskytující se ve spodní vrstvě návaru. Trhlina má mezidendrický charakter. (17)



Obr. 13 Mikrosnímek trhliny /100x, Nital/

Pod návarem je Widmanstättenova struktura, podle (18) stupnice C - tab. č. 2-3. Mikrosnímek byl pořízen v místě výběhu návaru.



Obr. 14 Widmanstättenova struktura /100x, Nital/

Widmanstättenova struktura je nežádoucím druhem struktury oceli, protože je příčinou velké křehkosti (19)

3.2.3. Vzorek 3

Vzorek z oblasti drážkování hřídele vibračně navařované v CO_2 s předehřevem 150 až 200°C.

Přídavný drát C 508 ϕ 1,2

Proud 110 A

Napětí 15 V

Posuv drátu ... 1,6 m/min

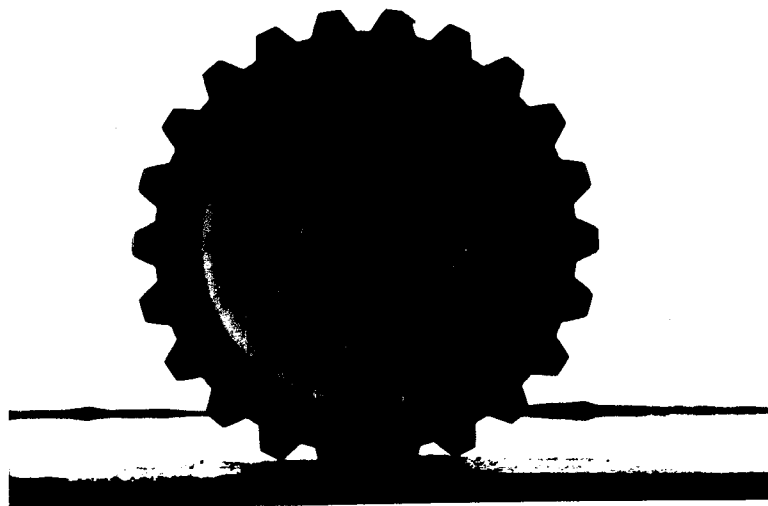
Amplituda kmitů ... 1,5 mm

Kmitočet vibrace ... 70 Hz

Počet vrstev ... 3

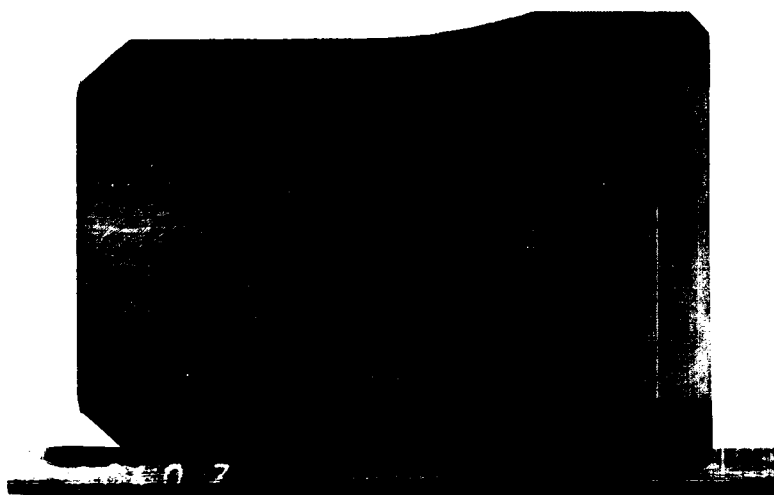
Středofrekvenčně kaleno při 2,25 kHz

Popuštěno při 300°C po dobu 150 min.



Obr. 15 Makrosnímek příčného řezu

Na makrosnímku /obr. 15/ lze odměřit hloubku kalení,, která je 6 mm a odpovídá předepsané hodnotě. (5) Tomu odpovídá i průběh tvrdosti /tab. 6/. V místě přechodu kalené vrstvy do jádra dosahuje materiál nejmenší tvrdost. Jeho mez pevnosti v tahu podle (16) zcela vyhovuje předepsané hodnotě.



