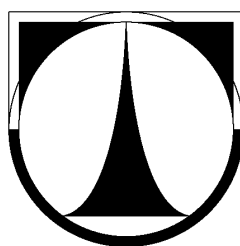


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



Bakalářská práce

PROVOZNÍ HAVÁRIE ZUBOVÝCH OLEJOÝCH ČERPADEL

2006

Otakar Vašek

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálů a technologie

Studijní obor: Materiály a technologie

Zaměření: Materiálové inženýrství

Provozní havárie zubových olejových čerpadel

KMT – BP – 119

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Konzultant bakalářské práce : Jiří Janda

Počet stran: 54

Počet příloh: 6

Počet obrázků: 25

Počet tabulek: 7

Datum odevzdání: 26.5.2006

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálu a technologie

Studijní program: bakalářský
Autor práce: Otakar Vašek
Téma práce: Provozní havárie zubových olejových čerpadel
Číslo BP: KMT – BP – 119
Vedoucí BP: doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.
Konzultant: Jiří Janda

Abstrakt:

Cílem práce je provedení rozboru provozních havárií zubových olejových čerpadel a určení nebezpečných míst. Práce obecně popisuje činnost zubových čerpadel a opotřebení jednotlivých částí. Určuje nebezpečná místa pro vznik havárií, která porovnává s dosud řešenými poruchami.

Abstract:

The purpose of my thesis is to analyse the operational break downs of the gear pumps and to determine the weak points. The thesis describes the function of the gear pumps in general and also deterioration of it's parts. It specifies the weak points (and dangerous places) for possible break downs and compares them with already known break downs.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Břetislavu Skrbkovi, CSc. a konzultantu Jiřímu Jandovi za ochotu a celou řadu cenných rad. Dále panu Ing. Václavu Kubíčkovi a paní Vlastě Čílové za trpělivost při spolupráci. Poděkování patří i vlastním rodičům za všeobecnou podporu, bez níž by tato práce nikdy nevznikla.

OBSAH BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

OBSAH	6
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	7
1 ÚVOD	8
2 ZUBOVÉ OLEJOVÉ ČERPADLO	11
2.1 Technické údaje	11
2.2 Konstrukční zásady	12
2.3 Pracovní cykl	14
2.3.1 Pohon čerpadla	14
2.3.2 Činnost čerpadla	15
2.4 Způsob uložení	15
2.4.1 Případy uložení pohybujících se součástí	15
2.5 Materiál součástí	16
2.5.1 Materiál kluzných dvojic	16
3 ZATÍŽENÍ MOTOCYKLU	18
3.1 Obecný přehled namáhání čerpadla	18
3.1.1 Tření	18
3.1.2 Opotřebení	22
4 VLASTNÍ ANALÝZA	28
4.1 Dosud řešené provozní havárie	28
4.2 Rozsah poškození	28
4.3 Výsledky	30
4.4 Diskuze výsledků	42
5 ZÁVĚR	44
5.1 Závěrečná doporučení	44
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	45
PŘÍLOHY	46

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

S_c	[mm]	obrysová plocha styku
S_r	[mm]	skutečná plocha styku
F_t	[N]	třecí síla
F_s	[N]	smyková síla
F_r	[N]	rycí síla
τ_p	[MPa]	průměrné smykové napětí, odpovídající přibližně mezi kluzu
τ_{pT}	[MPa]	napětí vedoucí k usmýknutí výčnělku tvrdšího členu dvojice
τ_{pM}	[MPa]	napětí vedoucí k usmýknutí povrchové nerovnosti měkkého členu dvojice
τ_{pS}	[MPa]	napětí vedoucí k rozpojení mikrosvaru v místě, kde se vytvořil
σ_{kd}	[MPa]	mez kluzu v tlaku
E	[MPa]	modul pružnosti
H	[HB]	tvrdost
c	[-]	součinitel zpevnění
h	[mm]	hloubka vtlačení mikronerovnosti
R	[mm]	poloměr vtlačované mikronerovnosti
d_1	[μ m]	délka úhlopříčky pro měření vtisku indentoru
d_2	[μ m]	délka úhlopříčky pro měření vtisku indentoru
Dist	[μ m]	vzdálenost

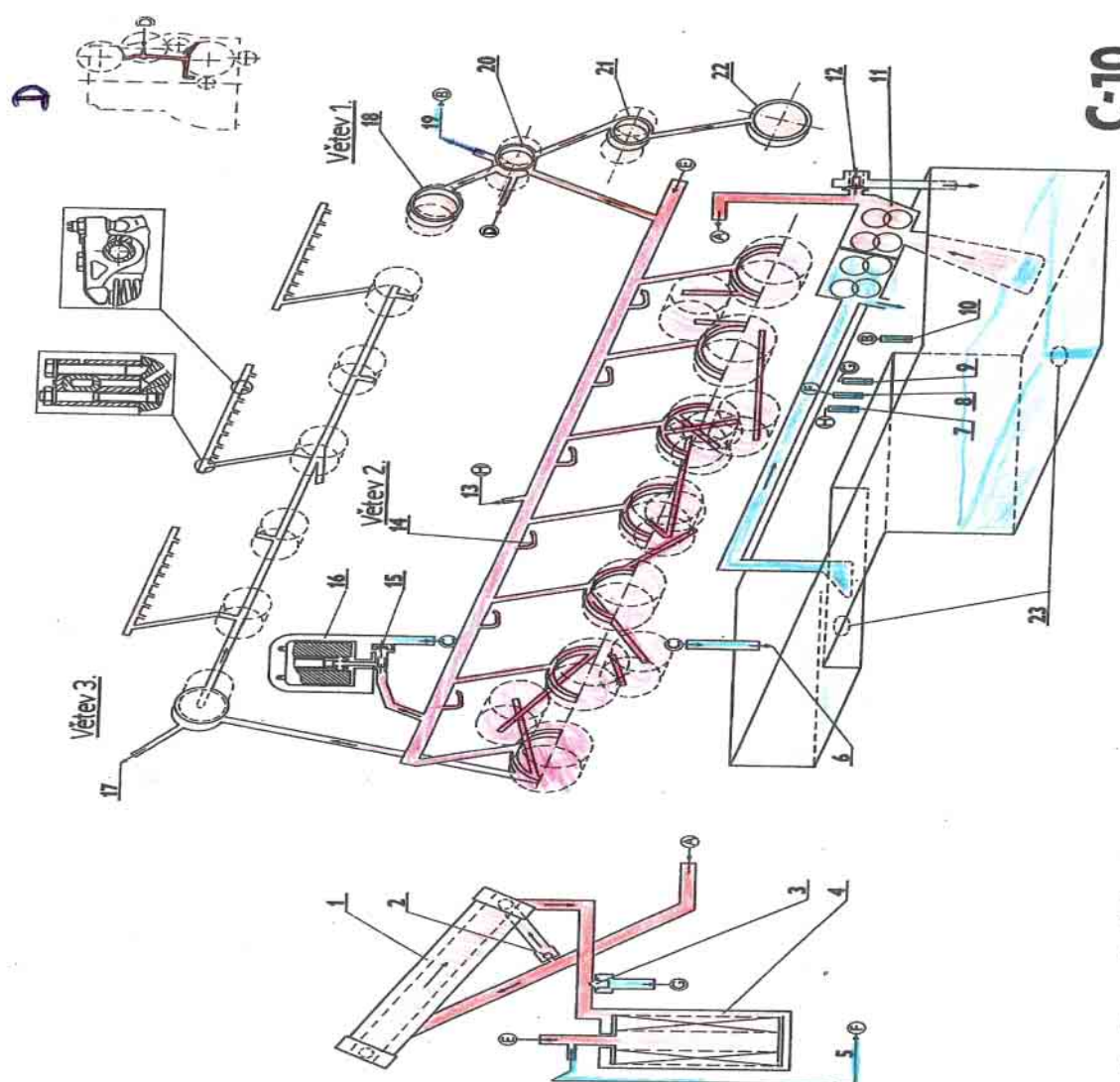
1. ÚVOD

Automobilový průmysl jde mílovými kroky dopředu. Podle toho jak stoupají požadavky uživatele, jsou automobily a motory stále upravovány a vylepšovány. Stoupají nároky na správný chod motoru jako celku, tak i jednotlivých částí. Jednou z nejdůležitějších částí motoru je mazací systém. Mazání motoru obstarává zdvojené zubové olejové čerpadlo (obr.2). Na jeho správné funkci je přímo úměrná bezproblémová činnost celého motoru. Dojde-li tedy ke špatné funkci a poškození čerpadla, může to mít za následek poškození i dalších částí motoru. Zubové olejové čerpadlo se od svých počátků téměř konstrukčně nezměnilo, ale požadavky na výkon mazacího systému stoupla i několikanásobně. Byly provedeny pouze drobné konstrukční úpravy nutné při zvyšování výkonu motoru např. rozšíření ozubených kol ze 40 mm na současných 60 mm. I proto se občas vyskytnou nějaké nedostatky, aby upozornily na potřebu obnovy čerpadla. Čerpadlo není zatěžováno výraznými vnějšími silami. Na součásti působí především tlak oleje a kroutící moment na hnacím hřídeli. Při předpokladu poruch, jako zadření ozubení, nedostatečný tlak oleje... Budeme muset hledat řešení k odstranění nedostatků především v konstrukci, použitých materiálech, mazacím médiu a provozních podmínkách.

Princip činnosti zubového olejového čerpadla vznětového motoru

Ze zadní komory spodního víka klikové skříně je olej přečerpáván do přední komory. Odtud je přes sací koš (1) nasát do olejového čerpadla a vytlačen do skříně výměníku přes pojišťovací ventil (12) seřízený na 900 kPa. V případě vyššího tlaku ventil odpouští olej do spodního víka klikové skříně. Ve výměníku dochází k výměně tepla mezi olejem a chladicím médiem. V případě ucpání skříně výměníku je olej pouštěn obtokovým ventilem (2) přímo do kanálu s regulačním ventilem (3) k plnopřůčnému čističi (4). Regulační ventil je seřízen na 540 kPa. V případě vyššího tlaku je přebytečný olej odpouštěn do spodního víka klikové skříně. Obtokový ventil výměníku je

seřízen na otevírací tlak 196 kPa. Mazání turbodmychadla je napojeno na skříň výměníku s přepadem do klikové skříně. Od regulačního ventilu olej přechází přes plnoprůtočný čistič, opatřený obtokovým ventilem, seřízeným na přetlak 250 kPa. Ventil se otevírá v případě, že olej nemůže procházet plnoprůtočným čističem. Od plnoprůtočného čističe oleje postupuje olej hlavním mazacím kanálem v bloku motoru třemi hlavními větvemi (obr. 1).



Obr. 1 Příklad mazání motoru M 1.2 C

B – odpad oleje z kompresoru, C – odpad z odstředivého čističe, F – odpad z turbodmychadla, G – odpad z regulačního ventilu, H – odpad ze vstřikovacího čerpadla

Větev 1: V přední části hlavního mazacího kanálu se odděluje olej pro mazání uložení náhonu vstřikovacího čerpadla (20) a dalších uložení rozvodových kol (pomocného pohonu, vloženého kola), stejně tak i prvního ložiska vačkového hřídele (18). V této větvi je napojen olej k mazání kompresoru (19), tlakoměr a olej pro postřik rozvodových ozubených kol (D).

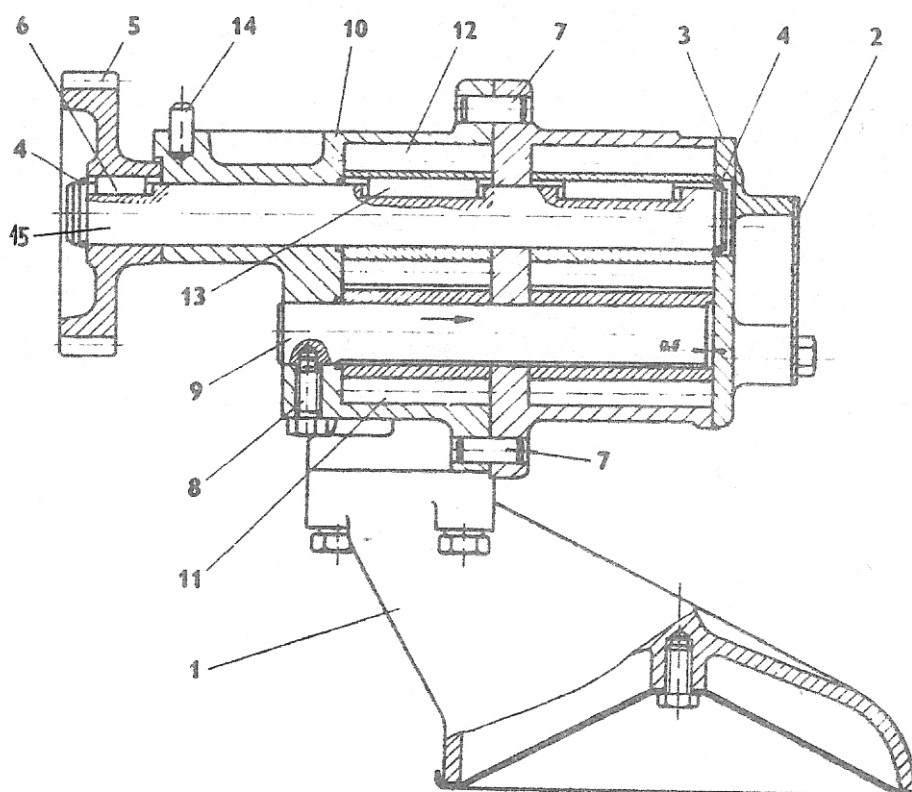
Větev 2: Olej dále postupuje hlavním mazacím kanálem v bloku motoru k tryskám pro postřik pístů (14), k hlavním ložiskům a k odstředivému čističi (16) s omezovacím ventilem (15). Vývrty v klikovém hřídeli je olej veden k ojnicím ložiskům.

Větev 3: Ze zadního ložiska klikového hřídele olej prochází svislým kanálem do prostoru za vačkovým hřídelem, odkud jsou vývrtem ve vačkovém hřídeli mazána ložiska vačkového hřídele mimo prvního. Od druhého, čtvrtého a šestého ložiska vede olej pulzačně blokem a hlavami k vahadlům, otvory ve vahadlech jsou mazány kulové čípky a tyčky se zdvihátky. Odstřikem jsou mazány ventily. Přebytečný olej stéká z hlav válců do prostoru pod vačkovým hřídelem, odkud po dosažení hladiny, potřebné pro mazání jednotlivých vaček, odtéká do prostoru spodního víka. [1]

Cílem této práce je analýza provozních poruch zubových olejových čerpadel. Rozbor jednotlivých částí čerpadla. První částí práce je obecné seznámení s činností, konstrukčními zásadami a materiály zubových olejových čerpadel. Ve druhé části se zabývám určením namáhání a opotřebení jednotlivých částí. Třetí část popisuje rozbor a závěry vlastních havárií čerpadel.

2. ZUBOVNÉ OLEJOVÉ ČERPADLO

2.1 Technické údaje



Obr. 2 Řez olejovým čerpadlem

1 – sací koš, 2 – kryt, 3 – skříň čerpadla zadní, 4 – pojistný kroužek, 5 – kolo čerpadla, 6 – pero, 7 – kolík, 8 – šroub, 9 – čep čerpadla, 10 – skříň čerpadla přední, 11 – kolo čerpadla, 12 – kolo čerpadla s drážkou, 13 – pero, 14 – pojistný kolík, 15 – hřídel čerpadla

2.2 Konstrukční zásady

Pro bezproblémový a plynulý chod čerpadla by měly být dodrženy předepsané vůle (tab. 1) a konstrukční zásady.

Tab. 1 Doporučené konstrukční vůle motoru M 1.2 C

Typ	Zubové
Pohon čerpadla	Hnací kolo čerpadla
Redukční ventil	Ve skříni olej. čerpadla
Čistič oleje	Výměnný s obtokovým ventilem
Přetlak mazacího oleje při 100°C	0,3 – 0,4 Mpa
Vůle mezi horní čelní plochou ozubených kol a dosedací plochou víka čerpadla (axiální vůle)	0,020 – 0,105 mm
Vůle mezi obvodem ozubených kol a stěnou čerpadla	0,05 – 0,14 mm
Přesah pouzdra hřídele čerpadla v otvoru tělesa čerpadla	0,025 – 0,090 mm
Vůle mezi hřídelem čerpadla a jeho ložiskem v bloku motoru	0,025 – 0,062 mm
Vůle mezi hnáným kolem a jeho pouzdrem v tělese čerpadla	0,013 – 0,050 mm
Vůle mezi hnáným ozubeným kolem a jeho čepem	0,01 – 0,050 mm
Vůle v ozubení mezi hřídelem čerpadla a ozubením na vačkovém hřídeli	0,06 mm

-
- ozubená kola čerpadla nesmějí mít poškozené nebo opotřebované ozubení (poškozená kola se nahradí novými, boční vůle ozubení nesmí být po opotřebení větší než 0,25 mm)
 - vůle mezi obvodem ozubených kol a stěnou čerpadla se měří lístkovou měrkou (z tabulky vidíme, že u nových dílů je tato vůle 0,05 až 0,14 mm, pokud by došlo po dlouhém provozu k zvětšení této vůle na 0,25 mm, je nutné vyměnit ozubená kola nebo skříň čerpadla, popř. obojí)
 - pokud se při přeměření zjistí vůle větší než 0,15 mm, je nutné vyměnit ozubená kola nebo skříň čerpadla
 - provozní vůle nesmí překročit 0,10 mm (pokud se provozem zvětší nad 0,10 mm, je třeba opotřebovaný díl tzn. skříň čerpadla nebo hřídel nahradit novým)

Správnou funkci dále zajišťuje

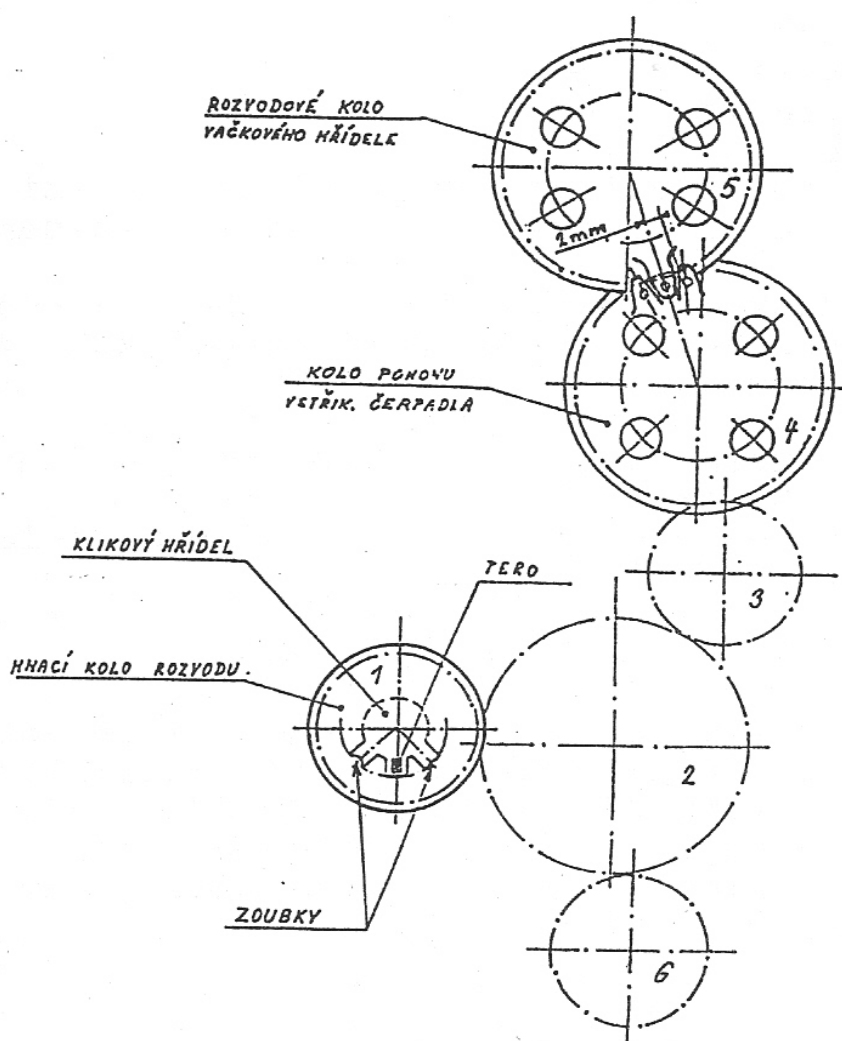
- správné nalisování hnacího ozubeného kola na hřídeli (hřídel se lisuje s přesahem)
- čep hnaného ozubeného kola musí pevně sedět ve skříni čerpadla (pokud není čep pevně nalisován a lze jím pohybovat, je nutné vyměnit skříň čerpadla)
- pouzdra kluzného ložiska pohánějícího hřídel čerpadla a rozdělovače (v bloku motoru) nesmí být nadměrně opotřebovaná ani nesmějí mít nepravidelnosti na kluzné ploše, jinak se musí nahradit novými

I přes dodržení konstrukčních zásad dochází uvnitř čerpadla k vzájemnému působení částic, tření a opotřebení.

2.3 Pracovní cykl

2.3.1 Pohon čerpadla

Čerpadlo je poháněno kolem olejového čerpadla (6), které je umístěno na hřídeli společně s hnacími koly čerpadla (12). Je roztáčeno od hnacího kola rozvodu – od klikového hřídele (obr.3).



Obr. 3 Rozvod motoru

2 – vložené rozvodové kolo, 3 – kolo pomocného pohonu, 6 – kolo olejového čerpadla

2.3.2 Činnost čerpadla

Jeden pár spoluzabírajících kol v tzv. zadní skříní působí jako přečerpávací čerpadlo. Olej steklý do zadní komory spodního víka skříně, přečerpává do přední komory. Odtud je pomocí sacího koše olej přiváděn na druhý pár ozubení tzv. tlakové čerpadlo. Olej postupuje přes ozubení k regulačnímu ventilu (3), který udržuje v okruhu potřebný tlak.