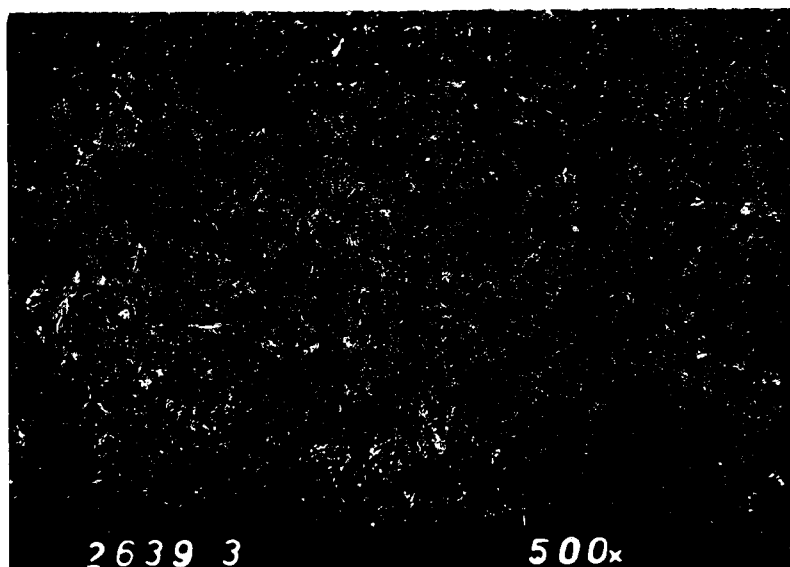
Obr. 16. Makrosnímek podélného řezu.

Tab. 6

vpich čís.	1	2	3	4	5	6
tvrdost HV	452	457	533	520	236	239

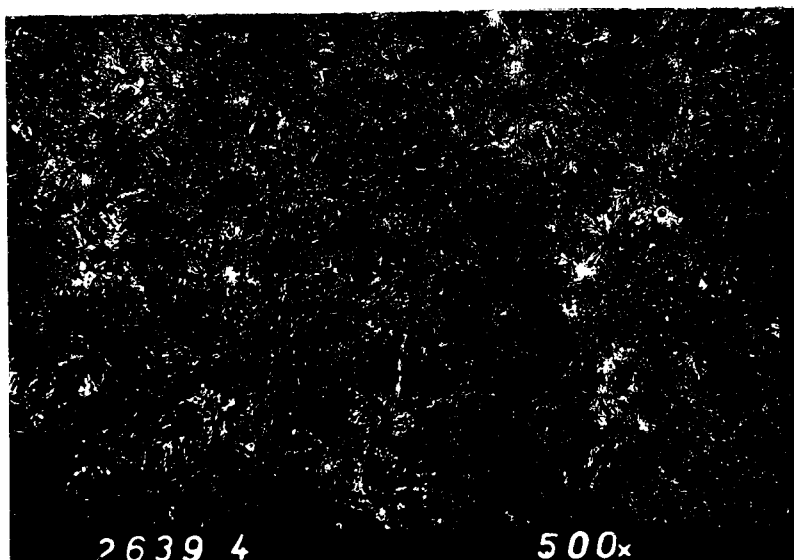
7	8	9	10	11	12
246	252	248	250	255	248

Na makrosnímku podélného řezu je vidět zcela plynulý průběh kalené vrstvy. V návaru nebyly nalezeny defekty. Pro kontrolu byly pořízeny dva mikrosnímky. První /obr. 17/ z oblasti základního materiálu a druhý /obr. 18/ z oblasti návaru. V obou případech se jedná o nízko popuštěný martenzit. V návaru jsou jehlice martenzitu hrubší.



Obr. 17 Mikrosnímek kalené vrstvy základního materiálu.

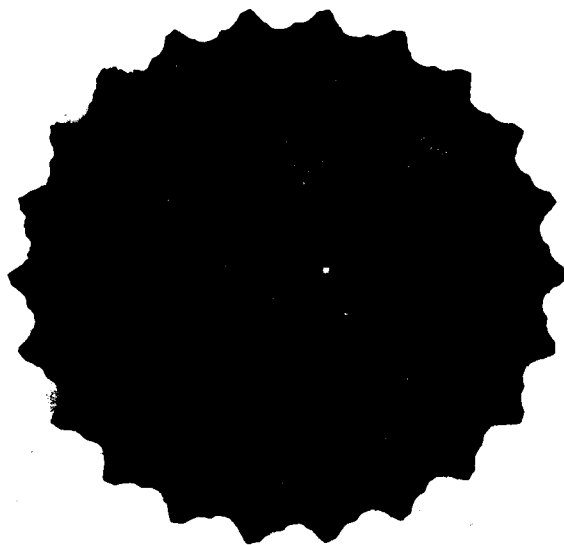
/ 500X, Nital/



Obr. 18. Návar /500x, Nital/

3.2.4. Vzorek 4

Vzorek z oblasti drážkování opotřebené hřídele před renovací. Středofrekvenčně kaleno při 2,25 kHz, popouštěno při 300°C po dobu 150 min. / obr. 19 a obr.20/