2.4 Způsob uložení

2.4.1 Případy uložení pohybujících se součástí

Hnací hřídel (12) – je v místech styku se skříní čerpadla uložen kluzně (to znamená, že se hřídel otáčí ve skříní bez použití ložiska, či pouzdra a dochází k vzájemnému styku obou součástí)

Ozubená kola na hnacím hřídeli – jak hnací kolo, tak obě kola čerpadla jsou na hřídeli upevněna pomocí per, která zabraňují vzájemnému pohybu součástí vůči sobě

Čep čerpadla (9) – je uložen staticky ve skříní čerpadla (v přední skříní čerpadla je čep zajištěn proti pootočení šroubem (8))

Hnaná kola – jsou kluzně uložena na čepu (mazání zajišťuje mazací drážka na povrchu čepu)

Pro spolehlivou funkci kluzných uložení musí být mezi oběma členy dokonalý olejový film. Přesto dochází v mezních situacích k vzájemnému kontaktu zabírajících materiálů. Proto musíme na vhodnou volbu materiálu brát velký zřetel.

2.5 Materiál součástí

2.5.1 Materiál kluzných dvojic

Materiál by si měl zachovat shodné, příp. obdobné vlastnosti za rozdílných pracovních podmínek. Rozdílná teplota na začátku a v průběhu pracovního cyklu může negativně ovlivňovat roztažnost materiálu, tepelnou vodivost, únavovou pevnost. Spoluzabírající kovy nesmí pro vyšší tlaky tvořit tuhý roztok, musí být vzájemně nerozpustné- nesmí být svařitelné. Tvorba mikrosvarů nebo tepelná degradace materiálu citelně ovlivňuje přidírání součástí. V úvahu musí být brána i mez kluzu, která má vliv na zatížitelnost nosných ploch při tření. Tvrdost součástí, čím vyšší je tím může docházet k vyššímu opotřebení protiplochy. Proto je vysoká tvrdost požadována jen ve zvláštních případech. Praxe ukázala, že první poškození funkčních povrchů způsobují nejčastěji cizí tvrdé částice. Často se tedy využívá přizpůsobivost materiálu a jeho schopnost pohlcovat drobné částice přinášené proudícím médiem. Skříně olejového čerpadla jsou vyráběny z šedé litiny a kluznou dvojici vytváří s hřídelem z uhlíkaté oceli, která má povrch zakalen na požadovanou tvrdost.

Tab. 2 Předpis materiálu dílů čerpadla

Díl	Materiál	Tvrdost stěny [HB]	Ostatní vlastnosti
Skříň olejového čerpadla - přední	42 2420	160/220	Rm<200;250> Eo 110 GPa
Skříň olejového čerpadla - zadní	42 2425	180/240	Rm<250;300> Eo 124 GPa
Olejové čerpadlo - víko	42 2425	180/240	Rm<250;300> Eo 124 GPa
Hřídel olejového čerpadla	12 060.2	<250	Rm<600;840> Eo 210 GPa
		Povrch kalen na HRC <58;62>	

Pro řešení problémů havárií čerpadel, bude nejspíš důležité zaměřit se na kluznou dvojici - čep čerpadla a hnaná kola, kde přicházejí do styku kalené povrchy uhlíkatých ocelí. Ani kluzné uložení hřídele (kalená ocel) ve skříních čerpadla (šedá litina) není vhodně zvolena. Při nedostatečných mazacích, provozních podmínkách má sklon vytvářet mikrosvary.

3. NAMÁHÁNÍ ČERPADLA

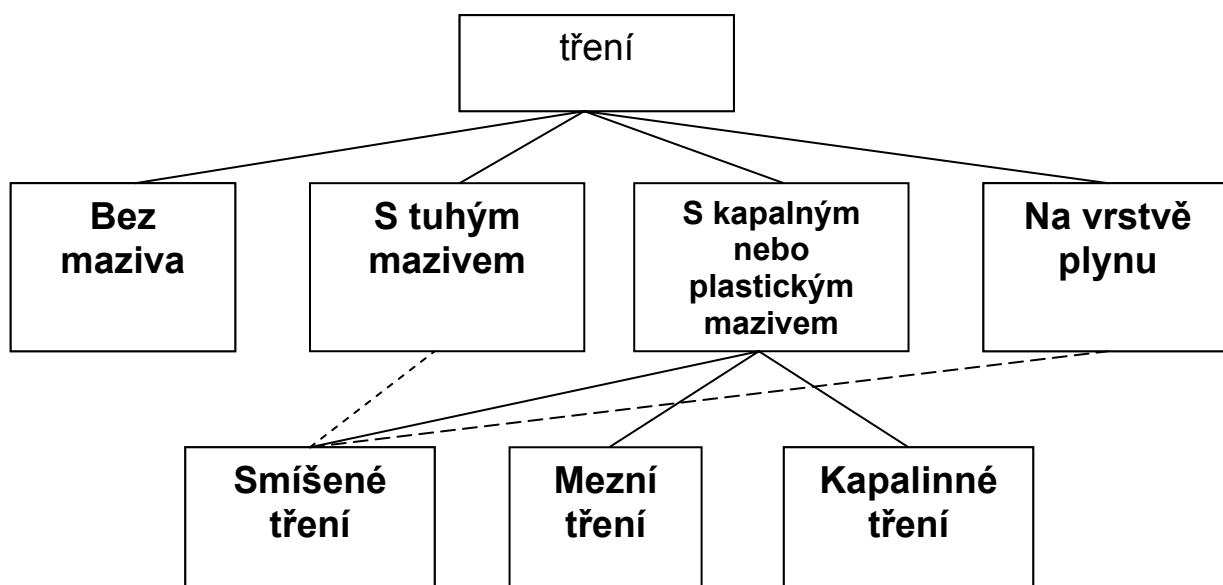
3.1 Obecný přehled namáhání čerpadla

Na stroje jsou kladeny stále větší nároky: zvyšují se otáčky, provozní rychlosti, tlaky a teploty. S růstem provozních parametrů se však často zhoršují i nežádoucí účinky, kterým se snažíme předejít. Z počátku pracuje čerpadlo v téměř ideálních podmínkách. Součásti jsou přesně opracovány, olej je bez vnějších nečistot a udržuje si své mazací schopnosti. Vzniklé teplo je odváděno a nedochází k nadměrnému zahřívání součástí. Poruší-li se ale někde tento stav, může dojít a dochází k namáhání součástí, které se postupně ocitnou až na hranici použitelnosti. Z vnějších sil působících na součásti čerpadla, berme v úvahu zatížení hnacího hřídele kroutícím momentem a tlak oleje. Dále jsou součásti namáhány především v kluzných uloženích a to zvýšeným třením, tepelnou degradací a následným opotřebením. Jak si dále dokážeme, tření a opotřebení na sebe velice úzce navazuje.

3.1.1 Tření

Tření je definováno jako, „odpor proti pohybu, vznikající mezi dvěma tělesy v oblasti dotyku jejich povrchů, v tečném směru k nim.“ [2] Dělí se podle toho, zda je mezi styčnými povrchy mazivo či jiná látka, nebo jde-li o styk tuhých těles bez maziva. Rozlišujeme tedy (obr 4):

- tření bez maziva
- tření s tuhým mazivem
- tření s plastickým nebo kapalným mazivem
- tření na vrstvě plynu



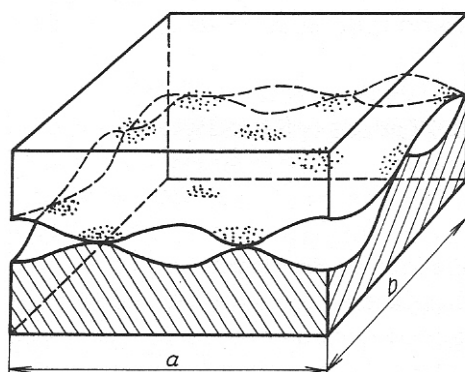
Obr. 4 rozdělení tření podle média ve styčné ploše

Suché tření - tento termín není v technické praxi stoprocentně pravdivostní, protože na povrchu těles jsou téměř vždy obsaženy absorbované vrstvy plynů, vlhkosti a oxidické vrstvy

Kapalné tření - mezi povrchy se vyskytuje vrstva maziva nebo jiné kapalné médium (tloušťka této vrstvy je větší než součet maximálních výšek nerovností obou povrchů)

Mezní tření - představuje limitní případ kapalinného tření, při němž se vlastnosti tenké vrstvy kapaliny liší od jejích objemových vlastností

Smíšené tření - přítomná mezivrstva maziva nepostačuje oddělit od sebe oba povrchy (dochází k občasným dotykům povrchových mikronerovností stýkajících se těles)



Obr. 5 Schéma geometrických odchylek od ideálně hladkého povrchu
Plošné znázornění rozdílu mezi obrysovou plochou styku S_c a skutečnou plochou styku S_r

Při zkoumání tření musíme vycházet ze skutečnosti, že za klidu jsou obě tělesa do sebe zaklíněna povrchovými nerovnostmi. Ke snížení odporu tření je proto zapotřebí pozvedávat do úrovně nejvyšších výčnělků na povrchu. I při zdánlivé hladkosti je povrch nerovný a proto je rozdíl mezi obrysovou plochou styku S_c a skutečnou plochou styku S_r , kde se setkávají výčnělky povrchů dvou těles (obr.5) Skutečnou plochu styku S_r využijeme i při výpočtu třecí síly při pohybu strojních součástí.

$$F_t \cong F_s = \tau_p \cdot S_r$$

τ_p je průměrné smykové napětí, odpovídající přibližně mezi kluzu

F_s smyková síla F_t třecí síla

Obecně se třecí síla vypočte jako součet smykové a „rycí“ síly

$$F_t = F_s + F_R$$

Rycí síla se však vyskytuje především u ostrohranných abrazivních částic, proto ji můžeme u většiny případů tření strojních součástí zanedbat. Jednotlivá místa styku zanikají a vznikají na jiných místech a jejich průměrný

počet zůstává zachován. Jejich vznik závisí na materiálových vlastnostech pohybujících se třecích dvojic. Podle toho rozlišujeme čtyři případy mechanismu tření a opotřebení, dané velikostí smykových napětí v místech dotyku (τ_{pM} , τ_{pT} , τ_{pS}).

1. případ je charakterizován nerovností

$$\tau_{pS} < \tau_{pM} < \tau_{pT}$$

Usmýkávají se třecí spoje, součinitel tření dané dvojice a opotřebení měkčího i tvrdšího členu dvojice jsou velmi malé např. ocel x cín.

2. v tomto případě platí nerovnost

$$\tau_{pM} < \tau_{pS} < \tau_{pT}$$

Přednostně se usmýkávají výčnělky měkčího kovu a ulpívají na tvrdším členu dvojice, což má za následek značné opotřebení měkčího kovu např. ocel x olovo.

3. vytváření pevných třecích spojů

$$\tau_{pM} < \tau_{pS} \geq \tau_{pT}$$

Dochází k opotřebení měkčího i tvrdšího kovu a součinitel tření je vyšší než v obou předchozích případech např. ocel x měď.

4. tření dvojice stejných kovů, při kterém dochází ke zpevnění třecích spojů

$$\tau_{pS} > \tau_{pT} = \tau_{pM}$$

Důsledkem je rozšiřování oblasti smykového namáhání do stále větší hloubky obou povrchů - součinitel tření i opotřebení vzrůstá a může dojít až k zadření. Proto je vhodné nenavrhovat součásti s vzájemným stykem ze stejného materiálu. Případně opatřit jeden z dvojice zvláštní povrchovou úpravou.

3.1.2 Opotřebení

Opotřebení je definováno jako „nežádoucí změna povrchu nebo rozměrů tuhých těles, způsobená buď vzájemným působením funkčních povrchů, nebo funkčního povrchu a média, které opotřebení vyvolává.“ [2]

Vzájemné působení - všechny účinky projevující se při styku součásti a média mezi nimi, při relativním pohybu nežádoucí změna- většinou jde o změny zhoršující kvalitu povrchu a tím ovlivňují životnost součásti. Jde především o oddělování a přemísťování částic.

Opotřebení je složitý proces, ovlivňovaný řadou působících faktorů. Při analýze je nutno přistupovat k daným procesům jako k náhodným dějům a hodnotit je metodami matematické statistiky. S cílem vytvořit vlastní modely průběhu opotřebení.

Fáze opotřebení: - I záběh – doba v níž se odstraňují povrchové mikronerovnosti na funkčním povrchu nebo se přizpůsobují působícím vlivům

- II - opotřebení probíhá jako ustálený děj

- III - progresivní růst opotřebení

Opotřebení je dle normy ČSN 015050 rozděleno na 6 základních druhů. Pro náš případ kluzných uložení se podrobněji zmíníme především o adhezivním, abrazivním a erozivním. I když víme, že v technické praxi se jednotlivé druhy opotřebení kombinují a vzniká tak řada variant.

Adhezivní opotřebení

Je charakterizováno oddělováním a přemisťováním částic z míst, kde došlo při pohybu ke styku obou povrchů (z fyzikálního hlediska nejsou povrchy nikdy dokonale hladké). Proto ke styku povrchů dvou součástí nedochází v celé obrysové ploše, ale na velkém množství dotykových plošek. Jejich vytváření je v první fázi provázeno elastickou deformací. Dosáhne-li tlakové napětí v dotykové ploše meze kluzu v tlaku σ_{kd} , projeví se plastická deformace vrcholů. Plastické deformace mohou porušit povrchové vrstvy. Buď na původní ploše styku, nebo pod povrchem jednoho z dvojice materiálů. Též se toto opotřebení označuje jako porušování mikrospojů, vzniklých následkem interakce povrchových nerovností. Na vznik adhezního opotřebení mají vliv především tyto faktory:

- hloubka vniku a poloměr zakřivení mikronerovnosti
- zatížení a rychlost relativního pohybu
- schopnost materiálu vytvářet adhezní spoje tzv. mikrospoje

Intenzitu opotřebení může významně ovlivnit okolní prostředí a médium přítomné mezi funkčními povrchy.

Vlivem plastické deformace povrchových vrstev, a také přeměnou energie při tvorbě mikrospojů, se dosahuje v povrchových vrstvách vysokých teplot. Které mají za následek změnu mechanických vlastností v povrchových vrstvách materiálů v třecí dvojici. Mění se hodnoty modulu pružnosti E a tvrdosti H , což značně ovlivní velikost skutečné dotykové plochy a tím také odolnost materiálů proti opotřebení. Vysoké teploty mohou způsobit i rozklad vrstvy maziva, zejména degradaci molekulárních řetězců, která vede ke snížení viskozity maziva, a tím zmenšení tloušťky mazací

vrstvy. Narůstá počet dotykových plošek na stykových površích. Proto vzroste třecí odpor, teplota maziva, až se poruší souvislost mazací vrstvičky a dojde k přenosu materiálu a tvorbě částic otěru. Na odolnost proti adhezivnímu opotřebení u dvojice kovů má vliv jejich vzájemná rozpustnost v tuhém stavu (jak již bylo zmíněno v kapitole 2.5.1). U kovů vzájemně nerozpustných je zmenšeno nebezpečí difúze v oblasti mikrospoje, která by podstatně ovlivnila jeho pevnostní vlastnosti. Odolnost materiálu proti adhezivnímu opotřebení značně ovlivňují ještě jeho fyzikálně mechanické vlastnosti, z nichž nejdůležitějšími je tvrdost H a mez kluzu v tlaku σ_{kd} . S rostoucí tvrdostí klesá velikost opotřebení, avšak vliv samotné tvrdosti je mnohem menší, dochází-li současně ke změně mikrostruktury a chemického složení. Při opotřebení dochází ke strukturním změnám, které jsou vyvolány rychlým ohřevem na vysoké teploty a ochlazením. Například u ocelí vzniká v povrchových vrstvách martenzit, který zmenšuje rozsah porušování stykových povrchů při malých zatíženích.

Pro adhezivní opotřebení je svým přínosem důležitá Kragelského molekulárně mechanická teorie tření a opotřebení. Tato teorie bere v úvahu působení makronerovností a mikronerovností stykových povrchů i meziatomárních vazebních sil. Celkem rozlišuje 5 různých typů porušování ve styku nerovností dotykových povrchů, lišících se především stupněm deformace v jeho nejbližším okolí. [2]

1. Elasticky se mikronerovnosti deformují, nepřekročí-li ve stykové oblasti napětí hodnotu $c \cdot \sigma_{kd}$. Druh deformace závisí na hloubce vtlačení mikronerovnosti do druhého tělesa, na poloměru vtlačované mikronerovnosti. Opotřebení se projevuje jako únavové porušování povrchových vrstev.

$$h/R < (c \cdot \sigma_{kd}/E)^2$$

h – hloubka vtlačení mikronerovnosti

R – poloměr vtlačované mikronerovnosti

E – modul pružnosti v tlaku

c – součinitel zpevnění

σ_{Kd} – mez kluzu základního materiálu

2. Je-li poměr h/R větší, dochází k plastické deformaci materiálu, která vzrůstá až do vyčerpání jeho deformační schopnosti.

3. Rýhování materiálu vznikne, když zpevněný materiál plastickou deformací již není schopen dále se plasticky deformovat a tedy přemísťovat se při průchodu vtlačovaných nerovností. Nastane značné poškození stykových povrchů vytrháváním a odřezáváním částí materiálu, což má za následek rýhování. Poměr h/R pro nemazané povrchy je větší než $1 \cdot 10^{-1}$ až $2 \cdot 10^{-1}$ a pro mazané povrchy je větší než $5 \cdot 10^{-1}$ až $6 \cdot 10^{-1}$

4. Povrchové porušování slabých meziatomárních (adhezních) mikrospojů vznikne, je-li pevnost meziatomárních mikrospojů mnohem menší než pevnost obou základních materiálů tzn. porušování bude probíhat prakticky bez poškození základních materiálů.

5. Hlubkové porušování pevného adhezivního mikrospoje nastane, když pevnost meziatomárních vazebních sil je větší než pevnost mřížky krystalu. Projevuje se tvorbou volných částic, přenosem materiálu a poškozením stykových povrchů.

Abrázivní opotřebení

Je charakterizováno oddělováním částic z funkčního povrchu účinkem tvrdého a drsného povrchu druhého tělesa, nebo účinkem abrazivních částic. Jde o interakci tří těles, ke které dochází u všech pohybových mechanismů, do nichž vnikají nebo mohou vniknout částice nebo nečistoty z okolního

prostředí. Účinek povrchových nerovností jednoho tuhého tělesa v relativním pohybu vůči druhému, měkčímu nebo o účinek tvrdých částic vůči jinému tuhému tělesu. Praxe ukázala, že vliv relativní kluzné rychlosti částic po funkčním povrchu je málo významný. Při větších kluzných rychlostech lze očekávat, že vlastnosti povrchové vrstvy materiálu budou ovlivněny zejména změnou teploty vlivem tření a tím i změnou mechanických vlastností povrchové vrstvy v průběhu opotřebení. Shrňme-li dosavadní poznatky, můžeme říci, že je opotřebení úměrné dráze a době působení. Zajímavý je i poznatek o zpevnění povrchové vrstvy, vznikající při opotřebení. Boyes změřil mikrotvrdost povrchu při zatížení 1,0 event, 0,5 N (tab.3)

Tab. 3 Příklad měření tvrdosti povrchové vrstvy před a po abrazivním opotřebení materiálů

Materiál	Tvrdost HV		
	Před opotřebením	Po opotřebení	Přírůstek HV
Bílá nízkolegovaná litina	485	503	18
Uhlíková ocel	180	283	103
Cr-Ni bílá litina	719	795	76
Bílá litina C3 Cr15 Mo3	895	993	98
Bílá litina C3 Cr9 Ni6	743	881	138
Martenzitická tvárná litina	709	860	151
Bílá litina C2,7 Cr27	661	858	197
12%Mn austenitická ocel	217	573	356
Mn-Mo austenitická tvárná litina	290	664	374

Erozivní opotřebení

Je charakterizováno oddělováním částic a poškozováním funkčního povrchu:

- částicemi nesenými proudem kapaliny
- částicemi nesenými proudem plynu
- proudem kapaliny, páry, kapek nebo plynu

Intenzita erozivního opotřebení je ovlivněna řadou faktorů, vztahujících se k působícímu médiu, částicím i exponovanému povrchu. Jde především o relativní rychlost, teplotu, chemické působení média, druh, velikost, tvar a velikost částic. Důležitý je i úhel dopadu částic. Částice dopadající šikmo na povrch a mající dostatečnou energii, může část materiálu vytlačit nebo oddělit. Částice pohybující se téměř rovnoběžně s povrchem, ho může zatížit jen v mezích pružné deformace, a tedy bez poškození. Částice dopadající kolmo k povrchu, pružně, popř. plasticky ho deformuje a odráží se zpět. Tvrdé a křehké materiály, jako kalené oceli, speciální litiny, slinuté karbidy..odolávají velmi dobře erozivnímu opotřebení při malých úhlech dopadu.

4. VLASTNÍ ANALÝZA

4.1 Dosud řešené provozní poruchy

Vlastní analýza obsahuje seznámení se s dosud řešenými provozními haváriemi zubových olejových čerpadel a posléze vlastní rozbor poškozeného čerpadla.