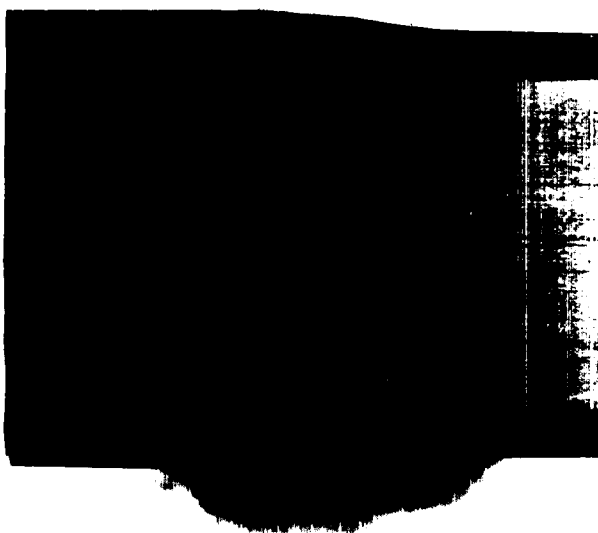


Obr. 19. Makrosnímek příčného průřezu s průběhem tvrdosti

Tab. 7

vpich čís.	1	2	3	4	5	6
tvrdost HV	564	527	523	454	227	237

7	8	9	10	11	12
239	235	246	236	230	221

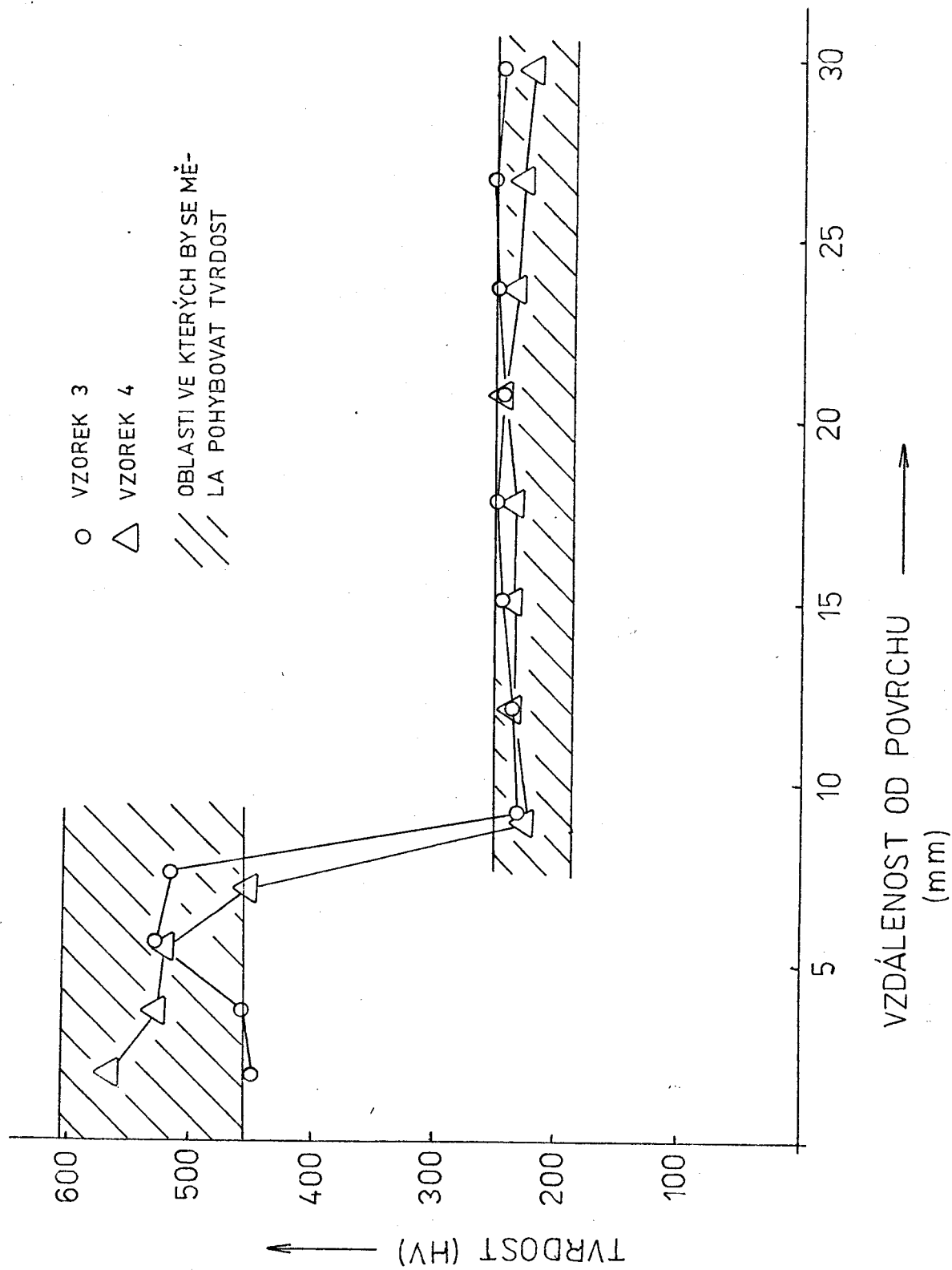


Obr. 20 Makrosnímek podélného řezu

Rozbor vzorku z nahodile vybrané hřídele před renovací byl proveden s hlediska dodržení předepsaných hodnot výrobcem a porovnání s renovovanou hřídelí. Hloubka kalené vrstvy pod patní kružnicí drážek je jen 4,5 mm a neodpovídá dokumentaci.

Tvrdost povrchové vrstvy je 51 HRC, což odpovídá dokumentaci. (5)

Tvrdost jádra hřídele a k tomu odpovídající mez pevnosti jsou v mezích výkresových hodnot.



Obr. 21 Průběh tvrdosti

4. Celkové zhodnocení renovačního procesu

4. 1. Zhodnocení technického řešení

Po zadání této závěrečné práce jsem se postupně seznamoval s renovačními metodami používanými národním podnikem ČSAO Hradec Králové. V tomto období jsem předpokládal, že DP bude běžnou technickou záležitostí, kterou budu schopen řešit bez vážných komplikací. Po prvních experimentech a po důkladném seznámení s výrobní dokumentací hřídele zadní nápravy jsem pochopil složitost celé práce a záludnosti renovačního procesu.

Vlastní renovační proces jsem rozdělil na čtyři hlavní okruhy technického řešení.

- A. Volbu vhodného přídavného materiálu.
- B. Technologii nanášení přídavného materiálu včetně nezbytných experimentů.
- C. Opracování před a po nanesení příd. materiálu.
- D. Tepelné zpracování.

ad A. Výběr přídavného materiálu pro naváření opotřebovaného drážkování byl omezen výrobním sortimentem drátů pro automatické a poloautomatické svařování v ochranné atmosféře plynů n. p. ŽAV Vamberk. Hlavním kritériem volby přídavného materiálu bylo chemické složení tj. obsah C a legovacích prvků před a po naváření z hlediska dalšího tepelného zpracování a výsledné pevnosti.