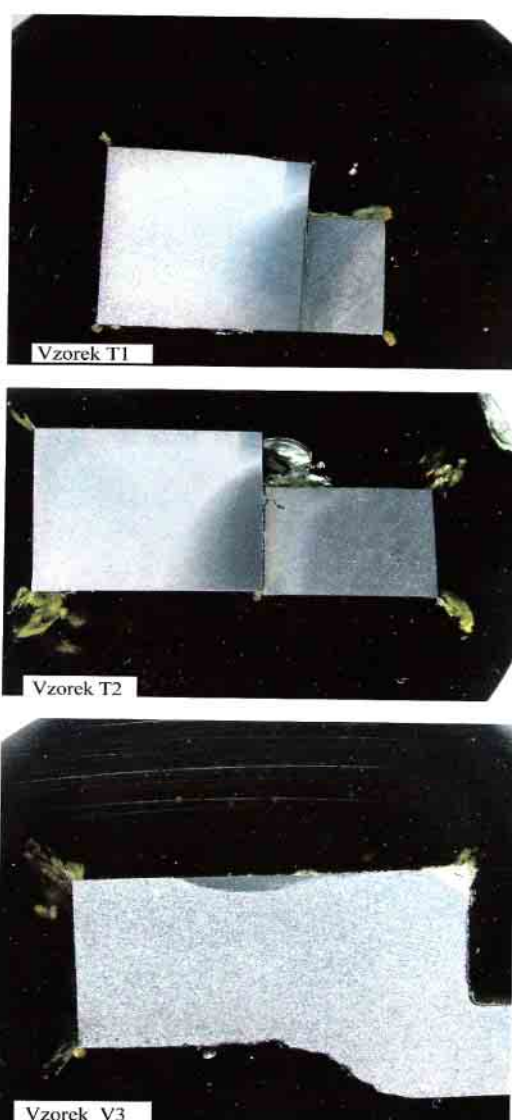
Na základě poskytnutých zpráv jsem se seznámil s již řešenými provozními poruchami. V zásadě se v přiložených rozborech vyskytoval stejný typ poruch a ve většině případů byla konečná fáze poruchy stejná – ukroucení hřídele (P1 A). Počátky havárií můžeme rozdělit na dva typy. První typ spočívá v zadírání kola 11 na čepu 9 u přepážky v zadní skříni. To způsobí adhezní třecí svar kola s čepem, vznikne spoj o větší nosnosti než je pevnost pojistného čípku šroubu 8 – ustříhne se. Následuje konečná fáze poruchy, postup zadírání, vývin tepla, masivní příděr – třecí svar ke skříni a víku. Druhý typ poruch je způsoben zadíráním hřídele v zadní skříni čerpadla (P1 B). Hnaná kola a čep čerpadla nejsou téměř ovlivněny. Nedochozí k ustřižení pojistného čípku šroubu.

4.2 Rozsah poškození čerpadla

K vlastní analýze jsem obdržel zadřené olejové čerpadlo označené 5C1-282-A001 EJG0072. Čerpadlo bylo dodáno na generální opravu bez provozních podmínek, které by mohli pomoci při řešení problému. Olejové čerpadlo bylo zcela nefunkční:

Hnací hřídel náhonu čerpadla se v uložení zadní skříně (délka uložení $H=12\text{mm}$) nerozebíratelně přidržel a v 1/3 uložení přední skříně ($H=44\text{mm}$) od rozvodového kola ukroutil (P1 A). Došlo k masivnímu vyhrátí obou uložení

(P2). Odlomený hřídel vytočil při vývinu tepla v náboji přední skříně kuželovou plochu s vyhrnutím materiálu na okraj náboje (P2). U obou hnacích kol došlo na axiálních plochách k příděru a vývinu tepla, což znázorňuje zbarvená oblast (P3) k opotřebení adhezního charakteru došlo i u hnaného kola (11) v zadní skříni čerpadla (P3). Usmýknutí pera (P4) ozubeného kola (12) mělo za následek adhezní rýhy šroubového charakteru (P4) na hřídeli vzniklé v předním uložení.



Obr. 6

Vzorky pro metalografický výbrus: T1, T2 – místo svaru ocel/litina, V3 - víko

4.3 Výsledky

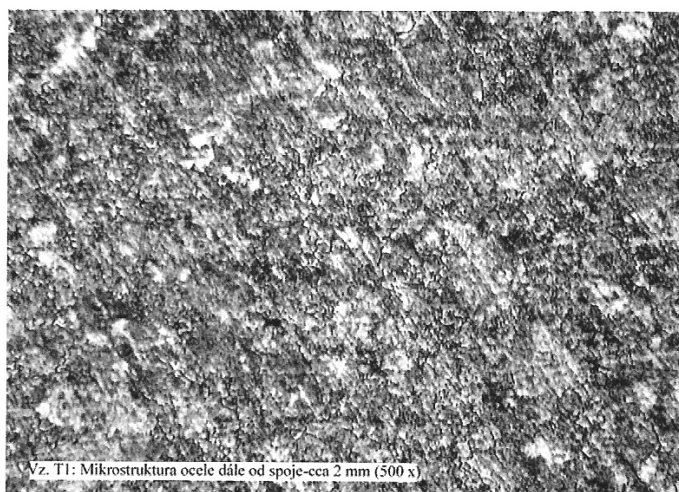
Podrobnější zkoumání potvrdilo výskyt mikrosvarů v oblasti uložení hřídele v zadní skříni (obr.6). Metalografický výbrus dvou vzorků z této oblasti (vzorky označeny T1 a T2-pootočen o 90°) a jednoho výbrusu zadního víka (V3) ukázaly nevhodnost vzájemného použití materiálu šedé litiny a kalené ocele.

Základní struktura ocele je perlitická s obálkami feritu, vyloučenými po hranicích perlitických zrn (obr. I). Charakter perlitu je cca z 50% lobulární a stejný díl lamelární – materiál hřídele odpovídá z hlediska tepelného zpracování stavu .2 (základní žíhání), popřípadě ne zcela dokonalému stavu .3 (měkké žíhání). Směrem k tepelně ovlivněné části a zvláště k místu svaru se obsah feritu snižuje a perlit získává přechodový charakter (obr. II). Postupně se začínají objevovat zrna horního bainitu (obr. III), který se s klesající vzdáleností od spoje ocel – litina mění v listový martenzit s rostoucím podílem zbytkového austenitu ZA (obr. IV). Obr. V nabízí podrobnější pohled. Na snímcích (obr. IV a V) je viditelná oblast spoje (šedý pruh) se směsicí struktur. V této oblasti klesá množství ZA z maxima 80% na 20% a naopak roste podíl listového martenzitu. V místě spoje obou materiálů se objevují první lupínky grafitu. Těsně za spojem probíhá lomová plocha, která sleduje lupínky grafitu. Lom tedy probíhá v přikalené oblasti šedé litiny, jejíž strukturu zde tvoří listový martenzit s vysokým podílem ZA (40 – 50%). Velmi tenké grafitické lupínky v této oblasti svědčí o tom, že během dlouhodobého ohřevu při zadírání obou zúčastněných dílů došlo k difúzi uhlíku do základní kovové matrice litiny (obr. VII – IX). Vznik trhliny a její šíření jsou viditelné na snímcích (obr. X – XII). Trhlina se šíří po lupíncích grafitu, které představují místa nejmenší soudržnosti materiálu. Na detailu (obr. XI) je patrný lomem přerušovaný grafitový lupínek – jeho část je již bez grafitové výplně a druhá část těsně před trhlinou ještě obsahuje grafitovou výplň. S rostoucí vzdáleností od tepelně ovlivněné oblasti tvoří strukturu šedé litiny lamelární perlit s rostoucím obsahem feritu a grafitické lupínky o rostoucí tloušťce (obr. XIII – XV). Po hranicích zrn je vyloučeno potrojně fosfidické

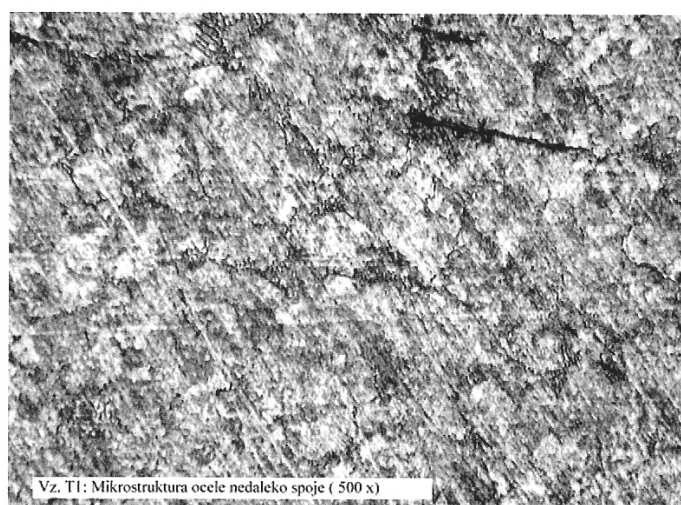
eutektikum (steadit) v poměrně jemných útvarech. Základní struktura víka je téměř čistě perlitická s jemně perlitickým grafitem. Po hranicích zrn se zde vyskytuje potrojně fosfidické eutektikum (steadit) (obr. XVI, XVII). Na snímku XVIII je viditelná hranice teplotního ovlivnění, kterou znázorňuje velké množství ZA (bílá oblast). Spolu s velkým množstvím ZA se zde nachází listový martenzit a grafit.



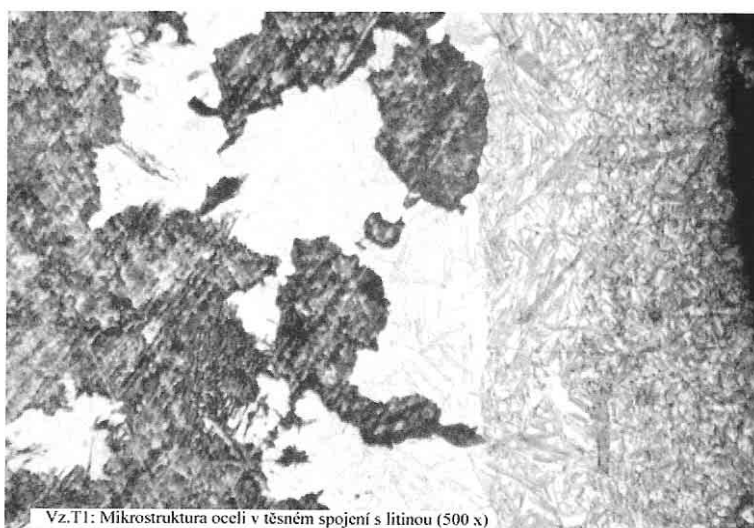
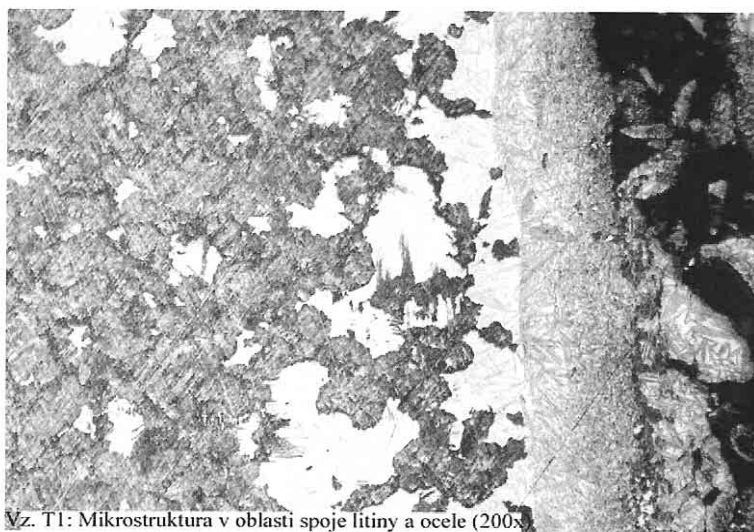
Obr. I