ad B. Navařovací technologie byla omezena stávajícím zařízením n. p. ČSAO Hradec Králové, který používá svařovací poloautomaty pro sváření v ochranné atmosféře plynů. Experimenty byly za-

měřeny na stanovení technologie, která umožňuje další třískové obrábění a vylučuje defekty návaru a přechodové zóny.

ad C. Opracování rotačních ploch se provádí soustružením plátkovanými noži SK. Drážkování se provádí ve výrobním závodě vysoceproduktivním válcováním. Aplikace této technologie nebyla možná proto jsem navrhl výrobu evolventního drážkování odvalovacím frézováním. Pro tyto účely byly zhotoveny speciální odvalovací frézy $m = 2,5$, $\alpha = 30^{\circ}$ se sníženým ozubením v n. p. TOS Čelákovice.

ad D. Klíčovým problémem renovačního procesu je povrchové kalení v SF poli ve frekvenci 2^{\pm} kHz, které odpovídá hloubce povrchového zakalení podle výrobní dokumentace. Toto velmi nákladné a energeticky náročné zařízení používají jen přední strojírenské podniky v ČSSR. Zakalení 11 ks hřídelů bylo provedeno ve výrobním závodě n. p. Tatra Bánovce n. Beb. na zařízení EMA 2, fy. Siemens, včetně popouštění v šachtové peci. Při další sériové renovaci bude toto kalení prováděno dále v kooperaci s výrobním závodem.

Jak prokazují laboratorní výsledky na ověření technologického postupu je renovační zásah vzhledem k daným podmínkám úspěšný. Pro ověření v provozu bylo v dubnu 1984 8 ks těchto hřídelů namontováno do dvou nákladních automobilů T - 148 S3 a budou sledovány technickou kontrolou. Po ujetí cca 10 000 km budou vymontovány ke konečnému schválení do seriové renovace.

4. 2. Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení renovace hřídele zadní osy T - 148 jsem provedl na základě kalkulace nákladů podle kalkulačního vzorce schváleného VČ KNV pro n. p. ČSAO Hradec Králové a cenového výměru SAO Praha pro účtování renovace. Pro výpočet vlastních nákladů jsem použil prozatímní normy času, které byly stanoveny při zkušební renovaci.

Vstupní údaje:

- cena nového dílu 393,-- Kčs
- základní mater. /dle výnosu SAO
10 % VC/ 39,-- Kčs
- externí kooperace /kalení/ 23,-- Kčs

vlastní mzdové náklady:

- nález - kontrola před renovací 7 tř. 0,20 NH 3,11 Kčs
- soustruž. opotřeb. ozubení 6 tř. 0,24 NH 3,16 Kčs
- navaření 3 vrstev 6 tř. 0,80 NH 10,52 Kčs
- soustružení po navaření 6 tř. 0,20 NH 11,50 Kčs
- kontrolní operace 7 tř. 0,30 NH 4,67 Kčs
- - - - -
- celkem 2,48 NH 35,59 Kčs

Kalkulace na 1 kus /KC/

1. Materiál základní 39,-- Kčs
2. Externí kooperace 23,-- Kčs
3. Přímé mzdy 35,59 Kčs
4. Výrobní režie 136 % 48,40 Kčs
5. Správní režie 75 % 26,69 Kčs
6. Zprac. náklady 3 + 4 + 5 110,68 Kčs

7. Zisk 11 % ze zprac. nákladů 12,17 Kčs

náklady celkem 1 + 2 + 6 + 7 184,85 Kčs

zaokrouhleno 185,-- Kčs

Celkový počet vyřazených hřídelů zadní osy za rok /2. 4/ činí 2 000 ks. Z tohoto počtu předpokládám, že je schopných renovace 75 % tj. 1 500 ks.

úspora na 1 kus VC - KC = 393 - 185 = 208,-- Kčs

úspora celkem /za 1 500 ks/ = 312 000,-- Kčs

Ekonomický přínos pro ČSAO Hradec Králové se projeví v úspoře materiálových nákladů na hlavní výrobu.

5. Závěr

V této práci je navržnuta a realizována renovace hřídele zadní osy T-148. Pro renovaci bylo použito stávajících instalovaných zařízení a tuzemských přídavných materiálů. Povrchové kalení v kooperaci u výrobce zaručuje optimální parametry shodné s novými výrobky.

Experimentálním ověřením bylo dokázáno, že renovace je při důsledné technologické kázni zásadně možná. Dlouhodobé praktické zkoušky ověří skutečnou životnost a spolehlivost renovované části.

Celospolečenský prospěch této renovace je nesporný a zavedení seriové výroby nevyžaduje prakticky žádné investiční ani režijní náklady.

Závěrem děkuji s. ing. Neumannovi za odborné vedení DP. Za pomoc v praktické části s. ing. Hofmanovi, s. ing. Morávkovi a pracovníkům renovačního střediska z ČSAO n. p. Hradec Králové. Za umožnění práce v laboratoři a odborný dohled s. ing. Kazdovi ze ZVÚ k. p. Hradec Králové a s. ing. Suchému, vedoucímu kalírny Tatra Bánovce n. p.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1/ Svařovací poloautomat WSP 600. Chotěboř 1976
- 2/ H. Neumann Teorie svařování /skripta/. Liberec 1982
- 3/ Přídavné materiály pro svařování kovů, ŽAZ Vamberk 1983
- 4/ Výrobní postup hřídele zadní osy. Bánovce 1975
- 5/ Výkres hřídele 6-13813410-1. Kopřivnice 1966
- 6/
- 7/ V. Kovanda Renovace a opravy svařováním. ČVTS 1976
- 8/ J. Koritta Strojírenské materiály. SNTL 1981
- 9/ ~ ČSN 42 0373
- 10/ ČSN 42 0374
- 11/ ČSN 01 5016
- 12/ ČSN 01 5015
- 13/ ČSN 41 4230
- 14/ J. Jech Tepelné zpracování oceli. SNTL 1983
- 15/ I. Hrivňák Zvaritelnost ocelí. ALFA 1979
- 16/ ČSN 42 0379
- 17/ F. Píšek Nauka o materiálu II. SNTL 1976
- 18/ ON 42 0469
- 19/ J. Alaxin Fyzikální metalurgie I./skripta/ Liberec 1982
- 20/ Sborník přednášek XV.DST. ŽAZ Vamberk 1982