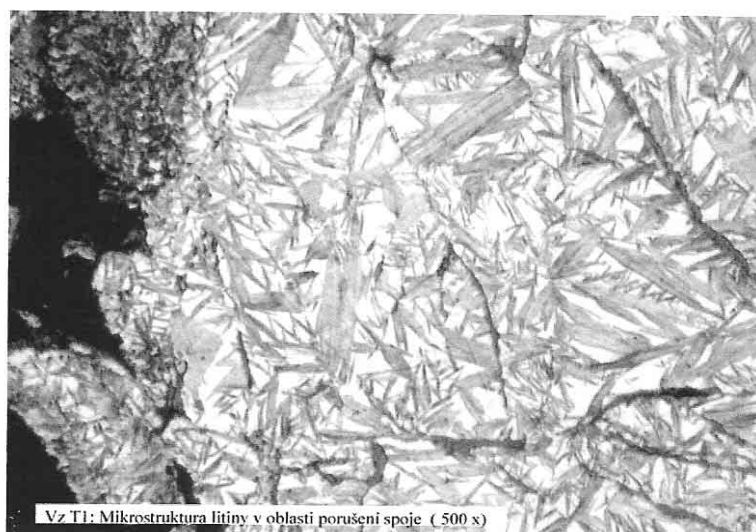
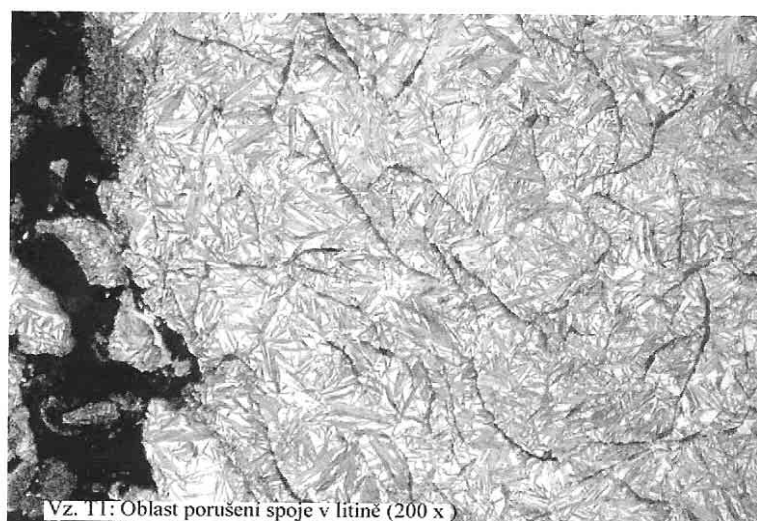
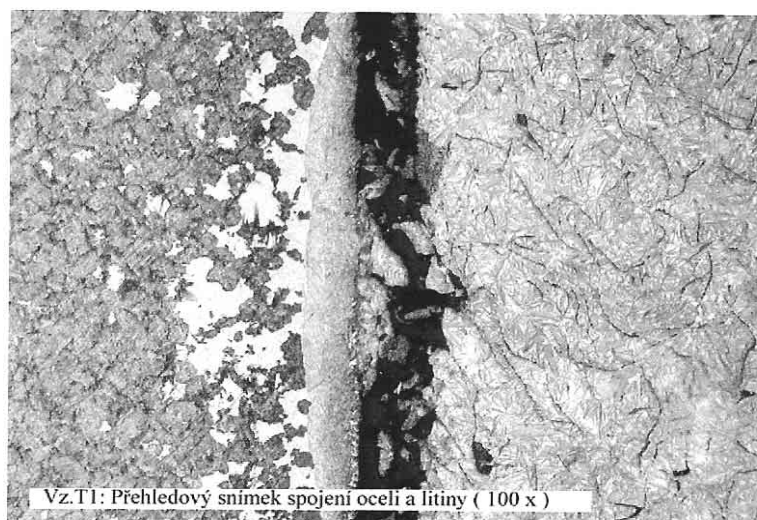
Obr. II



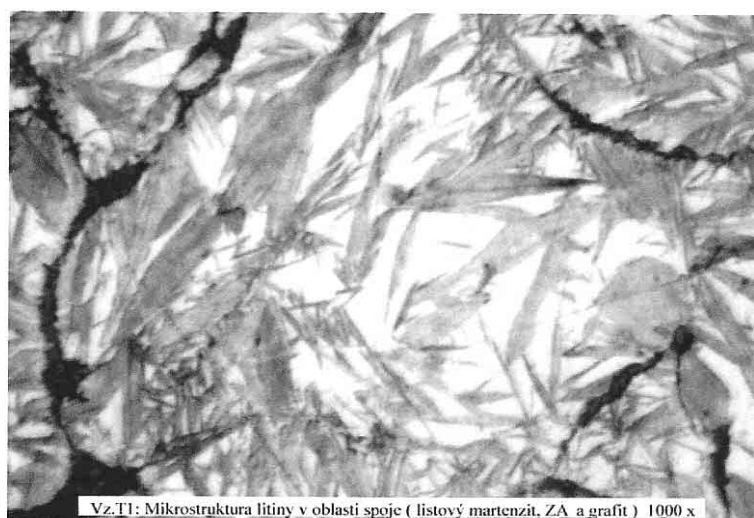
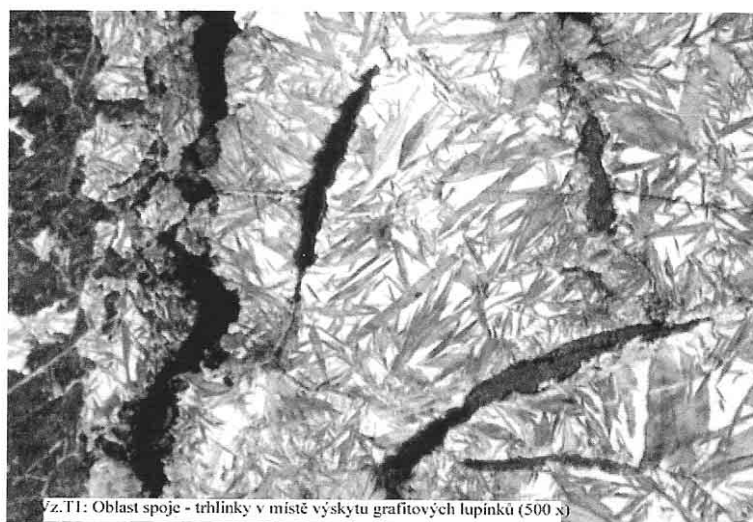
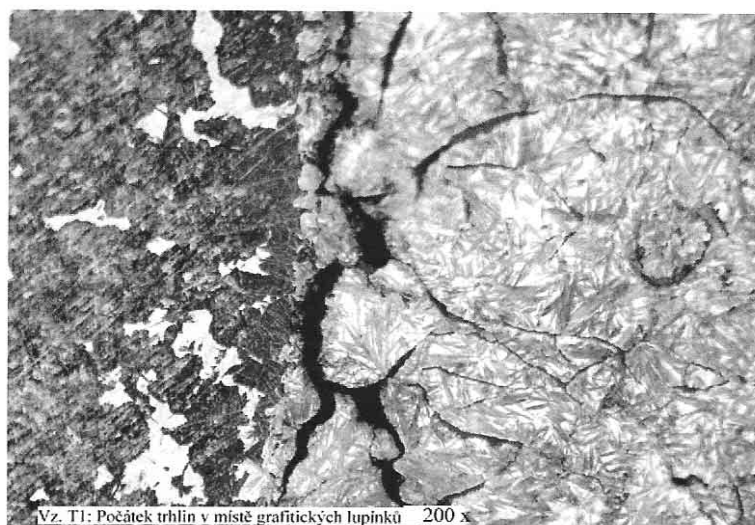
Obr. III



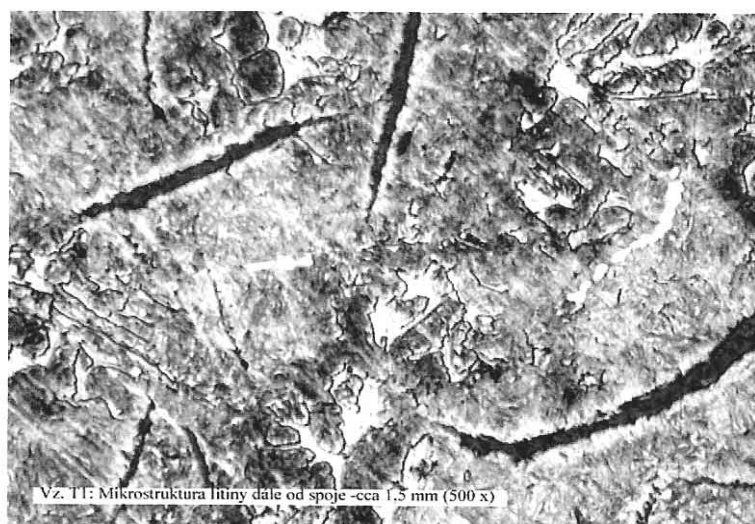
Obr. IV - VI



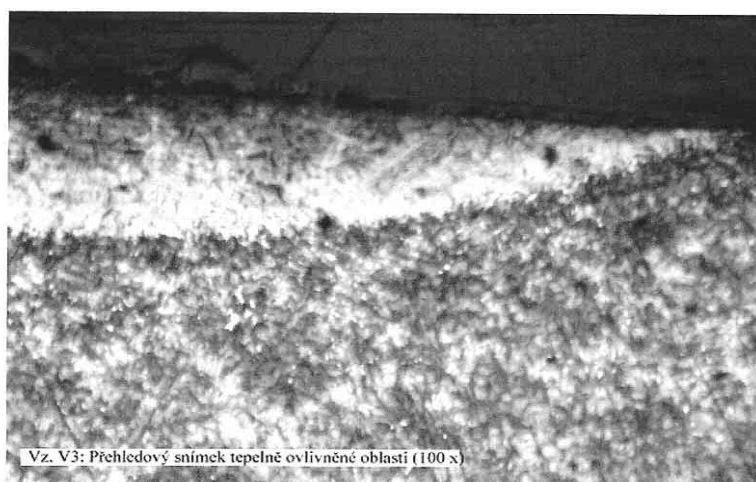
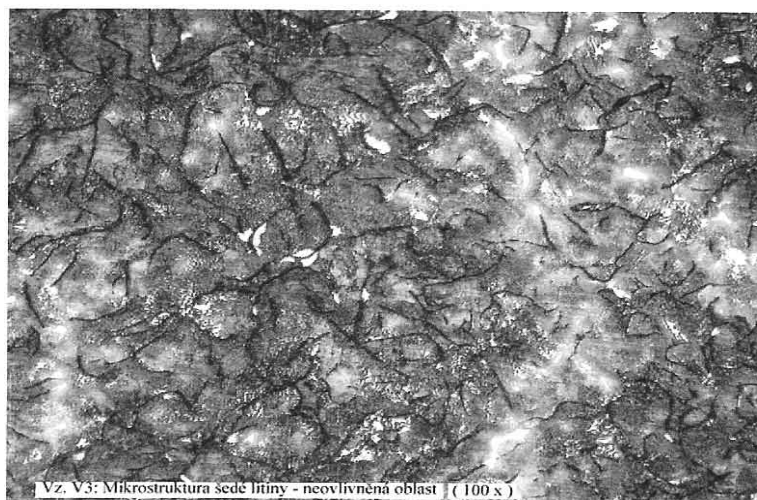
Obr. VII - IX



Obr. X - XII



Obr. XIII - XV



Obr. XVI - XVIII



Obr. XIX

Pro ověření výskytu jednotlivých mikrostruktur bylo potřeba provést zkoušky tvrdosti jednotlivých mikrostruktur viz Tab. 4

Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.05
 Doba zatížení:

Vzorek T1 - tvrdost jednotlivých strukturních složek

LITINA	HV 0.05	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
Listový martenzit + ZA	783.4	10.8	11.0	10.9
- " -	730.5	11.2	11.4	11.3
Martenzit + méně ZA	897.9	10.4	10.0	10.2
" - "	897.0	10.4	10.0	10.2
dále od spoje – bílá zrna	1158.7	8.9	8.9	8.9
- " -	1015.7	9.5	9.6	9.6
" - "	972.9	9.6	10.0	9.8
Kostříčky feritu	360.4	15.6	16.4	16.0
- " -	486.1	14.0	13.6	13.8
- " -	478.0	13.4	14.4	13.9
- " -	554.1	14.2	11.7	12.9
- " -	546.9	13.4	12.6	13.0
L: Martenzit v této oblasti	829.6	10.4	10.8	10.6
" - "	677.5	11.8	11.6	11.7
Neovlivněná oblast (roh)– zrna feritu + perlit	277.5	18.3	18.3	18.3
- " -	363.9	15.9	16.1	16.0
Ovlivněná oblast druhého rohu - martenzit, malé množství ZA -bez feritu	815.7	10.6	10.8	10.7
OCEL				
Martenzit a zbytkový austenit	830.7	10.6	10.6	10.6
- " -	830.7	10.6	10.6	10.6
- " -	715.4	11.4	11.4	11.4
Neovlivněná oblast : Perlit + ferit	394.0	15.0	15.6	15.3

Tab. 4 Ověření výskytu struktur měřením tvrdosti podle Vickerse

Tabulky 5/ 6 a grafy 1/ 2 ukazují průběh tvrdosti hřídele/ skříně, směrem od lomu do základního materiálu. Tabulka 7 a graf 3 ukazují průběh tvrdosti víka.

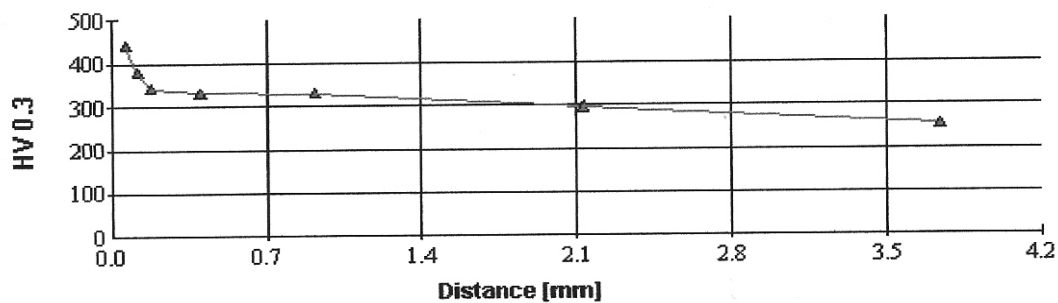
Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.3
 Doba zatížení:

Gradient tvrdosti napříč ocelí - vzorek T 1

	Dist[μ m]	HV 0.3	d1 [μ m]	d2 [μ m]	d [μ m]
1	65.7	442.3	35.0	36.0	35.5
2	119.7	380.6	37.8	38.6	38.2
3	179.3	342.3	40.2	40.4	40.3
4	401.9	331.7	40.9	41.0	40.9
5	918.1	331.3	41.1	40.9	41.0
6	2130.1	296.8	43.1	43.5	43.3
7	3739.3	254.5	46.3	47.2	46.8

Minimum: 254.5 Maximum: 442.3
 Průměr: 339.9 Medián: 331.7
 StDev: 59.773

Profil tvrdosti

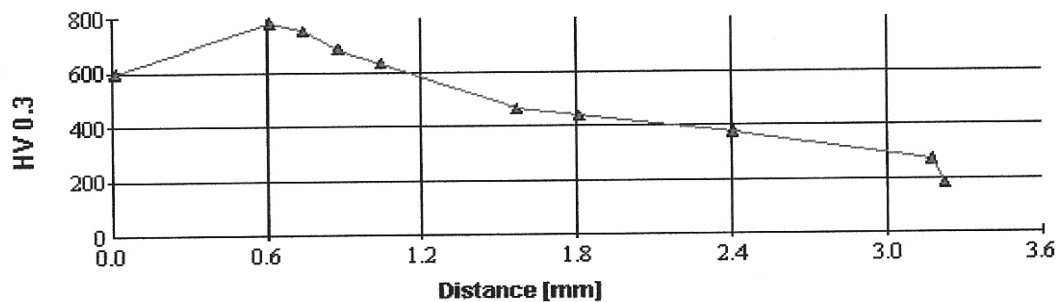


Gradient tvrdosti napříč litinou - vzorek T1

	Dist[μ m]	HV 0.3	d1 [μ m]	d2 [μ m]	d [μ m]
1	16.4	599.1	30.5	30.5	30.5
2	612.2	782.9	26.6	26.7	26.7
3	740.8	754.1	27.1	27.3	27.2
4	877.6	687.1	27.8	29.1	28.5
5	1041.8	632.6	29.7	29.6	29.7
6	1566.0	466.1	34.8	34.3	34.5
7	1808.7	439.6	35.0	36.2	35.6
8	2405.3	376.3	38.1	38.8	38.4
9	3172.0	270.8	44.9	45.7	45.3
10	3221.6	184.1	54.6	55.3	55.0

Minimum: 184.1 Maximum: 782.9
 Průměr: 519.3 Medián: 532.6
 StDev: 204.316

Profil tvrdosti



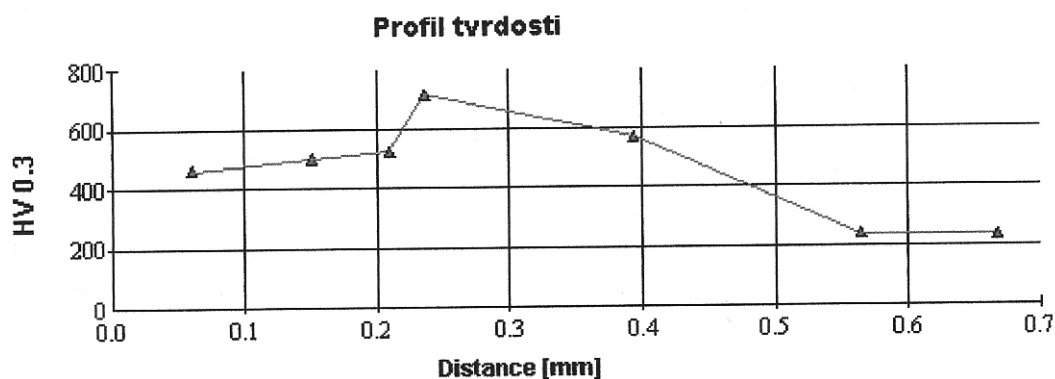
Metoda: Vickers
 Objektiv: 40x
 Zatížení: HV 0.3
 Doba zatížení:

Gradient tvrdosti v tep. ovlivněné části litiny - vzorek č.V3

	Dist[μm]	HV 0.3	d1 [μm]	d2 [μm]	d [μm]
1	61.0	463.4	33.9	35.4	34.6
2	151.0	501.1	32.3	34.3	33.3
3	209.3	525.9	33.8	31.3	32.5
4	235.9	716.6	27.3	28.5	27.9
5	393.2	571.7	31.3	31.1	31.2
6	564.8	238.8	46.7	49.8	48.3
7	667.2	236.9	49.4	47.5	48.5

Minimum: 236.9
 Průměr: 464.9
 StDev: 174.583

Maximum: 716.6
 Medián: 501.1



Velké množství zbytkového austenitu ZA tepelně ovlivněné oblasti odpovídá vysoké rychlosti přeměny a zakalení do oleje, teploty vyšší jak 70°C. Proto se lze domnívat, že kolize nastala při chodu motoru – za jízdy a nikoliv neprodleně po nastartování. Při předpokladu avizování poruchy (např. pokles tlaku..) nemuselo být konečné poškození tak rozsáhlé.

4.4 Diskuze výsledků

Hypotéza postupu havárie analyzovaného případu. Patrně nejdříve došlo k vyhrátí uložení v zadní skříni (P1B, P5). Které s sebou neslo vývin tepla, přenesené na ozubená kola a zvětšení jejich šířky. Následkem byl axiální příděr kol (P3), zvětšení odporu, vedoucí k částečnému ustřížení pera (P4) předního kola. Uvolněná část pera se drážkou v ozubeném kole dostala až mezi ozubené kolo a konstrukční sražení ve skříni čerpadla. Následoval postup této částice i v kluzném uložení. Jednotlivé příděry vedly ke konečné fázi havárie. Svarová pevnost byla vyšší jak pevnost hřídele a došlo k jeho ukroucení (P1 A).

Z výsledků vlastní analýzy i přiložených rozborů provozních poruch ozubených olejových čerpadel, odpovídal materiál hřídele i skříně až na malé výjimky předepsaným parametrům. Hřídele i čepy byly ve všech případech zakaleny na dostatečnou tvrdost. Naopak čepy vykazují silnější vrstvu prokalení a pevnost jádra hřídele odpovídá, nebo byla vyšší než v předpisu. Ani nadměrná tvrdost tedy nezabránila lomu. Díky rozborům můžeme určit nejkritičtější místa s ohledem na vznik havárií. Jedná se především o styk kola 11 s čepem 9 (obr. 2). V tomto místě dochází ke styku ocele s obsahem feritu na ocel kalenou. Proto jakákoliv ztráta mazacího filmu (mezní tření) vede k vytváření pevných třecích mikrosvarů. V tomto místě se spoléhá na zachování a neporušení mazacího filmu. Nepočítá se s možností porušení a tedy jinou ochranu kluzné dvojice. Správná funkce mazacího mechanismu je z velké části ovlivněna provozními podmínkami a může relativně lehce dojít k její porušení. Ozubené kolo je mazáno pomocí mazací drážky na čepu čerpadla. Jelikož čerpadlo nasává z přední komory horký, nečištěný olej (plnoprávný čistič je umístěn až mezi čerpadlem a hlavním kanálem), může dojít k nasátí a ukládání drobných nečistot přímo v kluzných uloženích. Výměník na chlazení oleje je také umístěn až za čerpadlem. Horký olej je opětovně namáhán v kluzných uloženích, a při větším tření (vývin tepla),

zvýšený sklon ke ztrátě viskozity. Ke ztrátě mazacího filmu může dojít i v oblasti zadní skříně čerpadla. Zadní skříň nasává olej po dosažení potřebné hladiny ve spodním víku klikové skříně – běh přečerpávací části čerpadla na prázdno. Při delším chodu na prázdno může dojít ke snížení mazacího filmu v uložení. Pro řešení problému kluzné dvojice čep / kolo by mohlo být řešení výroby kola a čepu jako jeden společný díl. Místa stávajícího uložení opatřit bronzovými pouzdry a převést kluzné uložení mezi čep a skříň čerpadla opatřenou bronzovými pouzdry. Druhé nejproblémovější místo je uložení v zadní skříně (P1 B, P5). Toto místo by mělo být tlakově mazáno od tlakové části čerpadla. Olej je vytlačován do zadní skříně čerpadla a tím maže kluznou dvojici hřídel (ocel kalená) / skříň (šedá litina). Přesto je toto místo zřejmě zdrojem vývinu tepla a zárodkem zadírání. Opět po ztrátě, či nedostatečném mazacím filmu dochází tvorbě mikrosvarů. Znova bych doporučil opatřit místo bronzovým pouzdem, či bronzovou vrstvou.

Jednotlivé rozbory ukázaly opakující se nedostatky na jednotlivých dílech a styku těchto dílů. Pro zvyšující se nároky jsou místa již na hranici použitelnosti, proto bych se přikláněl k jejich inovaci.

5. Závěr

Na tvorbu příděru mají vliv především tyto nedostatky:

- nevhodná kluzná dvojice. Při ztrátě mazacího filmu vytváří pevné třecí mikrosvary
- ztráta viskozity oleje a tím mazací schopnosti
- degradace oleje, ztráta mazací schopnosti dlouhodobým opotřebením (olej nebyl vyměněn dle předpisu)
- malá axiální vůle skříň čerpadla – ozubená kola
- nedostatečné mazání zadní skříň – olej se v přečerpávací části čerpadla vyskytuje pouze chvilkově (pokud olej ve spodním víku klikové skříň dosáhne potřebné hladiny)

Tyto zjištěné nedostatky jsou samostatně nezávažné. Jsou ale přímo úměrné na provozních podmínkách, které přispívají ke vzniku mezního tření a vzniku havárií.

5.1 Závěrečná doporučení

- vyrábět ozubení a hřídel jako jednu nerozebíratelnou součást
- kluzné uložení skříň čerpadla/hřídel opatřit bronzovým pouzdrem
- kluznou dvojici čep/ ozubená kola opatřit povrchem snižující tvorbu mikrosvarů (karbonitridace, pobronzování)
- dodržet materiálové a provozní předpisy

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Ing. Jiříčka: Dílenská příručka motorů M 1.2 C, 1. vydání 1993

- [2] Milan Vocel – Vladimír Dufek a kol., Tření a opotřebení strojních součástí., SNTL – Praha 1976

- [3] Ryš P., Mazanec K., Nauka o materiálu I 4A., Academia – Praha 1975

- [3] Interní zprávy TEDOM s.r.o., divize MOTORY
zprávy číslo 61 – 7 – 0324
61 – 7 – 0092
61 – 7 – 0248
9 7 0 9 6 9 5 2

PŘÍLOHY

Příloha č. 1 - ukroucený hřídel, vyhřátí zadní skříňe

Příloha č. 2 - vyhřátí uložení

Příloha č. 3 - axiální příděr kol

Příloha č. 4 - usmýknuté pero a rýhy jím způsobené

Příloha č. 5 - místo uložení zadní skříňe

Příloha č. 6 - motor TEDOM M1.2C M640 FNG, mazací soustava

Příloha č.1

A, ukroucený hřídel těsně za hnacím kolem



B, vyhřátí v uložení zadní skříně



Příloha 2

Masivní vyhřátí uložení



Vyhrnutí materiálu na okraj náboje přední skříňě

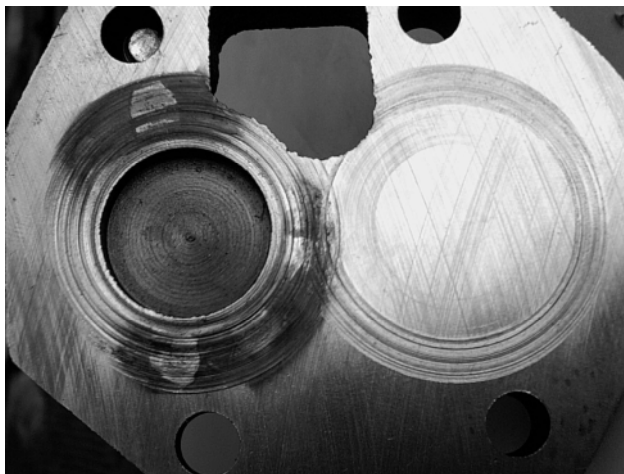


Příloha 3

Axiální příděr kol, po zvětšení jejich šířky

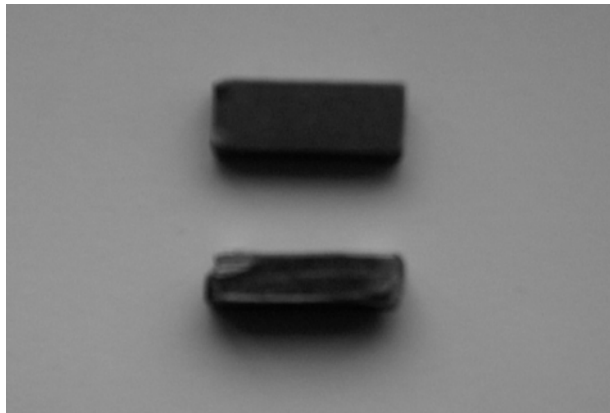


Axiální příděr a vyhřátí na stěně víka zadní skříně

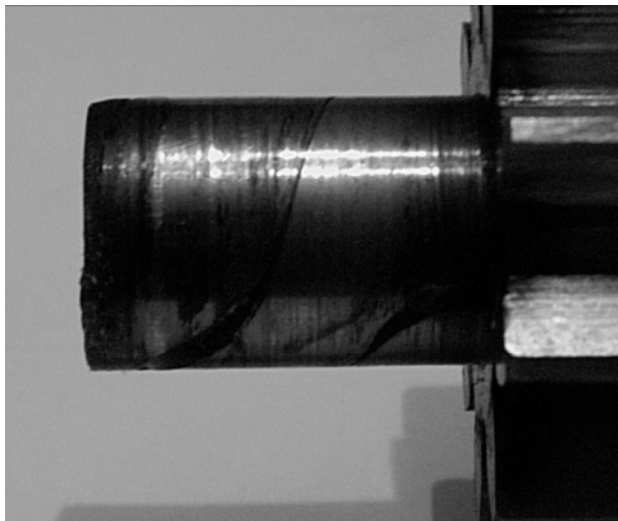


Příloha 4

Nepoškozené pero (nahore) a pero částečně ustřižené (dole)

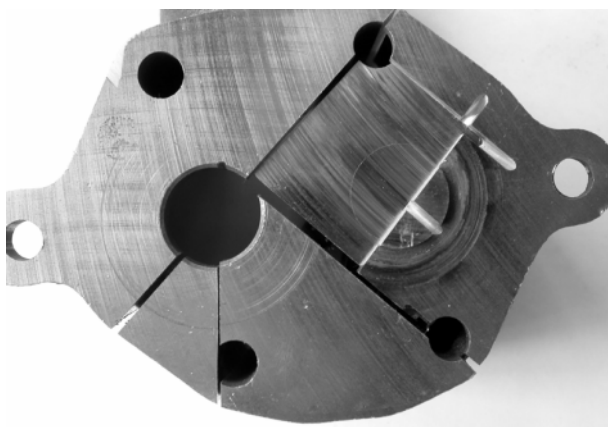


Šroubovice vzniklá ustřížením části para



Příloha 5

Místo příděru zadní skříně

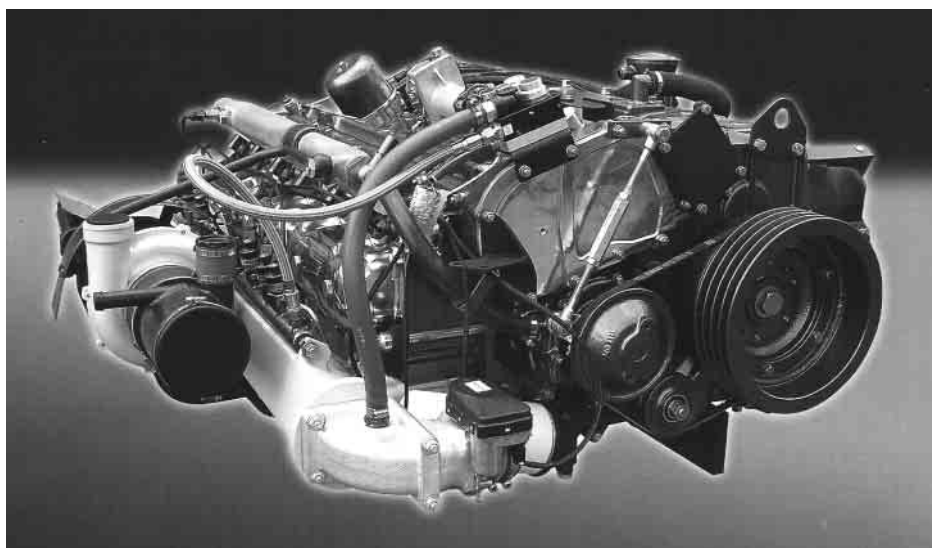


Axiální příděr kola s viditelnou navařenou litinou (oblast nad průměrem hřídele)



Příloha 6

Plynový motor TEDOM M1.2C M640 FNG 4



Zdvihový objem	11 946 cm ³
Vrtání válce / Zdvih pístu	130 / 150 mm
Kompresní poměr	11,1 :1
Jmenovitý výkon	210 kW
Jmenovité otáčky	2 000 min ⁻¹
Maximální točivý moment M _t	1 200 Nm
Otáčky při M _t max.	1 200 – 1450 min ⁻¹
Palivo	CNG – zemní plyn
Alternátor	75 A, 140 A
Startér	6,6 kW / 24 V
Turbodmychadlo	Ano
Mezichladič	Ano
Provedení	Horizontální / vertikální

Motor je určen především k montáži do městských a příměstských autobusů či komunálních vozidel. Jejich výkon je ve srovnání s ostatními motory nižší. Výhodou tohoto provedení s elektronicky řízeným vefukováním zemního plynu k jednotlivým sacím ventilům je přesné dávkování plynu pro jednotlivé válce motoru, a tím dokonalé spalování a následné snížení exhalací.

MAZACÍ SOUSTAVA MOTORU

Tlaková , se zubovým čerpadlem s dodávkou 90 – 100 l/ min. při otáčkách motoru 2 000 min⁻¹ a přečerpávacím čerpadlem s dodávkou 104 l/ min. při otáčkách motoru 2 000 min⁻¹ . **[1]**

Mazací tlak oleje:

při 600 – 650 ot / min.	Min. 170 kPa
při 1 400 – 2 000 ot / min.	450 – 520 kPa
čistič oleje plnoprůtočný	s papírovou filtrační vložkou, filtrační schopnost 16 µm

PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 18.5.2006

Podpis: