

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



HABILITAČNÍ PRÁCE

2000

Břetislav Skrbek

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

U336 - B. SKRBEK

APPLICATION PROBLEMS OF GRAPHITIC CAST IRON AT
DIESEL ENGINES AND TRUCKS

PROBLÉMY APLIKACE GRAFITICKÝCH LITIN U VZNĚTOVÝCH MOTORŮ
A NÁKLADNÍCH AUTOMOBILŮ

Soubor uveřejněných vědeckých a inženýrských prací
doplněný komentářem

Obor strojírenská technologie 23-07-8

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146071334


Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Březen 2000

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Univerzitní knihovna
Voronážská 1329, Liberec 1
PSC 461 17

U336 C

KSP
741.
obr

3 soubory komentované prací

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

HABILITAČNÍ PRÁCE

PROBLÉMY APLIKACE GRAFITICKÝCH LITIN U VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

A NÁKLADNÍCH AUTOMOBILŮ

Soubor uveřejněných vědeckých a inženýrských prací
doplněný komentářem

Obor strojírenská technologie 23-07-8

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146071334


Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Březen 2000

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Univerzitní knihovna
Voroněžská 1329, Liberec 1
PSC 461 17

U336 C

KSP
441.
obr
3 praxe komentovaný prac

Obsah

1. Úvod.....	4
2. Motory, vozy ze ŠKODA LIAZ.....	5
3. Odlitky z litiny s lupínkovým grafitem.....	7
3.1. Mechanismus porušování grafitických litin.....	8
3.2. Fraktografie a lomová houževnatost litin.....	8
3.3. Tepelná únava.....	9
3.4. Rozbor kvality litiny a její ovlivňování.....	10
4. Litiny s kuličkovým grafitem.....	12
4.1. Izotermicky kalená LKG.....	13
5. Specifické litinové díly.....	18
6. Závěr.....	20
6.1. Stručný souhrn vybraných poznatků.....	20
6.2. Perspektiva litin.....	23
Použitá označení a zkratky.....	24
Výčet komentovaných prací.....	25

Příloha - kopie publikovaných vědeckých prací (1. svazek [1;19]) a interních inženýrských (2. [20; 25] a 3. svazek [26; 34]) komentovaných prací.

PROBLÉMY APLIKACE GRAFITICKÝCH LITIN U VZNĚTOVÝCH MOTORŮ A NÁKLADNÍCH AUTOMOBILŮ

1.

Úvod

Odlitky z litiny s lupínkovým grafitem tvoří nezastupitelnou část nosných dílů pohybových ústrojí nákladních silničních vozidel. Litiny s kompaktním grafitem se postupně uplatňují i na dynamicky namáhané součásti pohybových ústrojí. Litiny tak v této kategorii dopravních prostředků patří stále k nejdůležitějším konstrukčním materiálům. Pro vytvoření a výrobu úspěšného výrobku se musí spojit úsilí konstruktéra, kvalitáře a materiálového inženýra. Druhá kapitola patří stručnému seznámení s kategorií výrobků ŠKODA LIAZ a. s., pro které výsledky prezentované habilitační práci vlastně také slouží.

I. Úspěšný vývoj konstrukce složitých a "bezpečnostních" odlitků a efektivnější využití litiny s lupínkovým grafitem nastolily úkol přeložit konstruktérovi:

- 1) Představu o skutečných mezních stavech při namáhání litiny, hlubší znalost souvislostí mezi únavovými a statickými vlastnostmi vysvětlení mechanismu deformace a rozvoje mikro a makro poruch.
- 2) Přehled o rozložení a ovlivňování mechanických vlastností v odlitku.
- 3) Vývoj kvality (mezních stavů) kritických míst odlitku v čase dodávek.

Tuto problematiku řeší první blok prací [1-7,20-25].

II. Litiny s kompaktním grafitem (LKG,LČG) nalézají stále širší aplikace na dynamicky namáhané konstrukční prvky vozidel. Standardní aplikace náhrad lité oceli dominovaly do poloviny osmdesátých let. Devadesátá léta uvádí do popředí i problematiku aplikací izotermicky kalených litin [8-17,26-30].

III. Nakonec uvádím příklad zpráv, které se týkají sice jednoduchých dílů vznětového motoru z litiny s lupínkovým grafitem, ale se specifickým provozním namáháním [18,19,30-34].

Náměty prací veřejně publikovaných tvoří jednak doporučení z mé disertační práce a dílčí výsledky úkolů technického rozvoje a spolupráce s VUT Brno.

Komentář obsahuje pouze odkazy publikovaných a interních prací obsažených v příloze. Až tyto práce obsahují odkazy na externí literární prameny.

2.

Motory, vozy z ŠKODA LIAZ v devadesátých letech

Všechny aplikované motory se produkuje a vyvíjí na bázi řadového přeplňovaného šestiválce chlazeného vodou o obsahu 12 litrů s dvěma ventily na válec. Do r.1993 byl nosným provedením typ M1.2A a B s omezenou možností plnění zpřísňovaných exhalčních předpisů.

Sériová výroba motorů řady C byla zahájena v roce 1993 v souvislosti s náběhem nových emisních předpisů EHK 49.02 respektive směrnice ES 88/77 obecně známých jako EURO I. Nejvýkonnější motorem této řady ve vozidlovém provedení sériově montovaným do modernizované řady vozů LIAZ 300 je motor M640 S s maximálním výkonem 242 kW při 2000 ot./min. a nejvyšším kroutícím momentem 1475 Nm při 1300 ot./min. Pro další zvýšení přepravních výkonů zejména v mezinárodní kamionové dopravě ale i z důvodu lepších užitečných vlastností těžkého sklápěče 6x4 vyrábí LIAZ další výkonovou modifikaci-motor M640 T o maximálním výkonu 280 kW při 1950 ot./min. Motor je vybaven novým regulátorem vstřikovacího čerpadla BOSCH, který při zlepšené funkci tlakového korektoru podstatně zlepšuje akcelerační schopnosti vozidla a umožňuje udržovat velmi plochý průběh křivky kroutícího momentu, který je opět zvýšen na maximální hodnotu 1560 Nm prakticky v rozsahu 1100-1500 ot./min. motoru. Uvedený průběh momentové křivky zlepšuje ve spojení s převodovkou PR.AGA 14PS150 a dalšími konstrukčními detaily hnacího řetězce vozů řady 300 ekonomii provozu vozidla jak v kopcovitém terénu z důvodu menšího počtu potřebných řazení, tak při ustálené rychlosti, kdy umožňuje volbu vhodného převodu z hlediska minimalizace spotřeby paliva, hlučnosti a

životnosti pohonné jednotky při dostatečné výkonové rezervě pro akceleraci.

Další variantou je motor M636 E. Tento motor o výkonu 180 kW při 2000 ot./min. a opět velice plochým průběhem kroutícího momentu max. 1060 Nm v rozsahu 1000-1500 ot./min. motoru je určen pro komunální vozy na bázi podvozku LIAZ a především v ležatém provedení pro městské a meziměstské autobusy KAROSA. Právě z důvodu tohoto specifického použití motor plní další náročné zpřísnění evropských emisních limitů této kategorie motorů známé jako EURO II, které je závazné pro výrobce těžkých nákladních automobilů a autobusů od 1.10.1996. LIAZ tímto přispívá ke zlepšení čistoty ovzduší v městských aglomeracích při zvýšení rychlosti a komfortu hromadné dopravy.

Evropské automobilky (např. VOLVO) přicházejí s motory nové koncepce tj. s centrálními vstřikovacími jednotkami paliva, které jsou umístěny přímo v hlavě motoru a odstraňují tak nevýhody klasického vstřikovacího čerpadla. Tyto motory mají potom předpoklady splnit i emisní limity roku 2000.

Základní filosofií vývoje je zkonstruovat a odzkoušet dieselův motor s el. řízenou centrální vstřikovací jednotkou včetně řídícího systému (EUI), který splní zpřísněné emisní limity ozn. E III.

Nový 12 l šestiválec musí tedy především splňovat následující hodnoty emisí kyslíčnicků dusíku (NOX) a částic (Pt) měřené dle předpisu EHK R 49 (13 bodový test):

NOX.....5

g/kWh

Pt.....0,1

g/kWh

Motor musí tyto hodnoty splňovat při následujících max. výkonových parametrech:

Max. kroutící moment.....1750 Nm / 1200-1500 ot.min-1

Max. výkon (nominální).....300 kW / 2000 ot.min-1

Předpokládá se, že bod minimální spotřeby na vnější rychlostní charakteristice bude mít nižší hodnotu než 200 g/kWh a spotřeba

při nominálním výkonu bude mít nižší hodnotu než 220 g/kWh. Životnost nového motoru se předpokládá vyšší než 750 000 jízd-ních kilometrů ve vozové zástavbě.

Zcela je nutno přestavět hlavu válců, rozvodová kola a jejich uložení, vačkový hřídel, pohony ventilů a vstřikovačů, přední a zadní víko motoru. Žádnou technologickou podobnost nebude možno sledovat zvláště u hlavy válců, kterou je nutno koncipovat jako jeden díl s vertikální polohou vstřikovače a vždy čtyřmi ventily na válec motoru. Základní koncepce uvedeného šestiválcového motoru tj. zdvih 150mm a vrtání 130 mm zůstává tedy stejná.

Dosud provedené práce a poznatky z nich plynoucí souvisící s projektem EURO III vývoje motorů ŠKODA MOTORY a. s. i v oblasti materiálového inženýrství nelze mimo vnitrofiremní potřeby rozšiřovat.

3.

Odlitky z litiny s lupínkovým grafitem

[1] Základní převrat v nazírání na šedou litinu jako konstrukční materiál tvoří skutečnost, že konstruktér nedostává pro zadání výpočtů jen pevnost R_m , ale škálu mezních stavů experimentálně jednoduše stanovitelných, které mají svoji ekvivalenci v mezi únavy, kluzu běžných kovových materiálů. Výsledky navazují na práce Drápala v sedmdesátých a Exnera v osmdesátých letech. Nový způsob získávání mezních stavů litin však není průmyslově rozšířen a zatím není ani snaha o jeho průnik do standardizace a softwarového vybavení zkušební techniky. Danou problematikou by se měla zabývat širší odborná veřejnost.

Pro rozměrovou stabilitu konstrukcí staticky namáhaných nad mez σ_R (přibližně $0,35R_m$) je důležitý poznatek o jejich stabilizačním předzatěžování.

Dalším prvkem, který obohacuje zkušebnictví litin s lupínkovým grafitem je možnost rekonstrukce skutečné hodnoty pevnosti R_m u přilítých tyčí s velkou hladinou vnitřních pnutí

ultrazvukovým měřením.

3.1

Mechanismus porušování grafitických litin

Útvary grafitu mohou přenášet pouze tlaková (lépe objemová) namáhání. Proto litina s lupínkovým grafitem má prakticky čtyřikrát větší pevnost v tlaku jak v tahu. Prostorová napjatost a vrubový účinek lupínků grafitu (LLG) působí již při malých osových napětích mikroplastické deformace (u lupínků kolmých k hl. tahovému napětí). Tvar panenské zatěžovací křivky se významně liší od křivky zatěžování tělesa již zatěžovaného. Po vyčerpání plastické deformace vznikají na koncích (zejména dlouhých) lupínků grafitu mikrotrhliny ještě při celkově nízkých hodnotách napětí ve srovnání s pevností R_m . Tahová zatěžovací funkce $\sigma=f(\epsilon)$ je od počátku proto nelineární. Její derivací lze získat hodnoty fyzikálních mezních stavů namáhání, přičemž mez R_E odpovídá mezi únavy σ_c . Pro litiny se smíšeným a hrubým grafitem tato mez klesá na $0,2 \cdot R_m$. S kompaktností grafitu poměr R_E / R_m roste.

Fyzikální meze kluzu σ_t nejen litin s lupínkovým grafitem odpovídají podstatně menší trvalé deformace jak 0,2%. Udávat konstruktérům pro pevnostní výpočty mez kluzu litin $R_{F0,2}$ vede k snížení bezpečnosti.

Pro velmi snadné získání hodnot mezních stavů v ohybu (nejčastější způsob namáhání litinových dílů) doporučuji mikroohybovou zkoušku [4].

3.2.

Fraktografie a lomová houževnatost litin

Znalost fraktografie pomáhá řešit případy provozních lomů litinových částí.

Pro omezený rozsah [1] jsem nemohl publikovat obrazovou dokumentaci ŘEM typických silových a únavových lomů. Fraktografický popis nemůže nikdy nahradit reálnou fotodokumentaci. Přikládám proto k [1] sérii 11-ti snímků

silových a únavových lomů LKG, LČG a LLG. Příslušné struktury a střední vlastnosti litin (přilítých do Y2 bloků - tab.1) náleží výfuk. potrubí (LLG), hlavám válců pro vývoj (LČG) a držákům per (LKG).

Tabulka 1

Ozn.	Litina	Mechanické vlastnosti				Struktura	
		R _m	E ₀	HB	K _{IC}	F/P	G
		MPa	GPa		MPa.m ^{1/2}	%	
LLG	ČSN 42 2420/25	240	125	221	34,3	0/100	IA4/5
LČG	GGV40	415	167	181	52	80/20	III+V(30%)
LKG	ČSN 42 2306	650	172	215	66	30/70	VI 5 (90%)

Základní chemické složení: Tabulka 2

C	Si	Mn	P	S	SE
3,48	1,87	0,88	0,14	0,06	0,96
3,7	3,14	0,23	0,09	0,02	1,12
3,6	2,27	0,5	0,06	0,01	1,02

3.3.

Tepelná úrava

Životnosti mnohých motorových dílů souvisí s tepelnou únavou litiny. Výfukové potrubí vede žhavé výfukové plyny z hlavy válců do turbodmychadla. Je ohříváno pomalými cykly v celém průřezu stěn do červeného žáru a přitom nese turbodmychadlo. Třecí plocha spojky setrvačnicku se při prokluzu povrchově zahřívá až nad teplotu přeměny Al. Ventilová plocha hlav válců v můstcích mezi sedly ventilů a oblast můstku mezi vývrty vložených válců na bloku trpí nejvíce napětím od tepelných cyklů ze spalovacího prostoru. Při nedostatečném odvodu tepla tyto partie mohou podlehnout tepelné únavě zejména v můstcích mezi ventily. Při nesprávné funkci chlazení a těsnění se můstky mohou porušit únavovými lomy.

Mechanismus tepelné únavy na třecí ploše lamelové spojky setrvačnicků vysvětluje [2, 3]. Z něho pak plyne i doporučení na vlastnosti litiny s vysokou odolností proti tepelné únavě.

3.4.

Rozbor kvality litiny a její ovlivňování

Také občasné problémy s užitnými vlastnostmi motorů (např. ztráta těsnosti dosedací plochy hlav ventilů, nízká tuhost uložení klikové hřídele, lomy přepážek válců...) vyvolaly vývojovou činnost v oblasti simulace kvality litiny slévárenskými vlivy a široké aplikace nedestruktivní diagnostiky kvality litiny sériově vyráběných dílů zejména v blocích válců k postižení konstrukčních a výrobních faktorů zmíněných problémů.

Mechanické vlastnosti a struktura grafitických litin závisí sice na tloušťce stěn odlitku, často však ještě více na průtočnosti tekutého kovu stěnou při lití. Vztah hodnot mechanických vlastností a parametrů struktury z přilitých zkušebních těles a různě silných stěn, nedestruktivní diagnostika (P , R_m , R_e). Výsledky experimentů v uvedených námětech velice stručně předkládají příspěvky [6] a [7] .

Studium změn strukturněmechanických vlastností v silných litinových stěnách v souvislosti s fyzikálními vlastnostmi a dosažitelnou jakostí povrchu [5] předkládá důležité poznatky pro praxi. Například víka ložisek klikového hřídele se klasicky kontrolovala prostým měřením tvrdosti metodou HB10/3000. Stálost uložení klikové hřídele však nezávisí na povrchové tvrdosti, nýbrž na tuhosti poměrně silnostěnného (40 mm) průřezu odlitku. Modul pružnosti E charakterizuje jako fyzikální veličina i tuhost litiny. Práce [5] s využitím ultrazvukové diagnostiky prezentuje zmapování hodnot E průřezů odlitků ložisek v závislosti na jakosti litiny a dosažitelné drsnosti funkčních ploch pro uložení pánve ložiska obráběním. Nepřípustné překročení drsnosti povrchu totiž vede k tvorbě bariéry odvodu tepla z ložiska! Výkresem je tak předepsána a na vstupu výroby prováděna 100% kontrola ultrazvukem (viz. přiložený výkres a úvodní list návodky kontrolní operace v závěru) na mezní hodnotu $E_0 = 120$ GPa. Mimo jiné přínosy se také zabránilo dodavateli rozpouštění odlitků z nepovedených

taveb do běžné série (dříve jen statisticky kontrolované).

Bloky válců tvoří hlavní nosnou součást motoru. Odlitek bloku válců (o hmotnosti cca 300kg) je relativně tenkostěnný (7 až 20 mm) se složitými krystalizačními poměry při tuhnutí ve formě. Pro studium rozložení strukturněmechanických vlastností v rámci složitého odlitku a pro časový vývoj jejich kvality v rozsahu běžného kalendářního roku (bloky lité bez velkoobjemového předpecí [21], s velkoobj. 25T předpecím, [22], bloky s konstrukčními úpravami [23] bylo nutno změřit soustředit značné množství experimentálního materiálu. Jeho prezentace [20, 21, 22] v plném rozsahu v rámci této práce by příliš zvětšila její objem. Do nových poznatků důležitých pro praxi lze tak proniknout studiem pouze přiložených textových částí [21, 22, 23]. Ty obohacují mapy strukturní situace ve dvourozměrném poli matrice (M, HB, F) - grafit (E₀), neboť tento způsob vyjádření vlastností litin díky své názornosti umožňuje vyčíst řadu důležitých poznatků o samotném odlitku či souboru odlitků. Tento způsob předkládání výsledků byl a bude vlastní zařízením SYLIT pro komplexní nedestruktivní diagnostiku litinových odlitků. Přispívám metodicky k jejich vývoji firmě ELKOSO s.r.o. BRNO.

Průřezové sledování kvality s nasazením nedestruktivní techniky bylo do poloviny 90-tých let nutno uskutečnit i u řady jiných litinových dílů. Jako příklad zmiňuji [24] rozbor souboru dodávek hlav válců s číslem modelu M1503 pro motory M1.2A a B. Dodavatel se snažil opravit odlitky nepovedených taveb kalením a popuštěním. Tyto odlitky pak rozpouštěl v rámci běžných dodávek. Kalení do vody iniciuje z konců lupínků grafitu mikrotrhliny. Jejich rozvoj podnítí provozní zatěžování. Montáž zmíněných hlav na motory mohla mít nedozírné důsledky.

Alespoň přibližný obraz o konstrukci a materiálových poměrech šestiválcové hlavy pro motory (EURO III) 21. století předkládá [25] ve fotodokumentaci a v zmapování mechanických vlastností 1. realizovaného odlitku tohoto typu.

4.

Litiny s kuličkovým grafitem

Jak již bylo uvedeno nástup náhrad ocelových odlitků "tvárnou litinou" na odlitcích přední a zadní nápravy patřil první polovině osmdesátých let. Vnitropodnikové problémy spojené s jednotlivými aplikacemi a nové poznatky uvádí závěrečné zprávy tehdejších úkolů rozvoje. V roce 1985 jsem vypracoval komplexní zprávu pro nadřízený orgán **"Aplikace tvárné litiny v n. p. LIAZ"**. Zpráva pro komisi při GR ČAZ z 1.7.1985, (121s.). Pro její neaktuálnost a velký rozsah ji v seznamu prací pro komentář neuvádím.

Kardinální problém tehdy byl sehnat volnou kapacitu slévárny LKG v Československu. Nebyla realizována úspěšně odzkoušená ozubená kola z LKG rozvodu motorů. Jejich čas ve formě ADI nastává až nyní u EURO III. Podstatně snazší bylo realizovat odlitky z LKG v Bulharsku (slévárna "vysokopevných litin '8" v Loveči) pro zadní nápravy (skříně diferenciálu, hlava kol, čelisti brzd, držáky čelistí brzd), které se v závodě MADARA Šumen pro LIAZ vyráběly.

Poslední velkou konstrukční skupinou dílů, která přešla z oceli 42 2409 na LKG 42 2305 byly držáky, ať již per nebo budky. Práci [26] uvádím jako příklad jedné ze závěrečných zpráv úkolů aplikačního vývoje odboru materiálu LIAZ. Konstrukčně nesou tyto odlitky z LKG tvary ocelových předchůdců i vzhledem k seskupení sousedních dílů konstrukčních skupin. Nebylo tedy možno docílit ani maximálních užitných efektů změny materiálu. Až nová konstrukce celku obvykle dovolí navrhnout tvar zohledňující aplikovaný materiál. V plném rozsahu se z LKG držáky uplatňují již od počátku u nové vozové řady označované 300.

Na počátku osmdesátých let jsem vypracoval i studii výroby LKG pro případný investiční záměr ve slévárně LIAZ LIBEREC pro krytí vnitropodnikové potřeby.

Aplikační vývoj odlitků z tepelně nezpracovávané litiny s kuličkovým grafitem byl veden s tehdejšími SVÚM Brno a pak v

dodavatelských slévárnách (TRANSPORTA, ČKD - obě již zrušeny, MŽ Olomouc). Základní zkoušky v oblasti lomové houževnatosti a únavy za různých teplot se konaly ve spolupráci s výzkumem n.p. TATRA, kde byly daleko příznivější podmínky pro osvojení aplikačního vývoje [8]. V porovnání s podobnými aplikacemi LKG v jiných automobilkách byla v LIAZ dobře vyvinuta diagnostika a prognostika vlastností v odlitku.

Jednotlivé aplikace LKG na díly v devadesátých letech hlavně motoru prochází již rutinní cestou od návrhu po výrobu bez publikační odezvy. O nich dává určitý obraz přehledová zpráva [28] .

Odlitky z LKG podobně jako ocelové odlitky při tuhnutí stahují. Konstruktor musí na výkres předepisovat mezní množství a polohu vnitřních vad tak, aby nebyly na újmu životnosti součástí. Nebezpečnější jsou dutiny spojené s obrobeným povrchem (v místech koncentrace napětí) jak podobné uzavřené vady. K jejich kvantifikaci jsme u referenčních odlitků hlav předních kol (bezpečnostní díl) z litiny 42 2305 použili metodu postupných řezů s fotodokumentací [29,30]. Byl získán dokonalý prostorový obraz výskytu dutin, který tvořil jednak měřítko k porovnání odlitků různých sléváren ale hlavně základ pro technologická opatření k jejich potlačení.

Nezbytným předpokladem jistoty předepsaných hodnot mechanických vlastností odlitku z LKG je vyloučení min. 85% grafitu ve tvaru kuliček (aplikace ADI 90%). Kontrolu tekuté litiny po modifikaci umožňuje ultrazvuková a elektrovodivostní rychlozkouška [17]. Uvedené metody jsem uváděl do praxe především v slévárnách odlitků pro LIAZ [16] a také v AUTO ŠKODA Mladá Boleslav.

4.1.

Izotermicky kalená LKG

Výzkum vlastností izotermicky kalené litiny s kuličkovým grafitem tvořil hlavní námět spolupráce s katedrou nauky o materiálu VUT Brno již od počátku osmdesátých let [9, 10]. Zprvu používaný název bainitická tvárná litiny mnohde přežívá

dodnes, ale ve své podstatě není vhodný. Při izotermickém kalení zaustenitizované litiny s kuličkovým grafitem do intervalu teplot solné lázně 250 až 400°C se čeká na vyloučení struktury, kterou tvoří zbytkový austenit a "laťky" uhlíkem přesyceného feritu (pro 30 až 120 minut výdrže). Pravý bainit, který je typický až vyloučením jemných karbidů z uhlíkem přesyceného "ausferitu" vzniká až mnohem později (při výdrži v uvedeném intervalu teplot).

Mezinárodně používané názvy litin charakterizují výraz pro materiál litin slovním vyjádřením tvaru grafitu. Ve smyslu evropské standardizace výrazů tedy i u nás je standardizován výraz litina s kuličkovým grafitem místo tvárná litina.

Obecně se v mezinárodním měřítku pro izotermicky kalenou litinu s kuličkovým grafitem používá zkratky ADI (Austemperd Ductile Iron) .

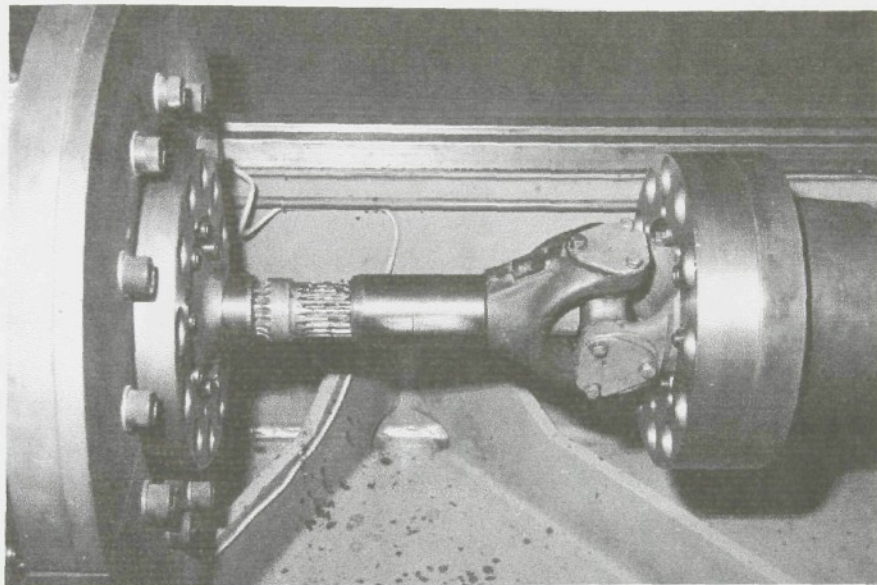
Ceny slitin železa a jejich polotvarů spolu nedostatkem kapacit odlitků z litiny s kuličkovým grafitem a zvláště kapacit zařízení kalíren pro izotermické kalení do poloviny osmdesátých let nedovolovaly uvažovat o větších dílech z ADI na motory pro běžnou sériovou výrobu. Uvědomme si, že v té době byla produkce nákladních automobilů LIAZ i TATRA více jak desetinásobná ve srovnání s polovinou let devadesátých.

Proto první zkoušky se týkaly drobnějších dílů nově řešeného rozvodu vyvíjených motorů díky výhodným kluzným vlastnostem spolu s vysokými hodnotami mechanických vlastností zvláště v ohybu [10]. Snaha vynechat bronzová pouzdra s malými zkušenostmi konstruktéra s novým materiálem však nevedly často k jednoznačným výsledkům.

Výzkumy alternativních způsobů tepelného zpracování (k izotermickému kalení do solných lázní) umožnily pouze získání struktur dolního ausferitu ("bainitu"), který je vhodný pouze na staticky nebo kontaktně namáhané díly. Pro únavové namáhání nejvýhodnější horní ADI je nezbytné tepelné zpracování v solné lázni. V osmdesátých letech volné kapacity pro potřebná množství nebyly volné.

Výzkumy mechanických vlastností široké škály variant ADI zejména při dynamickém zatěžování [9, 14] daly konstruktérům podklady pro aplikace ADI i v oblasti jinak dominantní pro tvářené oceli - výkovků (obr .1) .

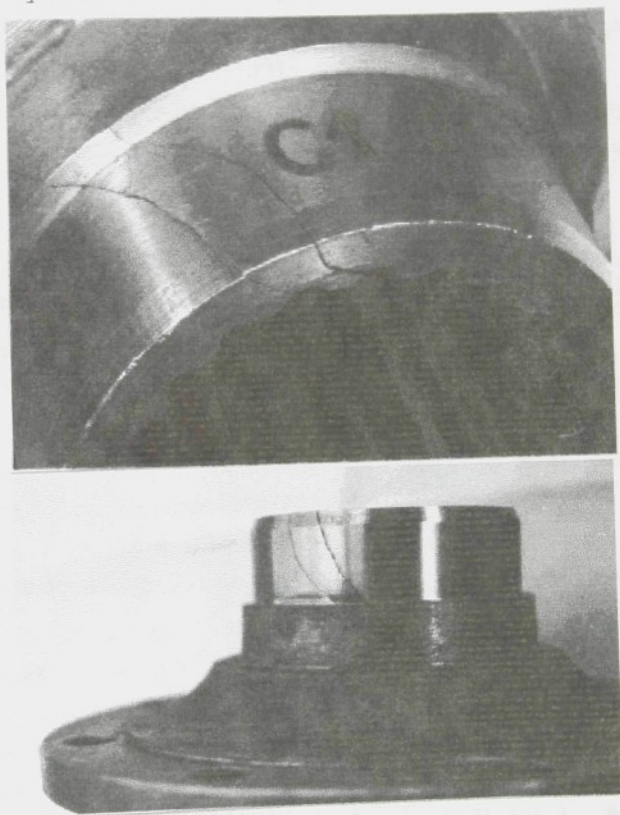
Užitečným se stal i výzkum kluzných a kontaktních vlastností ADI [11, 12]. Šanci na ekonomicky efektivní náhrady se vytvořily pouze u součástí s malým materiálovým využitím (většina materiálu polotvaru odchází do třísek při obrábění).



Obr.1. Pohled na zkoušenou sestavu tvořenou nábojem s přírubou, posuvným nábojem, které propojuje drážkovaný hřídel. Zkušební stroj pro únavové torzní zkoušky PTOS Schenck.

Vysokých úspor pracnosti, které významným dílem přispívají k výhodnosti aplikací ADI, se přitom dosahuje také obráběním měkkých téměř feritických odlitků. Vhodným průběhem austenitizace se pak strukturní matrice nasytí z globulí grafitu uhlíkem, aby se dosáhlo max. efektu izotermického kalení. U litin můžeme totiž během výrobního toku součásti z odlitku operovat s různým množstvím obsahu uhlíku v "ocelové" matrici, což u ocelí v celoobjemovém měřítku není možné.

Kalení do solné lázně působí podstatně menší deformace součástí jak při kalení na martenzit. Izotermicky lze proto i načisto obrobené součásti. Koncem osmdesátých let se kapacity sléváren odlitků z LKG téměř vyrovnávaly s poptávkou strojírenských závodů již lépe. Řízený propad zbrojní výroby na počátku devadesátých let otevřel kapacity kalíren s technologií izotermického kalení do solných lázní. Proto se realizovaly výsledky interního výzkumu [13] k nimž přispěly informace ze společného výzkumu s VUT Brno [9, 14].



Obr.2. Místa vzniku únavové trhliny - v patě radiusu evolventního drážkování na konci náboje.

Výkovky jako polotovary vynikají v porovnání s odlitky vysokou hutností (homogenitou) materiálu. Pro aplikace ADI se proto kladou obecně přísná kritéria na nízkou hladinu vnitřních

vad. K našemu překvapení však dlouhodobé provozní i staniční zkoušky spolehlivě absolvovaly náboje z odlitků s velkými staženinami ve stěně pod nálitkem (ve 4. st. homogenity dle směrnice CDS 22/1985). Z únavových zkoušek nábojů vyplynuly oblasti první iniciace a rozvoje únavového porušení. V těchto partiích bylo nutno samozřejmě získat litinu bez oslabení nehomogenitami (obr.2). Odlitky z ADI tedy není nutné vždy kupovat s vysokými přírážkami za max. stupeň homogenity 1-2, které velice často znehodnocují ekonomický efekt. Vady musí být ale soustředěny v „bezpečných“ místech odlitku a znalostí o rozložení namáhání se jeví jako nezbytné.

Seznámení konstruktérů a technologů s vlastnostmi ADI a s příklady aplikací v zahraničí prostřednictvím osvěty [27] přineslo řadu návrhů v oblasti motorových dílů. Jak jsem předeslal dříve, opět je výhodnější navrhnout díly nové jak provádět náhradu u stávajících sériových dílů. Spolupráce s katedrou materiálu VUT Brno probíhá i v současnosti [15].

Na širším využití ADI se pracuje v projektu EURO III.

V současnosti již není problém získat výrobní kapacitu pro zadávané odlitky z LKG, neboť slévárny odlévají s velkými rezervami produkce. Dodávají převážně pro zahraničním zákazníkům.

Množství odlitků, které potřebuje ŠKODA MOTORY na přelomu letopočtu nedosahují ani desetiny potřeb LIAZ roku 1990!

Odlitky z ADI pro zkoušky a provozní ověření izotermicky kalily obvykle na VUT Brno. Nejbližší kalírnu s využitelnou kapacitou izotermického kalení (solná lázeň AS 140) v posledních deseti letech provozoval TESET a.s. Semily. Od r. 1997 kryje ŠKODA MOTORY a.s. potřeby izotermického kalení zařízením ve vlastní kalírně. Kromě provozních a ekonomických výhod tato skutečnost především umožňuje lépe optimalizovat proces tepelného zpracování a provádět zkoušky operativně a ve vlastní režii.

5.

Specifické litinové díly [18]

Vložený válec patří ke kmenovým odlitkům motoru. Jeho zatížení v provozu tvoří početný soubor:

- kavitační a elektrochemické z vodní strany pláště -
- vnitřní dynamický přetlak spalovacího prostoru
- tepelnými cykly v oblasti nákrůžku
- adhezni opotřebení kmitajícími pístními kroužky.

Přesto z tohoto postu nebyla dosud vytlačena pozice litiny s lupinkovým grafitem díky výborným kluzným vlastnostem s odolností proti opotřebení.

V polovině devadesátých let se slabým místem vloženého válce stala vodní strana, kde se často tvořily kavitační jamky různých velikostí. Ty větší těsně pod nákrůžkem přibližuje obr.3.

Základním opatřením k potlačení kavitačního napadání (podporované koroze) byl jednoznačný předpis chemicky neškodné



Obr.3. Typický příklad kavitačního napadení vodního pláště vloženého válce vznětového motoru.

a povrch pasivující chladicí kapaliny. Materiálová opatření se na základě získaných poznatků [31] promítla do materiálového

listu a jednání s dodavatelem AGS Jičín. Varianta vývoj materiálu - izotermicky kalené LČG - by měla perspektivu v případě akutních problémů s životností.

Sedla ventilů čelí abrazivnímu opotřebení produktů spalovacího procesu a dynamickým silovým rázům ventilu, odvádí teplo z ventilů. Pro vznětové motory na naftu se ustálilo použití speciální legované (slévárna Buzuluk Komárov a. s.) šedé litiny.

Plynové motory vykazují zvýšené opotřebení v sedlech [32]. Expertízou doporučen perspektivní materiál i způsob nedestruktivního předvídaní opotřebení litinových sedel. Speciální osvědčená komplexně legovaná slitina (sedla WAUKESHA), která vykazuje vysokou odolnost vůči opotřebení při relativně nízké tvrdosti (dá se třískově obrábět při svrtávání v hlavách válců) by byla nejlepším materiálovým řešením.

Zdvihátka ventilů se zdvihají čárovým kontaktem vačky. Přenášená síla vyvolává značné dynamické kontaktní namáhání. Desítky let se odlévají ze šedé litiny funkční plochou na kovovou desku. Vytvořená ledeburitická vrstva vykazuje tvrdost kolem 55HRC a tahové vnitřní pnutí. Zejména po broušení významný výskyt trhlin si vynutil vývoj originální kontrolní metody [19]. Výkres předepisuje zákalku min. 3,5mm silnou. Vyvinutý způsob ND jejího měření prezentuje [34].

Koncem devadesátých let životnost zdvihátek ze šedé litiny nezvýšila na dostatečnou hladinu ani jejich iontonitridace. Kromě jistého ale velmi drahého řešení - ocelové zdvihátko s plátkem slinutého karbidu WC - je ve hře i další řešení [15].

Oběžné kolo vodního čerpadla z LLG v lopatkách musí přenášet kromě hydraulické síly chladicí kapaliny zatížení kavitačním napadením (koroze v případě nevhodného chladicího media). Odlití tenkých lopatek bez ledeburitických vrstev v předepsané jakosti LLG klade stále problémy slévárnám. Rozbor problému [33] a doporučení (izotermické kalení) nyní problém vyřešilo.

6.

Závěr

Na obsahu habilitační práce se podílí příspěvky nebo práce vydané hlavně v devadesátých letech. Pouze pět jich pochází z doby dřívější.

6.1.

Stručný souhrn vybraných poznatků

Fyzikální mezní stavy při namáhání litin [1]:

R_E ...mez převážně pružných deformací (srovnatelná s mezí únavy)

σ_R ...mez tečení za normální teploty (trvá max. 15 až 20 min.)

σ_I ...mez pružně plastických deformací (iniciace mikrotrhlin)

σ_{II} ...mez převážně plastických deformací (rozvoj trhlin)

R_m ...mez pevnosti.

Uvádět v technické dokumentaci pro litiny smluvní meze není vhodné.

Měřením rychlosti zvuku v_L při zkoušce pevnosti v tahu lze identifikovat vnitřní pnutí v tyči a rekonstruovat hodnotu pevnosti bez vnitřního pnutí [1].

Velikost modulu pružnosti E_0 nepřímo závisí na velikosti grafitových lupínků D (LLG). Příklad vztahu pro E_0 v GPa [5]

$$D = 2080 - 6,23 \times E_0^{0,5} \quad \mu\text{m} \quad (6.1).$$

S velikostí lupínků D (typ A) roste dosažitelná minimální drsnost obráběného povrchu. Pro konkrétní případ soustružení platí [5]

$$R_a = \ln(D/9,29) - 0,614 \quad \mu\text{m} \quad (6.2).$$

Kombinací ultrazvukové a magnetické ND struktury litin (např. zařízením SYLIT) lze s dostatečnou přesností měřit pevnost stěn litinových odlitků [7,23]. ND umožňuje nalézt kritická místa (nejcitlivější na změny v metalurgické technologii) v složitých odlitcích [20]. Sledování těchto míst v čase v rámci statistické kontroly pomůže odhalit příčiny kolísání kvality a sjednávat operativní opatření k nápravě [20-23]. Výraz použitý pro výpočet pevnosti R_m LLG

$$R_m = 46,5 \times M^{0,58} \times (L/L_u)^{2,93} \text{ MPa} \quad (6.3)$$

Předpokládané opotřebení A sedel ventilů bylo pro konkrétní provozní podmínky motoru rovněž zjistitelné kombinovanou ND měřením rychlosti zvuku ultrazvukem a tvrdosti [32].

Ze všech druhů kovových matric litin přísluší největší hodnoty M zbytkového magnetizmu a nejnižší rychlosti zvuku v_L struktury horního „bainitu“. Tato skutečnost souvisí s vnitřním demagnetizačním činitelem struktury vrstvené z feromagnetické a paramagnetické fáze. Horní bainit bude proto možno ND spolehlivě měřit [13].

Rychlost zvuku v_L jako fyzikální veličina měřená integrálně v prozvučovaném sloupci odlitku dokonaleji reprezentuje určitý podíl zrnitého grafitu GVI v LKG jak subjektivní metalografický odhad z plošného výbrusu [16]. Příklad výrazu stanoveného pro odlitky výfuk. potrubí

$$GIII = 1332 - 0,236 \times v_L \quad \% \quad (6.4)$$

v AUTO ŠKODA M1. Boleslav.

$$v_L = 5920 \times L/L_u \quad \text{m/s} \quad (6.5).$$

Impulsní proudová magnetizace ledeburitických čel pracovních ploch zdvihátek ventilů umožňuje vysoce produktivní a energeticky úspornou kontrolu povrchových vad [19]. ND hloubky zákalky předchází ztrátám při obrábění a nízké životnosti [34].

Prokázán příznivý vliv průtočnosti tekuté litiny stěnou na mechanické vlastnosti LKG a LČG vyšších pevnostních tříd ve stěně s licí kůrou. Přitom hodnoty tvrdosti mají opačný trend. [6,7].

U součástí z LKG jakosti 42 2306 a oceli podobné pevnostní kategorie 42 2660 při zatěžovacím spektru pod mezí únavy se předpokládá stejná životnost jak za normální tak za snížené teploty až do -80°C. Pokud část zatěžovacího spektra překračuje mez únavy, bude jejich životnost v případě použití LKG kratší. S poklesem teploty přitom klesá počet cyklů do silového dolomení a roste plocha silového lomu [8].

Pro feriticko perlitické LKG mez únavy vzrůstá s hodnotou

R_m. Naopak pro LKG zpracovanou jako ADI klesá mez únavy s rostoucími hodnotami R_m [9]. Nejpriznivější únavové vlastnosti vykazuje perlitická LKG legovaná pouze Cu nebo ADI s „horním bainitem“. Obě struktury dosahují přibližně stejných hodnot únavové pevnosti.

Závislost R_m na mezi únavy pro LKG tak popisuje parabolická funkce [14, 27]

$$\sigma_c = 0,49 \times R_m - 0,00025 \times R_m^2 \text{ MPa} \quad (6.6)$$

Odlitky z ADI lze efektivně nahrazovat zápusťkové výkovky z uhlíkových ocelí pokud dochází k významným materiálovým úsporám. Bylo dosaženo přibližně stejných hodnot meze únavy v krutu [13]. Slévárenské vady a neprokalení nesmí přitom pronikat na funkční povrchy součástí po obrobení.

Z hlediska opotřebení (adhezni kluzný kontakt s kalenou ocelí) na základě výsledků [10] vyhovujících výsledků dosáhla ADI legovaná 0,13% Mo. Ke struktuře dolního bainitu LKG lze použít žíhanou ocel, ale zušlechťenou ocel nelze doporučit [11].

Efektivní postup aplikace odlitků ADI. Výchozí materiál tvoří nelegovaná feritická LKG s GVI min.90%. Po snadném obrobení se izotermicky kalí do solné lázně. Finální transformační zpevnění [27].

Izotermické kalení náhradními postupy vede pouze k získání dokonalého dolního bainitu [27].

Zušlechťení tenkostěnných odlitků z LLG nevede obvykle k zvýšení pevnosti (mikrotrhlínky z konců grafitu) [33]. Minimální deformace a vysokou pevnost zaručí v těchto případech izotermické kalení hotových obrobků do solné lázně (příklad: oběžná kola čerpadel, kapodastr klavíru).

Metodou postupných řezů lze vykreslit dokonalý tvar ředin a staženin. Tvoří nejlepší podklad pro porovnání dodavatelů a vytvoření účinných opatření k jejich potlačení [29, 30].

Mechanismus kavitačního napadení vodních ploch vložených válců iniciuje korozní napadení podél lupínek grafitu. Z materiálového hlediska se odolnost zvýší vyloučením kratších lupínek grafitu a jemného perlitu ve struktuře, legování Cu a

litím do kokil [31].

Impulzní proudová magnetizace ledeburitických čel pracovních ploch zdvihátek ventilů umožňuje vysoce produktivní a energeticky úspornou kontrolu povrchových vad ve fluorescenční indikační lázni [19].

ND hloubky ledeburitické vrstvy čel zdvihátek byla vyřešena měřením rychlosti zvuku přes celou délku válcového zdvihátka, nebo měřením zbytkového magnetizmu na čele odlitku [34].

6.2.

Perspektiva litin

Z hlediska záruky jakosti a aplikací:

- a) Požadavky na stále materiálově reprodukovatelnější a kvalitnější odlitky pro automobilový průmysl koliduje se stále nepříznivějšími surovinovými vstupy a pestrostí sortimentu sléváren. Účinné nasazení metod ND poskytne záruku kvality zákazníkovi a informace pro udržení jakosti v dohodnutých mezích slévárně.
- b) Efektivnější využití litiny v konstrukci odlitků umožní znalost hodnot skutečných mezních stavů při namáhání litin (vstupní data pro výpočetní techniku). Jejich měření si proto osvojí běžné materiálové zkušebnictví.
- c) Zhodnocení kovové hmoty litin izotermickým kalením nemusí být doménou pouze odlitků z LKG. Má perspektivu i u LLG a LČG. V oblasti ADI nutno zvládnout pro průmyslové využití technologii strukturního zpevnění (výrazné zvýšení meze únavy).

Použitá označení a zkratky

- A.....opotřebení mm
- D.....délka lupínek grafitu μm
- E_o.....počáteční modul pružnosti MPa
- F.....množství feritu %
- G.....označení grafitu litiny
- HB....tvrdost podle Brinella
- K_c....lomová houževnatost
- L.....skutečná síla stěny
- L_u....síla stěny měřená ultrazvukem seřízeným na ocel (vLo=5920 m/s)
- M.....číselná hodnota na displeji přístroje DOMENA přímo úměrná intenzitě zbytkového magnetického pole na povrchu odlitku
- P.....množství perlitu %
- R_a....drsnost povrchu μm
- R_e....mez kluzu MPa
- R_e....mez převážně pružných deformací MPa
- R_{p0,2}...smluvní mez kluzu MPa
- v_L....podélná rychlost zvuku m/s
- σ.....mechanické napětí obecně MPa
- ADI...Austempered Ductile Iron - izotermicky kalená LKG
- LČG...litina s červíkovým grafitem
- LKG...litina s kuličkovým grafitem
- LLK...litina s lupínkovým grafitem
- ND....nedestruktivní diagnostika.
- ŘEM...řádkovací elektronová mikroskopie

Výčet komentovaných prací

I. Vlastnosti litin v odlitcích. Veřejně publikované práce.

[1] SKRBEK, B. Mechanismus porušování litin, jeho interpretace na tahovém diagramu a sledování změn fyzikálních vlastností. Mezinárodní konference FRAKTOGRAFIE'94, sborník, SAV Košice, 1994, s. 309 - 315.

[2] SKRBEK, B., BÁRTA, B. Tepelná únava šedé litiny. Slévárenství, 1985 č.4, s. 147 - 152.

[3] SKRBEK, B., BÁRTA, B. Thermal Fatigue of Grey Cast Iron. Materials information 11, 1986-Translation Service, The Institute of Metals 1 Carlton House Terrace London. Svazek 16 s.

[4] SKRBEK, B. Mikroohybová zkouška litin. CONMET 91, II. celostátní konference, sborník, BRNO 1991, s. C7 1 - 3.

[5] SKRBEK, B. Vztah rychlosti zvuku, tloušťky stěn a drsnosti obrobených povrchů litinových odlitků. DEFECTOSKOPIE'93, celostátní konference se zahr. účastí, sborník, M&C České Budějovice, 1993, s. 72 - 80.

[6] SKRBEK, B. Vztah mechanických vlastností v odlitcích a přilitých vzorkovacích tělesech. CONMET'94, 5. mezinárodní sympozium o zařízení a metodách pro studium struktury a vlastností materiálů, sborník, BRNO, 1994, s. 96 - 99.

[7] SKRBEK, B. Vztah mechanických vlastností v odlitcích a přilitých vzorkovacích tělesech. METAL'95, 4. mezinárodní metalurgické sympozium, sborník, Ostrava, 5. 1995, s. 164 - 168.

II. Litiny s kuličkovým grafitem. Veřejně publikované práce.

- [8] SKRBEK, B. , Konečný, V . Využití tvárné litiny v konstrukci čs . nákladních automobilů. Konference "Vývoj automobilů", ČS VTS ÚVMV Praha, říjen 1986, s. 110 - 116.
- [9] VĚCHET, S., DORAZIL Eduard, BÁRTA, B., SKRBEK, B. Únavové vlastnosti tvárné litiny při zatěžování pulzujícím ohybem. Knižnice odborných a vědeckých spisů VUT Brno SF KNM, ročník 1990, svazek B - 132.
- [10] SKRBEK, B., BÁRTA, Bohumil. Využití bainitické tvárné litiny na odlitky motorů. Hutnické listy, 1983, č. 10., s. 722 - 725.
- [11] SKRBEK, B., BÁRTA, B., DOBEŠ, P. Kluzné vlastnosti třecích dvojic bainitické tvárné litiny s podeutektoidní ocelí a bronze CuSn12. INTERTRIB0~93, sborník, DT Bratislava, 1993,s. 98 - 104.
- [12] BÁRTA, B., SKRBEK, B. Ductile cast Iron and its some Interesting Characteristics with Consideration of Wear. Symposium Životnost výrobních zařízení pracujících v podmínkách intenzivního opotřebení, sborník, SVÚM Praha a VŠ zemědělská, 1992, s. 84-89.
- [13] SKRBEK, B. Efektivní náhrada tvářené oceli bainitickou tvárnou litinou na součástech nákladních automobilů. Konference Progresivní materiály v konstrukční praxi, sborník, SAV Košice, 1993, s. 104 - 113.
- [14] VĚCHET S., POLÁK J., OBRTLÍK K., DORAZIL E., ŠVEJCAR J., SKRBEK B. HIGH AND LOW CYCLE FATIGUE OF AUSTEMPERED DUCTILE

IRON. WORKSHOP, MATERIALS SCIENCE IN MACHANICAL ENGINEERING, TU of Brno grant No. F-59-94.

[15] SKRBEK, B., VĚCHET, S., PODRÁBSKÝ, T. **Aplikace ADI na díly vznětových motorů.** 5. mezinárodní metalurgické sympozium, sborník, Slovenské zlievarenské spol. při TU Žilina, 9. 1999. s.75 - 80.

[16] SKRBEK, B., VODIČKA, Petr. **Zkušenosti s provozováním ultrazvukové rychlozkoušky účinku modifikátoru.** Konference Očkovadla a predzliatiny, sborník, INPEKO Žilina, 1991, s. 112 - 118.

[17] SKRBEK, B., WEISS Jan. **Příspěvek nedestruktivní kontroly k zvyšování kvality odlitků z tvárné litiny.** 4. mezinárodní škola defektoskopie, sborník, DT ČSVTS Bratislava, 1991, s. 20 - 23.

III. *Specifické díly z LLG. Veřejně publikované práce,*

[18] SKRBEK, B. **Kvalita oceli a litiny součástí ve vztahu ke spolehlivosti motoru.** Konference Súčasný stav a prognózy vývoja hutnictva na Slovensku, sborník, TU HF Košice, 1997, s. 234 - 241.

[19] SKRBEK, B., VOLEJNÍK Petr. **Kontrola zdvihátek ventilů polévací metodou s impulsní magnetizací.** DEFEKTOSKOPIE'91 celostátní konference, sborník, M&C České Budějovice, 1991, s. 169 - 179.

Autor Břetislav Skrbek

I. Vlastnosti litin v odlitcích. Nepublikované inženýrské práce.

[20] **Statistická kontrola materiálu bloků motorů M1A**, zpráva LIAZ 147-3-Sk/89 (19 s. text, 20 s. obr. a tab., 100 s. příloh). Celoroční komplexní nedestruktivní sledování kvality litiny (Rm, HB, Eo, σ_F) v 15-ti kritických místech odlitku bloku motoru (soubor čítal přes 100 odl.). Tavárna slévárny bez velkoobjemového mísiče tekuté litiny. Kritické dynamicky namáhané místo s největší citlivostí na metalurgické vlivy-vnitřní přepážky válců.

[21] **Statist. kontrola mater. bloků motorů M1A**, zpráva LIAZ 176-4-Sk/90. (24 s. text, 25 s. obr. a tab., 130 s. příloh). Stejně celoroční sledování. Tavárna s provozem 25T mísiče tekuté litiny. Přínos-vyhodnocení.

[22] **Bloky válců M3341/II**. Zpráva LIAZ a. s., 201-06-B/92, odbor materiálu. (12 s., 3 obr., 7 tab., 13 příloh). Celoroční sledování vývoje kvality strukturněmechanických vlastností konstrukčně upraveného bloku. Poznatky o vlivu úprav. Zpětné vazby na slévárnu k zlepšení kvality z průběhu časového vývoje.

[23] **Kontrola materiálové jakosti odlitku bloků válců naftových motorů**. Závěrečná práce specializovaného (4.semestrového) studia defektoskopie, Ústav materiálového inženýrství WT' Brno, 1/1994 (24 s.).

[24] **Hlavy válců M1503 - expertíza materiálu**. Zpráva 97021803 ŠKODA LIAZ a.s., vývoj motorů. (12 s.).

Vysvětlení náhodného výskytu těžkoobrobitelných odlitků.

Aplikační vývoj nasazení nedestruktivní kontroly
strukturněmech. vlastn. Opatření.

[25] **Hlava válců M4282 č.3/95 - posouzení materiálu.** Zpráva 96040703 ŠKODA LIAZ vývoj motorů. (3 s.).

Na základě zmapování jakosti litiny na jednom z prvních odlitků šestiválcové hlavy pro nový motor EIII navrženo legování litiny.

II. Litina s kuličkovým grafitem. Nepublikované inženýrské práce.

[26] **Držáky per z tvárné litiny.** Závěrečná zpráva podnikového úkolu T - 10 - 998, LIAZ a, s., odboru materiálu. (24 s., 8 příloh). Příklad jedné z více zpráv vývoje aplikace LKG na skupinu vozových dílů.

[27] **Izotermicky kalená LKG - souhrn vlastností - zkušenosti s aplikacemi na dílech nákladních vozů,** zpráva 93/25 LIAZ Jablonec, (36 s.); Rozsáhlý materiál především pro konstruktéra a technology LIAZ podporující aplikace a zpracování.

[28] **Litina s kuličkovým grafitem v dílech vozů LIAZ.** Zpr.950703. (5s.). Přehled o stavu aplikací k 30. 6. 1995.

[29] **Hlava předního kola TRANSPORTA-vnitřní vady,** zprávy 960902L3 a 961102L3 pro ŠKODA LIAZ Liberec;
Přiřazení vizuálních nálezů dutin na obrobených plochách skutečnému tvaru a objemu dutin (zjištěny metodou postupných řezů) v původním stavu a po úpravě vtokové soustavy.

[30] **Hlava předního kola ROSS- dokumentace vad,** práce 960901L3 a 961103L3; Zprávy ve stejném smyslu jako předchozí dvě. Porovnání obou dodavatelů hlav z LKG. Stanovení mezních parametrů vad.

III. Specifické díly z LLG. Nepublikované inženýrské práce.

[31] **Vložené válce motorů LIAZ-životnost-shrnutí dalších poznatků**, zpr. 96030206 LIAZ; (13 s.).

Na základě rešerše světových poznatků a souč. stavu životnosti vyprac. studie vývoje mater, a nových TPP.

[32] **Sedla ventilů pro plynové motory**, zpr. 96040515, 96120315, 97010315 ŠKODA LIAZ; (10 s.).

Rozbor vysokého opotřebení a změn vlastností po obvodu sedel, doporučení.

[33] **Oběžná kola 002 a 005 - mater. zkoušky**, zpr. 931011 LIAZ; (13 s.). Rozbor kvality dodávek odl. a tep. zpr. s ohledem na minimalizaci výskytu cementitu, obrobitelnost a odolnost vůči kavitaci. Opatření.

[34] **Zdvihátka ventilů ŠKODA pro osobní vozy**, zpráva 980788SZ; (6 s.). ND hloubky ledeburitické vrstvy. Shrnutí výsledků technické pomoci slévárně zdvihátek ventilů.

Datum: 20.10.1995 Vypracoval: Ing. B. Skrbek, CSc.	Návodka kontrolní metody	Pro: LIAZ03		
	T-SCOPE DL Přístroj	stř. OŘJ-VstTK		
Kontrolovaný díl	Víka ložisek klikových hřídelů			
Kontrol. vlastnost	Tuhost vyjádřená modulem pružnosti (rychlostí zvuku) E_0 (v_L)			
Princip:	$E_0 = (437,8 \times L / Lu)^2 \text{ MPa}$ $v_L = 5918 \times L / Lu \text{ m/s}$			
Vlastní provozní měření spočívá v kontrole kritických hodnot Lu UZ tloušťkoměrem, kterým přísluší předepsané hodnoty E_0 , pro známé šířky L vík ložisek. Přístroj je seřízen na rychl. zv. 5918 m/s.				
Tabulka kritických hodnot Lu pro jednotlivé typy vík a jakosti litin: obrobená víka!				
model	ozn.v síti VIKA	L mm	42 2425 E_0 120 Lu mm	42 2420 E_0 105 Lu mm
4205	B	50	$\leq 63,2$	do 67,6
2721	/	49	≤ 62	66,2
2720	A	48	$\leq 60,7$	64,9
Kontrolované místo a orientace sondy:			<u>dělení dvojité sondy</u> <u>kolmé k oblouku víka</u>	
Použitá sonda: kmitočet 1MHz průměr 1/2"				



U 556 • I. I. II.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



HABILITAČNÍ PRÁCE S KOMENTÁŘEM

2000

Břetislav Skrbek

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

**PROBLÉMY APLIKACE GRAFITICKÝCH LITIN U VZNĚTOVÝCH MOTORŮ
A NÁKLADNÍCH AUTOMOBILŮ**

Habilitační práce s komentářem**Obor strojírenská technologie 23-07-8****Ing. Břetislav Skrbek, CSc.****Březen 2000**

PŘÍLOHA

I. SVAZEK

Kopie publikovaných vědeckých prací [1 až 19].

**MEDZINÁRODNÁ
FRAKTOGRAFICKÁ
KONFERENCIA
'94**

Zborník prednášok

**I
N
T
E
R
N
A
T
I
O
N
A
L
C
O
N
F
E
R
E
N
C
E
O
N
F
R
A
C
T
O
G
R
A
P
H
Y**

Proceedings

10-13. October 1994
STARÁ ĽESNÁ, SLOVAKIA

MECHANISMUS PORUŠOVÁNÍ LITIN, JEHO PROMÍTNUTÍ DO TAHOVÉHO DIAGRAMU A ZMĚN FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ

MECHANISM OF FAILURE OF ALLOYS, ITS INTERPRETATION IN THE TENSILE DIAGRAM AND OBSERVATION OF CHANGES OF PHYSICAL PROPERTIES

Břetislav Skrbek

LIAZ a. s. Jablonec nad Nisou

Úvod

Litinové odlitky tvoří převažující hmotnost nosných součástí pohybových ústrojí (motory, nápravy, diferenciály aj.) dopravních prostředků. Litiny jsou stále nejdůležitějším konstrukčním materiálem pro odlitky.

Výroba přeplňovaných naftových motorů zvýšila nároky na odlitky z hlediska jejich mechanického a tepelně cyklického namáhání.

Podmínkou dalšího úspěšného vývoje konstrukce a slévárenské výroby složitých litinových odlitků je také hlubší znalost souvislostí mezi únavovými a statickými vlastnostmi opřená o znalost mechanismu deformace a rozvoje mikro a makroporuch, znalost rozložení struktury.

“Nevítaným“ hostem ve stěnách odlitků je vnitřní pnutí (mezistěnové nebo příčně rozložené), které mění mezní zatíženost stěny odlitku a dále komplikuje vyhodnocování mechanických zkoušek.

Složitá nehomogenní struktura litin působí komplikace při pokusech o kvalifikaci a matematický popis souvislostí (na rozdíl od ocelí). Touto problematikou se proto zabývá jen malé množství odborných prací.

V tomto příspěvku je stručně shrnut dosavadní stav znalostí s ohledem na několik provedených experimentů v uvedené oblasti.

Mechanismus porušování litin

Rozhodující roli ve vztahu k dynamickým mech. vlastnostem má množství a způsob rozložení grafitu ve struktuře litin.

Litiny si můžeme představit jako kompozitní materiál ocel-grafit, který je připraven přirozenou krystalizací z taveniny. Přitom grafitové (uhlíkové) částice

tice nemají, jak je u kompozitů obvyklé, výztužnou funkci, ale naopak mají prakticky nulovou pevnost. Působí jako vnitřní nestlačitelné dutiny. Grafit a matrice mají nespojité rozhraní. Při tahovém namáhání se tak prostory zaujímající grafit mohou zvětšovat, ale při tlakovém namáhání mohou přenášet zatížení. Proto například litina s lupínkovým grafitem má prakticky čtyřnásobnou pevnost v tlaku ve srovnání s pevností v tahu.

Různými metalurgickými postupy lze připravit celou škálu tvarů částic grafitu v litině. Od kuliček až po tenké prolamované lupínky. S jejich rostoucí délkou a křivostí zakončení roste jejich vrubový účinek pro "ocelovou" matici, která je u šedých litin obvykle eutektoidního složení s vysokým obsahem Si < 1,5; 3,5%.

Při prostém jednoosém tahovém zatížení již při malých hodnotách napětí tak na koncích příčně orientovaných lupínků grafitu dochází k mikroplastické deformaci (přesuny a skluzu dislokací). Tvoří se prostorová napjatost ocelové matrice. Příčné složky napětí komplikují průběh deformace tělesa, i když nedosahují v průměru 10% osového napětí. Proto se Poissonovo číslo liší od oceli. Tvar panenské deformační zatěžovací křivky se významně liší od křivky tělesa již zatěžovaného. Po vyčerpání plast. deformace vznikají na koncích lupínků mikrotrhliny při celkově ještě nízkých hodnotách napětí ve srovnání s pevností v tahu R_m . Jejich růst a spojování pak vede k vytvoření magistrální lomové plochy. Na výbruse litiny lze pak sledovat množství mikrotrhin z konců lupínků grafitu. Stejného efektu vlivem strukturních a tepelných pnutí se dosáhne kalením litiny.

Tahová část zatěžovací charakteristiky $\sigma = f(\epsilon)$ je tak od počátku nelineární a neplatí zde Hookův zákon.

Statická zkouška v tahu a mez únavy

Řada autorů se zabývala zkoumáním úlohy grafitu při vzniku a šíření únavového lomu. Obvykle se však stanovení mezních stavů a meze únavy omezilo na výpočet [4,5] procentuálního poměru k mezi pevnosti R_m , např.:

$$\sigma_{ct} = \langle 0,22; 0,33 \rangle \cdot R_m \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

pro míjivý tah a

$$\sigma_{coh} = \langle 0,56; 0,66 \rangle \cdot R_m \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

pro ohyb za rotace.

Rozborem logaritmované deformační zatěžovací křivky litin, kterou Drápal získal tenzometrickým snímáním prodloužení, [2] stanovil mez σ_I - mikroplastických deformací a σ_{II} - mez pružně plastických deformací, viz. obr. 1.

V další práci [5] Exner provedl derivaci $d\sigma/d\varepsilon$ napětí σ podle poměrného prodloužení ε tahové deform. zatěž. křivky. Analýza grafické závislosti $(d\sigma/d\varepsilon) = f(\sigma)$ pak jednoznačně určila čtyři mezní stavy namáhání a tím rozdělila křivku na oblast (obr. 2)

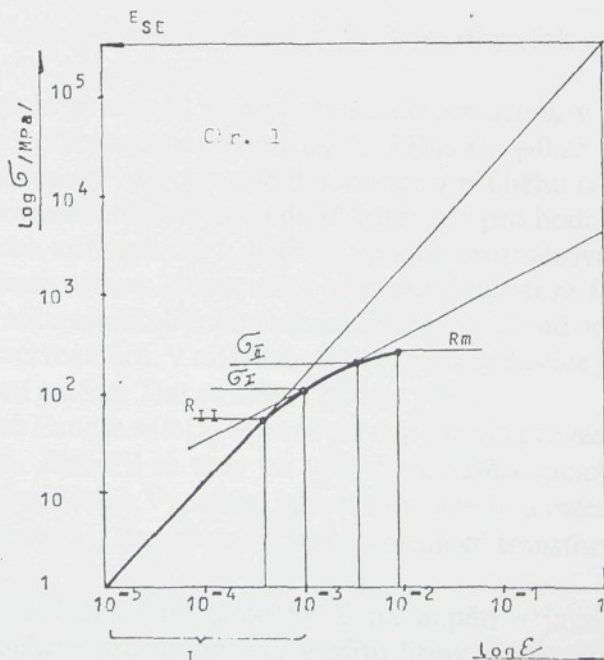
1. převážně pružných deformací $\langle O; R_E \rangle$
2. pružně – mikroplastických deformací $\langle R_E; \sigma_I \rangle$
3. pružně – plastických deformací a iniciace mikrotrhlin $\langle \sigma_I; \sigma_{II} \rangle$
4. převážně plastických deformací a rozvoje mikrotrhlin $\langle \sigma_{II}; R_m \rangle$.

Porovnání výsledků zkoušek meze únavy v míjivém tahu σ_{ct} a zjištěných hodnot R_E ukázalo na jejich shodu.

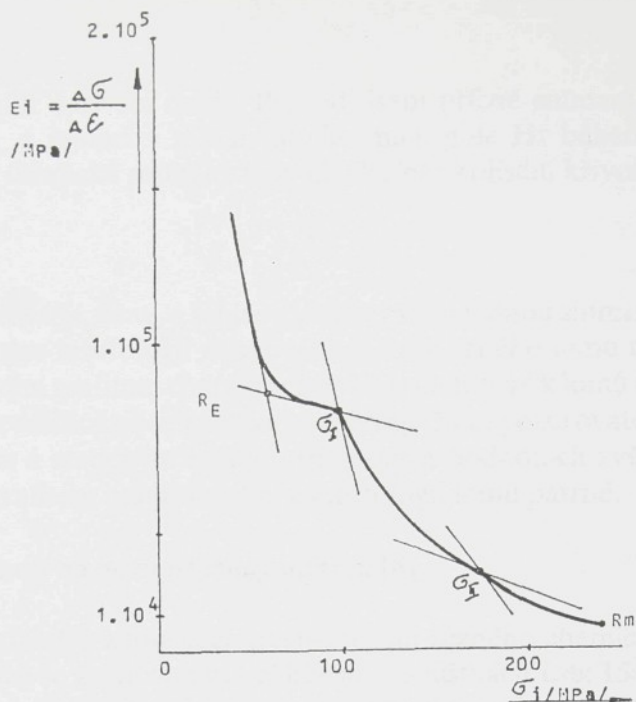
Mez σ_I odpovídá fyzikální mezi kluzu litin (R_p u ocelí). Pom. deformace ε_I je přitom u litin podstatně nižší jak smluvní hodnota $\varepsilon = 0,2$ pro $R_{p0,2}$ pro oceli. Pro litiny s lupínkovým grafitem platí přibližný výraz

$$\sigma_I = 0,51 \cdot R_m - 15 \text{ [MPa]}, \quad \text{koef. korelace } K = 0,935 \quad (3)$$

Na souboru několika desítek zkušebních tyčí jsem provedl ověření uvedené ho způsobu zpracování ruční digitalizací a digitální derivací záznamů křivek pořízených na trhacím stroji EU40 s extenzometrem INOVA PXA20. Programově bylo nutno potlačit přístrojové roztřesení a ohyby křivek. Některé křivky



Obr. 1.



Obr. 2.

nevykazovaly všechny uvedené mezní stavy. Výsledky však celkově byly prokazatelné.

Změnou modulu pružnosti E a plastické deformace ε_s v čase se zabýval Nechtelberger [6]. Při trvalém zatížení $\sigma_T > 0,35.R_m$ a $\sigma_{dT} > 0,25.R_m$ (namáhání v tlaku) nastává časový rozvoj trvalé deformace v průběhu $t < 15; 20 \text{ min}$. Tato mez tečení za normální teploty tvoří další kritérium pro hodnocení litinových odlitků pracujících s předpětím, u nichž se vyžaduje rozměrová stabilita. Po 20 min. tok deformace ustane. Doporučuje se proto součásti ze šedé litiny (litiny s lupínkovým grafitem) několikrát předem přetížit mírně nad dovolenou hranici napětí k stabilizaci rozměrů. V mikrostruktuře praskají částice grafitu a mění se tvar dutin uložení grafitu. Tím se mění i hodnoty E .

Ověření výsledků Exnera se v [5] Svobodovi nepodařilo provést díky přístrojovým problémům. Zaměřil se tedy na vyrovnání zatěžovacích charakteristik exponenciální hyperbolou. Vypočítal jeho mezní stav bod maximálního vyklenutí R_E (max. křivosti). Popírá možnost logaritmické transformace dle [2] do lineárních úseků.

Hughes [7] uvádí okamžité průběhy E na napětí σ jako hladké křivky s typickým průběhem pro určitý tvar grafitu litiny. Okamžitá hodnota E je

vlastně equivalentní derivaci $d\sigma/d\varepsilon$. Provedl jsem příčné snímání podélné rychlosti zvuku v_L a intenzity remanentního mag. pole H_r během zatěžování zkuš. tyčí z litin. Grafické průběhy byly hladké bez kolísání křivosti.

$$E = k \cdot v_L^2 \quad (4)$$

Nutno ale počítat s tím, že v_L a H_r jsou vektory s jen jednou snímanou složkou.

Porovnávali jsme morfologii únavového a statického lomu různých litin. U litin s kuličkovým grafitem charakter lomů byl identický k lomům na ocelových součástech. Na šedélitině oba druhy lomů splývají. Není pozorovatelné rozhraní mezi únavovým a statickým lomem při nízkých hodnotách zvětšení. Litina s červíkovitým grafitem má již rozdíly v morfologii lomů patrné.

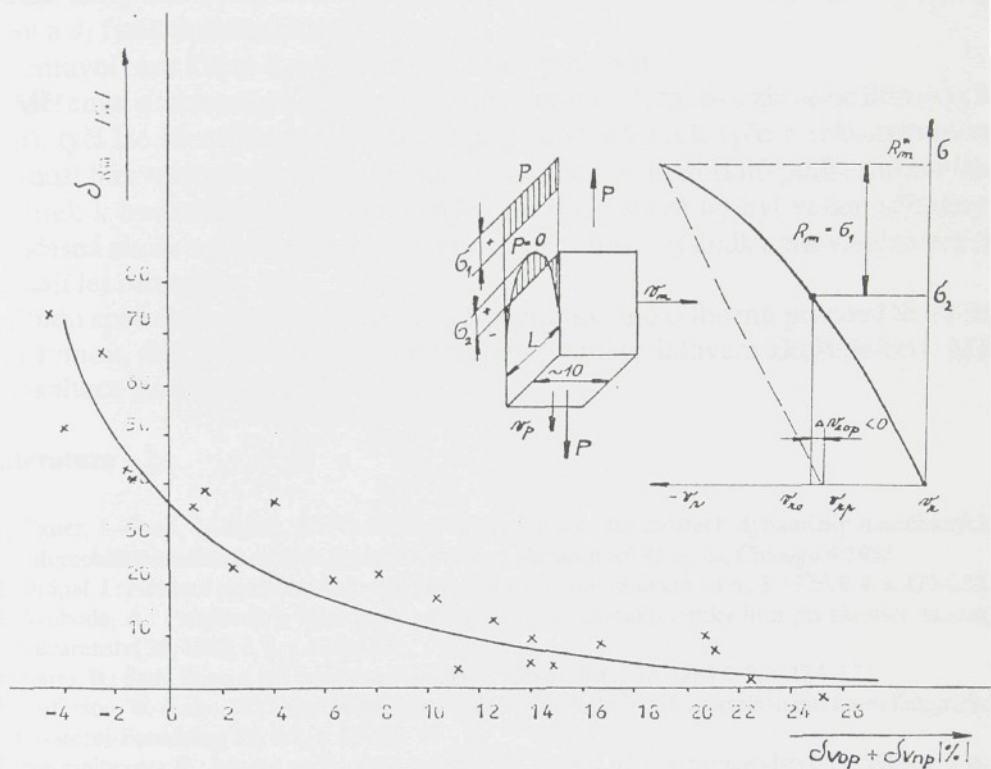
Vliv vnitřního pnutí na pevnost stěny odlitku [8]

Při experimentálních zkouškách pevnosti litin různého chemického složení na plochých tyčích se zachovanou licí kúrou o tloušťkách $L < 6; 15$ mm vykazovaly zvláště legované perlitické vzorky s lupínkovým grafitem někdy podstatně nižší hodnoty R_m než by se podle struktury očekávalo. Tyče byly bez vnitřních vad, vzorně obrobeny a upínány (přes čepý). Lomy při tahové zkoušce začínaly v ose průřezu. Tyto tyče po přetržení měly vyšší hodnoty rychlosti zvuku jak před přetržením. Tyče s hodnotami R_m v předpokládaných mezích zásadně přetržením hodnoty v_L snižují. Typické naměřené hodnoty v relativních veličinách uvádí tab. 1:

Tyč	Počáteční Eo GPa	R_m^* MPa	R_m MPa	δR_m	δv_p	δv_n %	L mm
10A6	132	310	298	3,9	9,4	5,5	6,4
11A6	127	360	212	41	-2,7	1,3	6,2
11B6	125,7	360	121	66	-4	1,4	6,3
11C6	128,8	360	177,4	51	-3,2	-0,8	6,4
11C8	133	340	194	43	-1,3	-0,5	8,1
11C10	129,3	330	87	74	-2,9	-1,7	10,2
11A15	130	300	275	8,3	8,7	8	15,7
11B15	134	300	310	-3,3	11,7	8,4	14,9
10B15	119	250	242	3,2	11,9	9,3	15,8

Pokles hodnoty σ_v rychlosti zvuku indikuje růst mikroobjemu dutin grafitu a mikrotrhlin v příčném směru k směru měření. Jedině vysoké příčně rozložené vnitřní pnutí σ mohlo patrně způsobit uvedené snížení hodnot R_m a současný vzrůst hodnot v_L . Vzniká při intenzivním odvodu tepla stěnou formy při tuhnutí litiny (příčně bržděné smršťování). Tahové vnější napětí σ_1 superponuje s para-

bolicky rozloženým vnitřním pnutím σ_2 a pevnosti stěny R_m^+ dosáhne nejdříve v ose stěny. Hodnota v_r odpovídá stavu po odstranění vnitřního pnutí (žíháním). Stěny s příčně rozděleným vnitřním pnutím, tedy s tlakovým předpětím p povrchu, přenáší dobře ohybová zatížení. Měřením rychlosti zvuku v_L během pevnostní zkoušky lze tedy indikovat přítomnost vnitřního pnutí a z grafického průběhu dle obr. 3 můžeme rekonstruovat předpokládanou hodnotu pevnosti R_m^* bez vnitřního pnutí.



Obr. 3. Závislost odchýlky δR_m od předpokládané pevnosti R_m^* na snížení rychlosti zvuku δv_r , závislost δR_m na snížení v_r .

Výraz (5) vyjadřuje vztah mezi relativní změnou rychlosti zvuku přetržení tyče v podélném σ_{vp} a příčném σ_{VN} směru (k namáhání) k relat. snížení pevnosti σ_{Rm} . Graf. průběh uvádí obr. 3.

$$\delta_{R_m} = 62323 \cdot (\delta_{VN} + \delta_{VP})^{-1,13} \quad K = -0,93 \quad (5)$$

$$\delta_{VP} = (v_{OP} - v_P) \cdot 100 / v_{OP} \quad \delta_{R_m} = (R_m^* - R_m) \cdot 100 / R_m^* \quad (6), (7)$$

Rychlost zvuku se měří běžným ultrazvukovým tloušťkoměrem. Zde byl použit typ UTM200, který dodává firma MALINA SPEED-GLAS Jablonec nad Nisou s dvojitou sondou 2,25 MHz.

Závěr

Derivací záznamu zkoušky pevnosti v tahu bude možno stanovit fyzikální mezní stavy litin, přičemž hodnota R_E odpovídá mezi únavy σ_{ct} v míjivém tahu a σ_I fyzikální mezi kluzu.

Smluvní mez kluzu $R_{P0,2}$ nelze pro litiny používat.

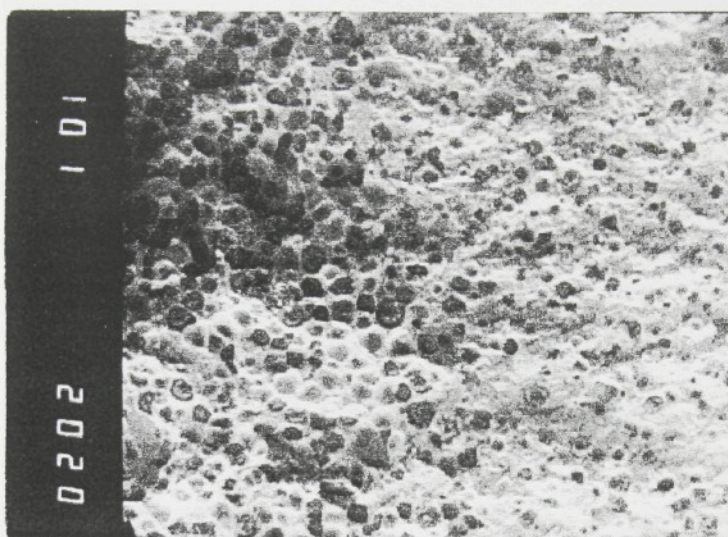
Měřením a záznamem podélné rychlosti zvuku při tahové zkoušce litinových zkuš. tyčí lze identifikovat vnitřní napětí ve stěně zkuš. tyče a rekonstruovat pevnost bez vnitřního pnutí. Přechod od hodnocení materiálů podle smluvních měřítek k hodnocení podle skutečných mezních stavů by byl velice užitečný. Současná zkušební technika ho již umožňuje. Přesto výsledky citovaných prací nemají let odezvu.

Budu spokojen, když uvedené nové poznatky jiná odborná pracoviště ověří a rozvinou, aby se mohly běžně uplatňovat v materiálovém zkušebnictví. Mé konzultace jsou k dispozici.

Literatura

- [1] Exner, J.-Čech, J.-Rusín, K.: O některých fyzikálních vlastnostech dynamicky namáhaných automobilních odlitků ze šedé litiny, 49. světový slévárenský kongres, Chicago 4/1982.
- [2] Drápal, J.: Některé problémy únavové pevnosti šedé litiny, Slévárství 28, 1976, č. 4, s. 223–232.
- [3] Svoboda, A.: Příspěvek k vyhodnocování zatěžovací charakteristiky litin při zkoušce tahem, Slévárství 35, 1987, č. 3, s. 119–123.
- [4] Bárta, B.: Šedá litina a její únavové vlastnosti, Slévárství 32, 1984 č. 3, s. 124–127.
- [5] Patterson, W.-Lahn, W.: Untersuchungen zur Dauerfestigkeit von Gusseisen mit Lamellengrafit. Giesserei-Forschung 22, č. 1, s. 15–22.
- [6] Nechtelberger, E.: Modul pružnosti a tečení šedé litiny, Litějnoe proizvodstvo 11, 1986, s. 3–4.
- [7] Hughes-Powell: Compacted Graphite Irons - High Quality Engineering Material in the Cast Iron Family, BCIRA 840722.
- [8] Skrbek, B.: Nedestruktivní materiálová diagnostika litinových odlitků, kand. disertační práce VŠST Liberec, Jablonec 1988.

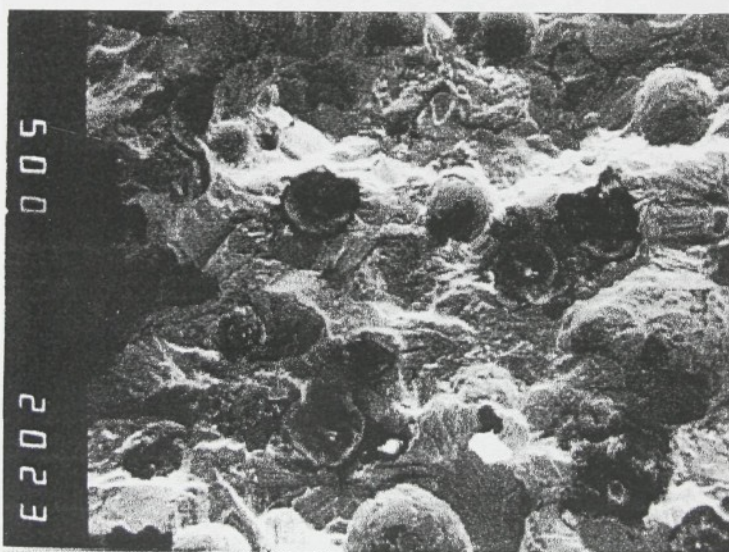
Lomy litin



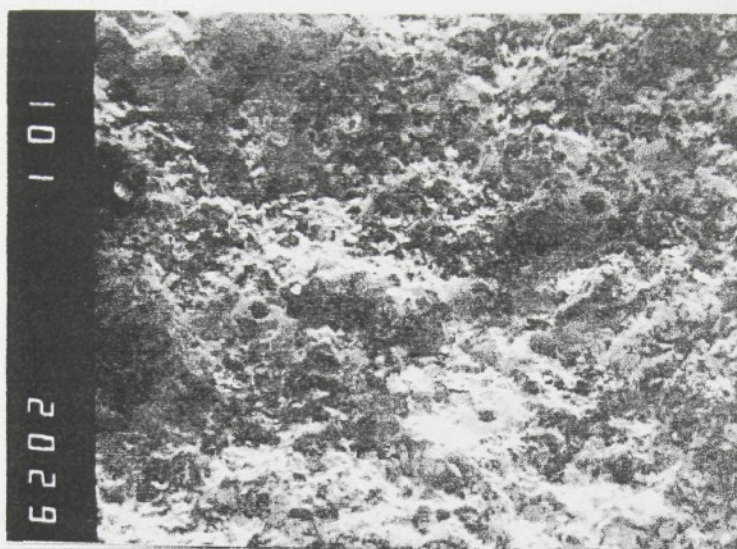
Obr. 4. Přechodová oblast mezi houževnatým a unavovým štěpným porušením LKG.



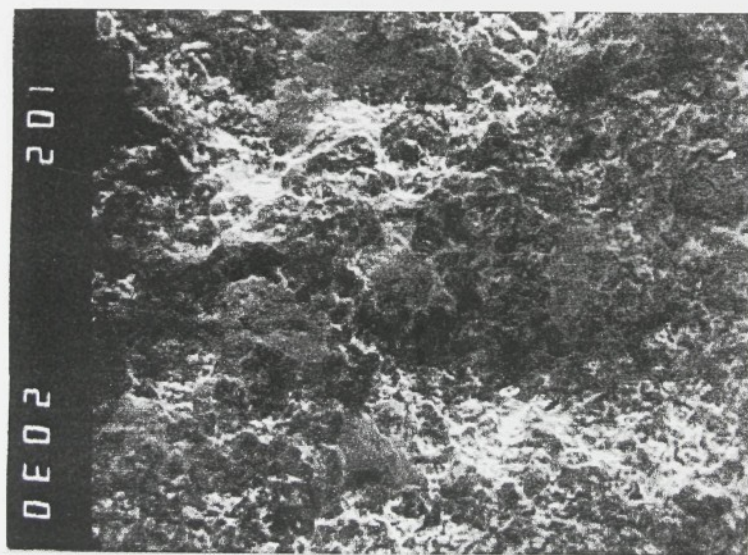
Obr. 5. Houževnatý statický lom LKG (HSL).



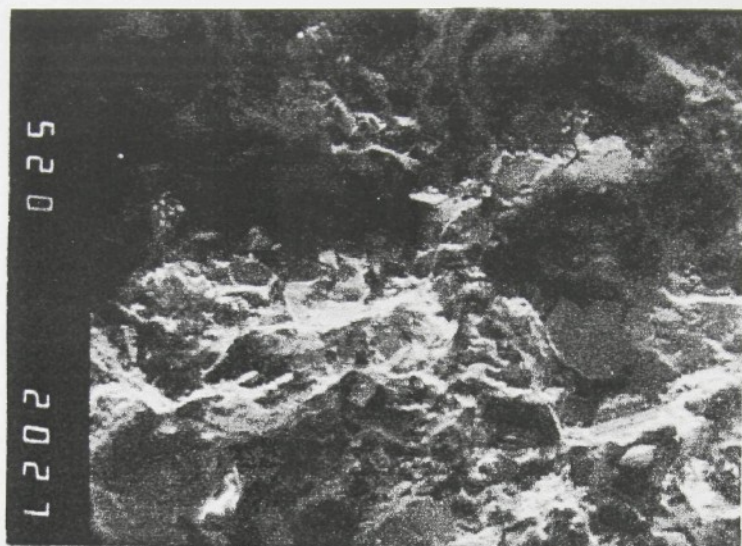
Obr. 6. Štěpný únavový lom (SUL) LKG.



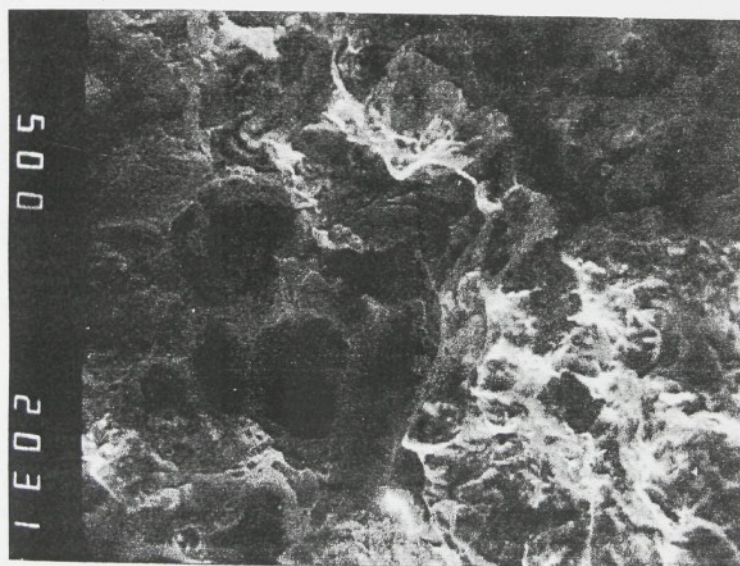
Obr. 7. Stěpný únavový lom LČG.



Obr. 8. Houževnatý statický lom LČG.



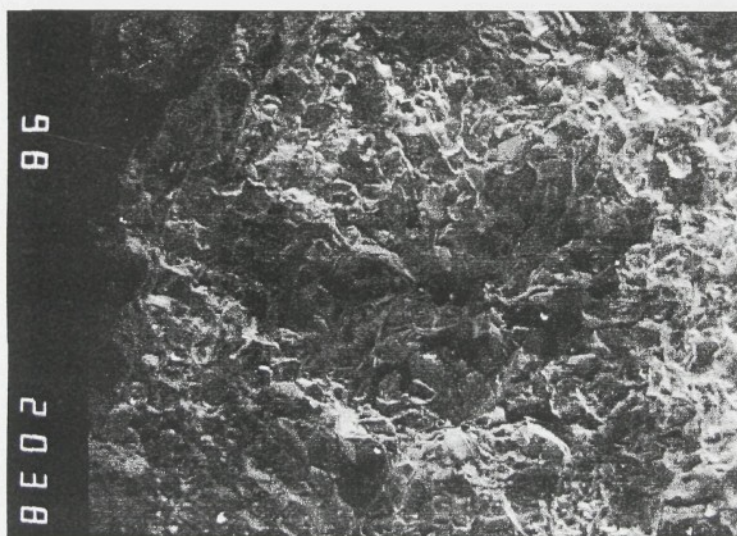
Obr. 9. ŠÚL LČG 500x.



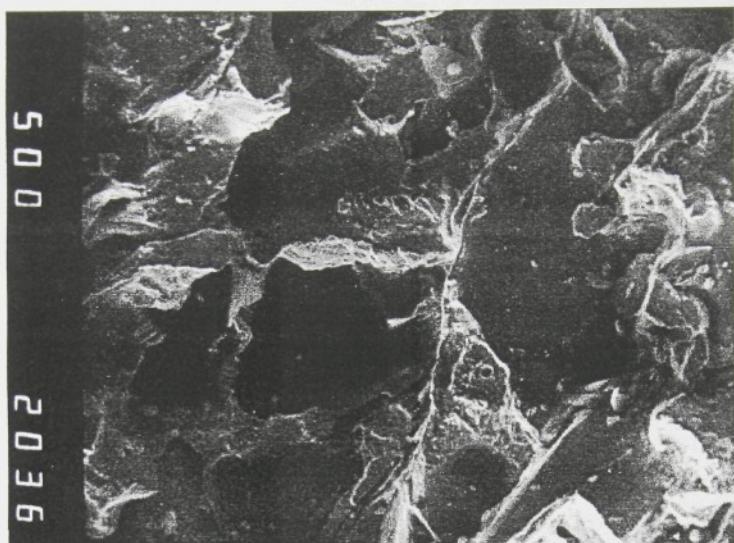
Obr. 10. HSL LČG



Obr. 11. Statický smíšený lom (SSL) perlitické litiny s lupinkovým grafitem.



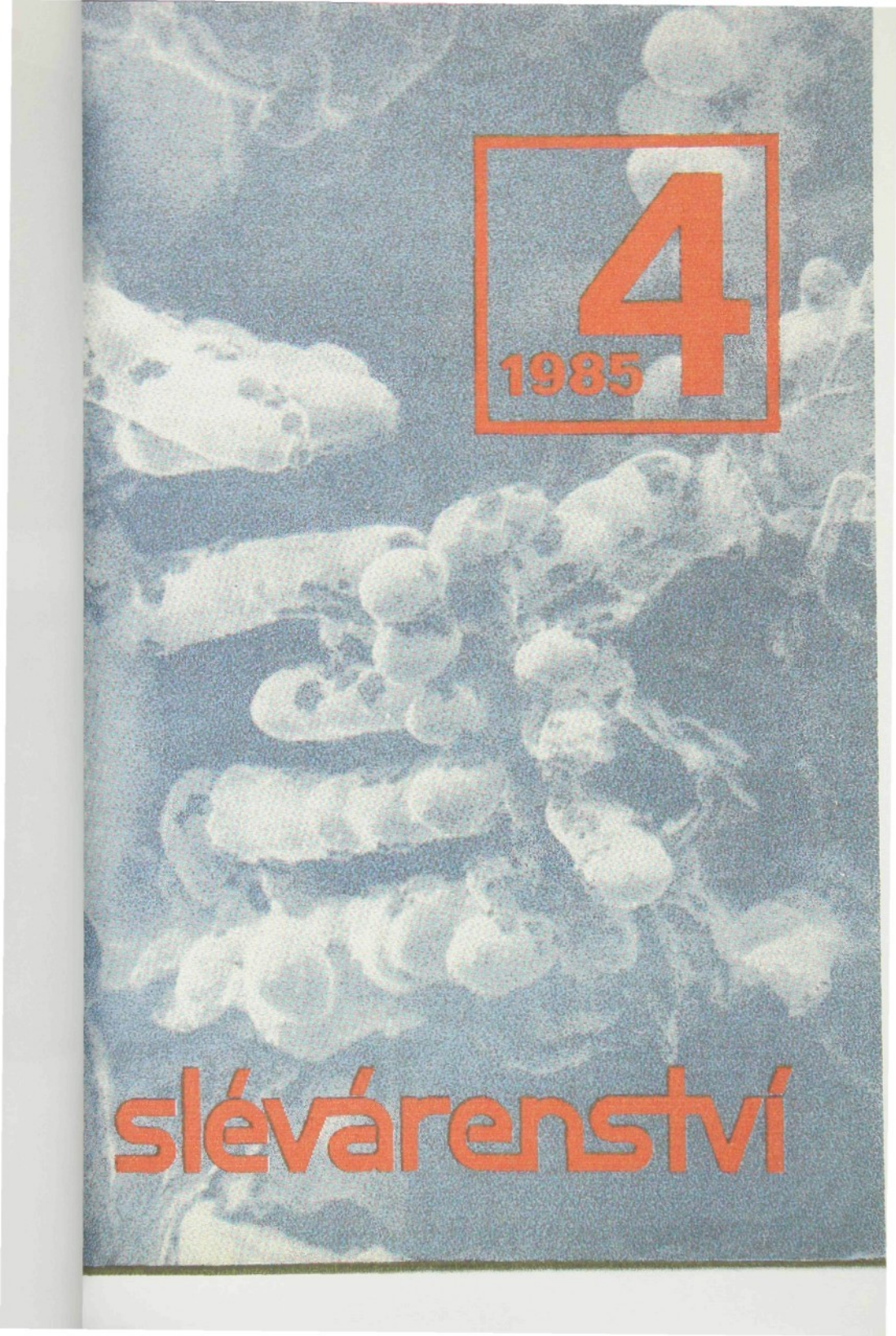
Obr. 12. Únavový štěpný lom litiny s lupinkovým grafitem (LLG). 100x zv.



Obr. 13. SSL LLG. 500x zv.



Obr. 14. ŮŠL LLG. 500x zv.



4
1985

slévárenství

ně ohřát na 760 °C a ochlazen ve vodě o teplotě 15 až 17 °C. Tento cyklus se opakoval až do vzniku první trhliny, která byla zjišťována vizuálně na spodním žeburu vzorku. Litina s obsahem 4 % C vydržela do vzniku první trhliny 5 až 7× více tepelných cyklů (ohřev, ochlazení), než litina obsahující 3,3 až 3,5 % C s rovnoměrně rozloženým drobným grafitem. Zvýšení obsahu uhlíku zvyšuje tepelnou vodivost litiny. Dále grafit slouží jako tepelný kompenzátor při růstu objemu ohřívacích oblastí matrice, což znamená, že umožňuje neomezené zvětšování objemu bez plastické deformace, která způsobuje vznik napětí při ochlazování těchto ohřívacích oblastí.

Parametry, které ovlivňují tepelnou únavu jsou:

- modul pružnosti v tahu,
- odolnost proti relaxaci napětí při plastické deformaci,
- tepelná vodivost,
- tepelná roztažnost (u legovaných a nelegovaných litin je prakticky stejná).

Tab. II [6] uvádí vlastnosti 8 druhů

litin nízkouhlikových (3,2 až 3,3 % C) a vysokouhlikových (3,7 % C). Přísady Cr, Ni a Mo byly použity ke zvýšení pevnosti při teplotě okolí a zvýšení teplotě. Porovnání údajů ukazuje, že přísada Mo a Cr způsobila podstatný vzrůst pevnosti. Zlepšení je zvláště patrné ve skupině vysokého obsahu uhlíku. Modul pružnosti vzroste při legování, ale ne ve stejném rozsahu jako pevnost. Koeficient tepelné roztažnosti byl ovlivněn legováním méně. Tepelná vodivost při teplotě okolí se legováním snížila, ale nepatrně v porovnání se vzrůstem pevnosti.

Vliv změny struktury a oxidace

Oxidace podél grafických lamel je velmi škodlivá, snižuje se značně tepelná vodivost. Z hlediska oxidace je výhodnější tvárná litina v porovnání se šedou litinou. Vnitřní oxidace je u tvárné litiny zanedbatelná, oxidace povrchu je u šedé litiny a tvárné litiny přibližně stejná. Rozpad perlitu vede k poklesu pevnosti perlitických litin. Strukturální stabilitu až do 450 °C může zajistit

přísada chromu, cinu a mědi a pro kratší doby expozice až do 550 °C. Nad 550 °C u nelegované litiny nastává rozklad perlitu po několika stovkách hodin a u litiny s obsahem Cr v obvyklém rozsahu (až do 0,7 %) nastává rozklad perlitu asi po 1000 hodinách.

U tepelného cyklu můžeme přibližně stanovit tři oblasti:

Oblast 1 — nízkoteplotní interval, poškození nastane při mechanickém zatížení.

Oblast 2 — středně teplotní interval, vedle mechanického zatížení je součástí vystavena ještě oxidací a perlitickému rozkladu. Spodní hranice této oblasti (je horní hranicí oblasti 1) je závislá na složení a době expozice a pohybuje se mezi 450 až 550 °C.

Oblast 3 — vysokoteplotní interval; maximum teploty cyklu překračuje transformační teplotu, která je do značné míry funkcí obsahu Si a pohybuje se mezi 740 a 900 °C. V této teplotní oblasti jsou součástí dodatečně vystaveny částečné nebo úplné austenitizaci a transformaci na martenzit, bainit, perlit nebo ferit

Tab. I. Odolnost 5 taveb šedých litin proti vzniku tepelných trhlin [2]

Číslo tavyby	Chemické složení [% hm.]							Množství cyklů do vzniku trhliny
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	Ni	
1	4,0	1,6	0,7	0,6	—	1,2	—	86
2	3,8	2,0	0,7	0,6	0,5	1,2	—	40
3	3,5	2,3	0,7	0,6	0,5	1,2	—	13
4	3,3	2,3	0,7	0,3	—	—	0,2	17
5	3,6	1,8	0,7	0,6	—	1,2	—	29

Tab. II. Chemické složení a vlastnosti šedých litin [6]

Vlastnosti	Teplota [°C]	Nízkouhlikové litiny (3,2 až 3,3 % C)				Vysokouhlikové litiny (3,7 % C)			
		neleg.	Cr, Ni	Cr, Mo	Cr, Ni, Mo	neleg.	Cr, Ni	Cr, Mo	Cr, Ni, Mo
Chemické složení [% hm.]									
C	—	3,24	3,28	3,33	3,21	3,74	3,72	3,70	3,72
Si	—	2,00	2,10	2,06	2,03	1,86	1,89	1,89	1,89
Mn	—	0,70	0,74	0,71	0,68	0,70	0,64	0,69	0,74
Cr	—	—	0,32	0,33	0,32	—	0,28	0,29	0,37
Ni	—	—	0,31	—	0,30	—	0,32	—	0,30
Mo	—	—	—	0,32	0,33	—	—	0,33	0,33
Pevnost v tahu R _m [MPa]	20 400	306 254	325 266	242 282	364 310	181 144	206 164	263 209	245 197
Tvrdost HB	—	220	239	247	252	185	195	225	219
Modul pružnosti v tahu 10 ³ MPa	20 400	131,4 118,56	131,83 118,12	136,22 121,41	139,62 125,32	105,6 92,78	104,73 92,18	118,05 103,52	108,40 95,74
Tepelná roztažnost 10 ⁻⁴ /°C	20 ÷ 100 20 ÷ 400	9,8 12,3	9,8 12,3	9,8 12,4	10,7 12,5	9,8 12,0	10,4 12,3	9,7 12,5	10,7 12,2
Tepelná vodivost [W/Km]	100 400	44,0 40,3	41,5 40,3	41,5 39,4	41,5 40,3	52,0 44,9	49,0 39,0	47,0 42,8	45,7 41,9
Délka trhlin po 600 cyklech [mm]	200 400 600	1,5 2,3 2,7	1,5 2,4 2,75	1,2 2,5 2,8	1,15 1,7 1,9	0,6 2,7 3,25	1,25 2,8 3,5	0,35 1,15 2,5	0,9 3,25 3,25

a grafit podle rychlosti ochlazování. Tim vznikají vysoká napětí, rozměrové změny a urychlená oxidace.

Příklad tepelné únavy setrvačnicku spojky a použita laboratorní technika

Setrvačnick spojky vznětového motoru o výkonu 220 kW pro nákladní automobily byl vyroben ze šedé litiny ČSN 42 2425 o chemickém složení: C = 3,10 %; Mn = 0,76 %; S = 1,9 %; P = 0,071 %; Si = 0,285. Dosažené mechanické vlastnosti: tvrdost 160 až 170 HB; pevnost v tahu R_m = 245 MPa (předlita - tyč o průměru 30 mm); stupeň eutektičnosti S_e = 0,85. Automobil najel v podmínkách provozu asi 50 000 km.

Pro metalografické šetření byl použit metalografický světelný mikroskop Zeiss-Neophot 2 s mikrotvrdoměrem Hanemann. Mikrotvrdost

byla měřena při zatížení 0,2 N (20 pondů). K získání struktur při větších zvětšeních byl použit elektronový mikroskop TESLA BS 540. Mikrostruktura na elektronovém mikroskopu byla vyšetřována pomocí dvoustupňových kolodium-uhlíkových replik při zvětšení 3000× a 7500×.

Dosažené výsledky výzkumu

Trhliny, které v průběhu provozu setrvačnicku spojky vznikaly jsou patrné na obr. 2 v neleptaném stavu při zvětšení 100×. Trhliny se šířily od povrchu a probíhaly převážně podél lamel grafitu, které byly orientovány příznivě ke směru šíření trhliny. Šíření trhliny usnadňují řediny a vměstky (viz obr. 2 - spodní část trhliny). Charakter trhlin naznačuje, že jejich šíření bylo výsledkem řady faktorů, což vyplý-

vá již z předchozí části článku (mechanické namáhání, oxidace již vzniklého povrchu trhliny, objemové změny působící v důsledku strukturních změn).

V další části práce bylo provedeno naleptání studovaného vzorku s trhlínami Nitalem a měření mikrotvrdosti na třech různých místech od povrchu třecí plochy setrvačnicku spojky směrem dovnitř (obr. 3 až 6). Naměřená mikrotvrdost v provedených třech měřeních je uvedena v tab. III, (vpich č. 1 vždy u povrchu třecí plochy setrvačnicku). Mikrotvrdost byla měřena při zatížení 0,2 N (20 pondů). Z naměřených hodnot mikrotvrdosti vyplývá, že v povrchových vrstvách třecí plochy setrvačnicku spojky je mikrostruktura vzorku tvořena martenzitem, zbytkovým austenitem a lupinkovým grafitem, což bylo potvrzeno i šetřením na elektronovém mikro-



OBR. 2. Trhlina v setrvačnicku v neleptaném stavu, zvětšeno 100×.



OBR. 3. Trhlina v setrvačnicku k obr. 2, leptáno Nitalem; zvětšeno 100×; měření mikrotvrdosti 1 tab. III.



OBR. 4. Povrch vzorku, leptáno Nitalem; zvětšeno 200×; měření mikrotvrdosti 2 tab. III.

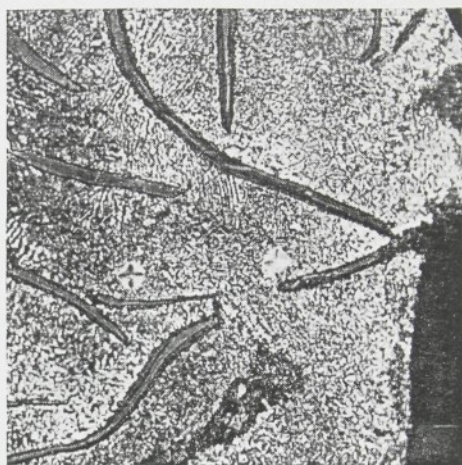
skopu pomoci dvoustupňových kolidium uhlíkových replik viz obr. 7, při zvětšení 7500 $\times$. Ve větší vzdálenosti od povrchu vzorku je struktura matrice tvořena martenzitem, zbytkovým austenitem, rozpadlým perlitem a feritem patrná na obr. 8 při zvětšení 3000 $\times$. Ve vzdálenosti 1,9 mm od povrchu třecí plochy setrvačníku spojky je

struktura setrvačníku tvořena lupinkovým grafitem a lamelárním perlitem, který je v některých místech matrice rozpadlý (přítomno také malé množství fosfidického eutektika steaditu a feritu) viz obr. 9. Ve vzdálenosti 3 mm od povrchu třecí plochy setrvačníku (detail konce trhlíny z obr. 2) je struktura matrice setrvačníku tvořena lupin-

kovým grafitem, lamelárním perlitem a malým množstvím feritu jak je patrné z obr. 10. Strukturu uprostřed vzorku tvoří lupinkový grafit, lamelární perlit, fosfidické eutektikum (velmi malé množství) a ferit (malé stopy) — viz obr. 11. Z obr. 12 a 13 je patrné šíření mikrotrhlín matricí v těsné blízkosti



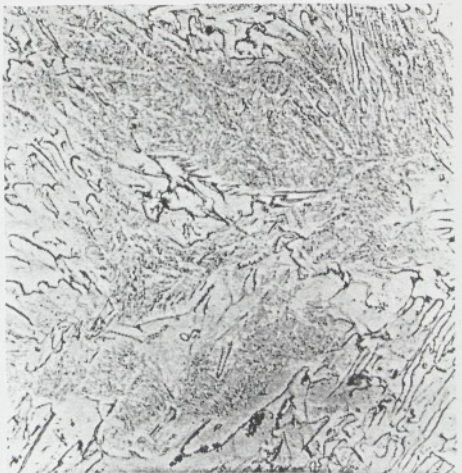
OBR. 5. Povrch vzorku; leptáno Nitalém; zvětšeno 200 $\times$; měření mikrotvrdosti 3 tab. III.



OBR. 6. Povrch vzorku; leptáno Nitalém; zvětšeno 500 $\times$; měření mikrotvrdosti 3 (část) tab. III.



OBR. 7. Kolodium-uhlíková replika; zvětšeno 7500 $\times$.



OBR. 8. Kolodium-uhlíková replika; zvětšeno 3000 $\times$.

povrchu vzorku. Uvedené obrázky a provedená měření mikrotvrdosti prokazují, že na tepelné únavě šedé litiny se podílí řada činitelů, z nichž nejdůležitější jsou: mechanické namáhání při zapínání spojky a po zapnutí spojky (závisí na přenášeném výkonu od motoru na hnaná kola přes převody); oxidace podél

grafitických lamel a podél již vzniklých trhlin; rozpad perlitu; částečná nebo úplná austenitizace a transformace na martenzit a bainit.

Závěr

Z uvedeného šetření vyplývá, že v povrchových vrstvách třecí plochy

setrvačnicku vznětového motoru pro nákladní automobily dochází k velmi značnému ohřátí mikroobjemů materiálu až do austenitického stavu. Po následujícím rychlém ochlazení v důsledku odvodu tepla okolním materiálem vzniklý austenit transformuje na martenzit a bainit. Objemové změny v důsledku struk-



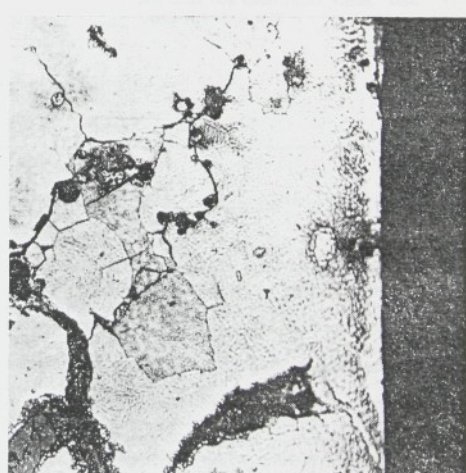
OBR. 9. Mikrostruktura ve vzdálenosti 1,9 mm od povrchu třecí plochy setrvačnicku, leptáno Nitalem; zvětšeno 500 $\times$.



OBR. 10. Mikrostruktura ve vzdálenosti 3,0 mm od povrchu třecí plochy setrvačnicku trhliny na obr. 2; leptáno Nitalem; zvětšeno 500 $\times$.



OBR. 11. Mikrostruktura uprostřed vzorku; leptáno Nitalem; zvětšeno 500 $\times$.



OBR. 12. Mikrotrhliny v matrici u povrchu vzorku; leptáno Nitalem; zvětšeno 500 $\times$.

Tab. III. Mikrotvrdost měřená při zatížení 0,2 N (20 pondů) na setrvačniku spojky ze šedé litiny

Číslo vpichu	Měření 1 obr. 3 HVm	Měření 2 obr. 4 HVm	Měření 3 obr. 5, 6 HVm	Poznámka
1	984	813	361	—
2	744	813	497	—
3	813	683	540	—
4	1090	744	520	—
5	—	744	272	—
6	—	744	304	—
7	—	—	280	vlevo od vpichu č. 6
8	—	—	246	vlevo od vpichu č. 7



IBR. 13. Mikrotrhliny v matici u povrchu vzorku; leptáno Nitolem; řetěno 500X.

turních změn způsobují vznik trhlin, které se přednostně šíří od povrchu třecí plochy podél lamel grafitu. Největší a rozhodující vliv na vznik trhlin má zapínání spojky motorem.

Odolnost materiálu proti tepelné únavě závisí na modulu pružnosti v tahu, na odolnosti proti plastické deformaci při zvýšených teplotách a na tepelné vodivosti. Ke snížení tepelných namáhání je nezbytná vysoká pevnost v tahu a vysoká únavová pevnost zvláště s ohledem k opakované deformaci.

Při provozních podmínkách nad 500 °C musí mít litina také odolnost proti oxidaci a změně struktury.

Literatura

- [1] Roehrig, K.: AFS Transactions 1978, s. 75–88.
- [2] Talanov, P. I. - Kantorovič, V. J. - Čerman, A. D. - Morozov, Ju. A.: Metallovedenie i termičeskaja obrabotka metallov 1970, č. 12, s. 50–52.
- [3] Holzmann, M. - Klesnil, M.: Křehký a únavový lom materiálů a konstrukci. SNTL, Praha, 1972.
- [4] Vetiška, A. a kol.: Teoretické základy slévárenské technologie. SNTL/ALFA, 1972.
- [5] Erker, A. - Roesch, F.: MAN Forschungsheft, č. 14, 1966/69.
- [6] Nechtelberger, E.: Systematische Untersuchungen zur Qualitätssteigerung von Zylinderkopfgüssen mit besonderer Bedrucksichtigung der Rissbildungsneigung. = Vers. - Bericht A. No. 20733 des Österreich. Giess. Inst. Leoben, květen 1975.

slévárenská výroba zahraničí

M. Šestopal a kolektiv: Litětnoje oizvodstvo za rubežom (Slévárenská výroba v zahraničí). Vydalo nadatelství Naukova dumka, Kyjev 83, 1. vyd., 280 stran, v prodejnách p. Zahraniční literatura, váz. 32 —.

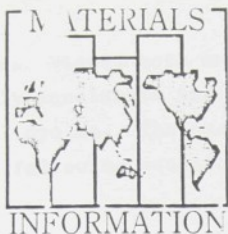
původní monografii předních sovětských odborníků jsou uvedeny sledky výzkumů současného stavu směrů dlouhodobého rozvoje slévárenské výroby v průmyslově vy-

splých zemích. Zahrnuta jsou fakta o dynamice a struktuře výroby odlitků a jejich hlavních spotřebitelích, kapacitě, strukturálním složení a specializaci slévárenských provozů a investic pro jejich další rozvoj, o produktivitě práce, surovinových a energetických zdrojích slévárenské výroby. Autoři analyzují základní technickoekonomické a ekologické aspekty rozvoje technologie lití v piskových formách a speciálními způsoby. Jsou zde také systematizována dostupná fakta o zahraniční

problematické výroby odlitků s vysokými exploatačními charakteristikami a zaručenou jakostí, včetně v zahraničí doporučovaných komplexních programů řízení a zvyšování kvality a efektivnosti veškeré slévárenské činnosti.

Publikace je určena vědeckým a technickohospodářským pracovníkům, zabývajícím se otázkami rozvoje slévárenství, učitelům, aspirantům a studujícím vysokých škol hutního a strojírenského zaměření.

tes



TRANSLATIONS SERVICE

SERIES B: INSTIT'S Ferrous Metallurgy

Date: November, 1986

Price: UK £22.00, Overseas \$38.50

BISI 25344

TYPES OF CAST IRON

B. Barta and B. Skrbek (from Czech.)

669.131

THERMAL FATIGUE OF GREY CAST IRON

L3

(Slevarenstvi 1985 (4) 147-152)

Paper analyses service conditions, defects and their causes, in the service of grey cast iron. Factors which affect resistance to thermal fatigue are discussed.

service. Viewed both macroscopically and microscopically, these stresses probably accelerate the oxidation and structural changes observed during thermal cycles. The parameters which affect the heat stress are shown in the following equation^{1,2)}:

$$\sigma_t = \left[\frac{(\alpha \cdot E \cdot \Delta T)}{(1 - \nu)} \right] \cdot F \quad (1)$$

where

- σ_t is the heat stress,
- α is the coefficient of thermal expansion,
- E is the modulus of elasticity (in tension),
- ΔT is the temperature difference,
- F is the shape factor and
- ν is the Poisson's ratio.

It is clear that quantification using Equation (1) is difficult because the parameters depend on the changing temperature, sometimes on the service period and on the number of heat cycles.

The primary causes of residual heat stress in a casting are varying wall thickness or varying thickness of other parts of the casting i.e. the casting design. It is only the presence of these factors in a casting which makes it possible for the other factors - e.g. contraction, graphitization, modulus of elasticity - to come into play and to affect, benignly or adversely, the value of the stress⁴⁾. During the service of, say, a flywheel in a clutch, elementary volumes of the material are heated rapidly on engagement at the points of actual contact; the adjacent material is not heated and must resist the thermal expansion of the heated metal. Thus, compressive stresses occur in the heated metal, causing plastic deformation. As the heat is reduced, the surface temperature decreases and the temperature of the whole flywheel rises. When the clutch is engaged, the flywheel temperature decreases; the deformed zones cannot assume their original shape due to residual deformation, and considerable tensile stresses occur in these zones. This repeated action of tensile and compressive stresses in the surface layers of the material causes cracks in the surface layers of the flywheel.

Several authors^{1,2,5,6)} have investigated the effect of heat cycles on stress, crack formation, crack size, etc. Fig. 1^{1,5)} shows the stress due to repeated heating. A specimen (clamped) was subjected to heating and cooling in a number of cycles in which the peak temperature increased with each cycle. In the first heating cycle, compressive

stress developed in the specimen; this stress was kept within the elasticity limit (or the quasi-elasticity limit in grey cast iron). The cooling specimen contracts and the original level of stress is almost achieved.

In the second heating cycle, the specimen followed a similar trajectory; since the temperature and thus the compressive stress were higher in this cycle, plastic deformation took place. On cooling, the specimen contracted and tensile stresses developed. The specimen was exposed to greater plastic deformation in the following two cycles because the heating temperature was higher and greater residual tensile stresses were induced during cooling.

We can see from the Figure that the residual tensile stresses increase with an increasing peak temperature up to the transformation temperature.

Table 1²⁾ presents data on 5 heats of different chemical composition; the cast iron with the highest carbon content, alloyed with chromium and copper, with a pearlite matrix and a low content of carbides (up to 5 %) was most resistant to the formation of heat cracks. Such a structure is produced by variations in the silicon content. The specimen was induction heated to 760°C and cooled in water at a temperature between 15°C and 17°C. This cycle was repeated until the first crack appeared and was visually detected on the lower rib of the specimen. Cast iron containing 4 % carbon could accommodate 5-7 times more cycles than cast iron containing 3.3-3.5 % carbon and uniformly distributed fine graphite particles. An increase in the carbon content makes the cast iron more heat conductive. Graphite also serves as a heat compensator while the volume of the heated zone of the matrix increases; this means that the volume can expand unlimited without the plastic deformation which would lead to the formation of stresses when the heated zones are cooling.

The parameters affecting thermal fatigue include:

- The modulus of elasticity in tension,
- resistance to stress relaxation during plastic deformation,
- heat conductivity,
- heat expansivity (practically identical in both alloyed and plain cast irons).

Table 2 presents data on the properties of eight grades of low-carbon cast irons with 3.2-3.3 % C, and high-carbon cast irons with 3.7 % C. Cr, Ni and Mo additions were used to improve the strength at

environmental and elevated temperatures. A comparison of the data shows that Mo and Cr additions improved strength. This improvement is particularly pronounced when the carbon content is high. The modulus of elasticity increases due to alloying, though not as prominently as the strength. The heat expansivity coefficient is less affected by alloying. The heat conductivity drops, at environmental temperature, due to alloying, but the drop is very slight compared with the increase in strength.

THE EFFECT OF A CHANGE IN STRUCTURE AND OXIDATION

Oxidation along the graphite lamellae is extremely detrimental because it causes the heat conductivity to drop considerably. Nodular cast iron is superior to grey cast iron as regards the effect of oxidation. Internal oxidation is negligible in the former; surface oxidation is approximately identical in both.

Pearlite decomposition weakens pearlitic cast irons. Structural stability up to 450°C can be ensured by Cr, Sn and Cu additions; shorter exposure to temperatures up to 550°C is tolerable. Pearlite decomposes at temperatures above 550°C in unalloyed cast iron after a few hundred hours; the pearlite decomposes after about 1000 hours in a cast iron containing normal (up to 0.7 %) levels of chromium.

Three zones can be roughly drawn for the heat cycle:

- 1) the low-temperature interval, at which failure occurs under mechanical loads;
- 2) the medium-temperature interval: in addition to mechanical loading, oxidation and pearlite decomposition occur. The lower limit for this zone (which is the upper limit for zone 1) depends on the composition and time of exposure, and lies between 450°C and 550°C ;
- 3) the high-temperature interval, with the peak temperature exceeding the transformation temperature limit; this limit is largely a function of the silicon content and lies in the $740\text{--}900^{\circ}\text{C}$ range. In this zone, the parts are subjected to austenitizing (partial or complete) and transformation into martensite, bainite, pearlite or ferrite and graphite, depending on the cooling rate. In this way high tensions, volume changes and rapid oxidation occur.

AN EXAMPLE OF THERMAL FATIGUE IN A CLUTCH; LABORATORY PROCEDURE

The clutch flywheel in a diesel engine of 220 kW capacity, used on trucks, was fabricated from ČSN 42 2425 cast iron with the following

THERMAL FATIGUE OF GREY CAST IRON

by B. Pirta and B. Skrbek

(Slevarenství 1985 4) 147-152)

Many parts made from grey cast iron are subjected to heat stress during service; temperature fluctuations and stress are responsible for the initiation of cracks and fissures, which cause failure of the part. Typical examples of such uses of grey cast iron are cast tubes, cylinder heads in diesel engines, glassmaking moulds, etc. The design and selection of materials suitable for heat stress applications are still in the experimental stage. Resistance to thermal fatigue or to heat shocks is not the same as tensile strength and the main property which can be used in engineering calculations is governed by the service conditions. It often happens that the grey cast iron, fully satisfactory in one application, fails completely in another similar application. This paper gives a detailed analysis of the service conditions, the defects and their causes, an essential part of the designer's work.

MECHANISM OF THERMAL FATIGUE

Before tackling the problem of the behaviour of grey cast iron exhibiting thermal fatigue, it is reasonable to elucidate the various types of defects and the mechanism of heat stress; various modes of thermal fatigue exist in a grey cast iron exposed to heat shocks, namely:

- 1) Cracks first appear on the heated surface of the casting, forming a network; these cracks may propagate deeper through the whole cross-section of the casting. This type of defect is most common in grey cast irons.
- 2) Post-deformation defects often occur in nodular cast iron.
- 3) Coarse cracks extend through the whole carrying section of a casting after exposure to a small number of load cycles. This serious defect occurs in parts made from an improperly selected type of the cast iron which is unsuitable for the intended use, the heat stress and the loads.
- 4) Defect caused by structural changes which are responsible for volume changes.

HEAT STRESS

All the types of defects discussed in the above are caused by the heat stress responsible for expansion and compression after exposure to temperature fluctuations, or differences, both during casting and during

composition (%): 3.10 C; 0.76 Mn; 1.9 Si; 0.071 S; 0.285 P. The hardness was 160-170 HB, the tensile strength, $R_m = 245$ MPa in a pre-cast specimen of 30 mm in dia., eutecticity $S_c = 0.85$. The test vehicle covered about 50,000 km.

Metallographic investigations were made in a Zeiss-Neophot 2 light microscope with a Hanemann microhardness meter. The microhardness was measured at 0.2 N. The structures were observed in a Tesla BS 540 electron microscope, and two-stage colloidum-carbon replicas were used under x 3000 and x 7500 magnification.

RESULT

The cracks formed during service of the clutch flywheel are shown in Fig. 2, unetched, at about x 100 magnification. They developed and propagated away from the surface and ran mainly along the graphite lamellae, which were orientated favourably with respect to the direction of crack propagation. Propagation was fostered by porosity and inclusions (see Fig. 2, the bottom part of the crack). The cracks have a character indicating that they propagate due to an array of factors - mechanical stress, oxidation of the crack surface, volume changes resulting from structural changes.

Further research consisted in etching the specimen with Nital and measuring the microhardness at three points away from the friction surface of the clutch flywheel (see Figs. 3-6). The microhardness values are given in Table 3, indentation No. 1 being near the friction surface in all instances. Microhardness was measured at 0.2 N and the measurement data show that the surface layers of the friction surface contain martensite, retained austenite and flaky graphite, as documented by electron microscope observation (see Fig. 7) x 7500. The structure of the matrix further away from the surface of the specimen contained martensite, decomposed pearlite and ferrite; this structure is depicted in Fig. 8.

At a distance of 1.9 mm from the surface of the friction area of the clutch flywheel, the structure contained flaky graphite and lamellar pearlite, decomposed in some areas of the matrix; a small quantity of phosphidic eutectic of steadite and ferrite was found (see Fig. 9). At a distance of 3 mm from the surface of the friction area (see the detail of the crack in Fig. 2) the structure of the flywheel matrix contained flaky graphite, lamellar pearlite and a small quantity of ferrite (see Fig. 10).

The structure of the centre of the specimen contained flake graphite, lamellar pearlite, phosphidic eutectic in a very small quantity, and ferrite (slight traces), as can be seen in Fig. 1'.

Figs. 12 and 13 show the propagation of microcracks in the matrix very close to the specimen surface. The Figures and the microhardness measurements document that several factors participate in the formation of thermal fatigue in grey cast iron, of which the most significant are: the mechanical stress on engagement of the clutch and after engagement, which is governed by the magnitude of work transferred from the engine to the driven wheels via the gears; oxidation along the graphite lamellae and along the cracks already formed; decomposition of pearlite; partial or complete austenitization or transformation into martensite and bainite.

CONCLUSIONS

It follows from the above findings that considerable heating of micro-volumes of the material occurs until an austenitic state is reached in the surface layers of the friction surface of the flywheel of a clutch in the diesel engine of a truck; if the material is quickly cooled via heat deduction into the adjacent material, the austenite which forms is transformed into martensite and bainite. The volume changes caused by the structural changes lead to the formation of cracks which propagate preferentially away from the friction surface along the graphite lamellae. Engagement of the clutch is the major factor which causes cracks to form.

The resistance of the material to thermal fatigue depends upon the modulus of elasticity, plastic deformation at high temperatures and heat conductivity. A high level of tensile strength and high fatigue strength on exposure to repeated deformative loads are necessary to reduce the heat loads. Resistance to oxidation and structural changes is essential for service at temperatures above 500°C.

REFERENCES

1. K. Roehrig: AFS Transactions 1978 75-88
2. P.I. Talanov et al: Metalloved. Term. Obrab. Met. 1970 (12) 50-52
3. M. Holzmann and M. Klesnil: Brittle and fatigue fracture in materials and structures. SNTL Publishers, Prague 1972
4. A. Vetiška et al: Theoretical principles of foundry technology. SNTL/ALFA Publishers, 1972

5. A. Erker and F. Roesch: MAN Forschungsheft 1968/69 (14)
6. E. Nechtelberger: Systematic research of the quality improvement of cast cylinder heads with special reference to crack formation susceptibility. Vers.-Bericht A No. 20733 des Österreich. Giess. Inst. Leoben, May 1975

TABLE 1. Resistance of grey cast iron (5 heats) to the formation of heat cracks²⁾

Heat number	Chemical composition (% by weight)						Number of cycles to crack formation
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	Ni
1	4.0	1.6	0.7	0.6	-	1.2	-
2	3.8	2.0	0.7	0.6	0.5	1.2	-
3	3.5	2.3	0.7	0.6	0.5	1.2	-
4	3.3	2.3	0.7	0.3	-	-	0.2
5	3.6	1.8	0.7	0.6	-	1.2	-
							86
							40
							17
							17
							29

TABLE 3. Microhardness measured at 0.2 N on a clutch flywheel made from grey cast iron

No. of indentation	Measurement 1 Fig. 3 HVm	Measurement 2 Fig. 4 HVm	Measurement 3 Figs. 5, 6 HVm	Note
1	984	813	361	-
2	744	813	437	-
3	813	683	540	-
4	1090	744	520	-
5	-	744	272	-
6	-	744	304	-
7	-	-	280	left of indentation No. 6
8	-	-	246	left of indentation No. 7

Properties	Temper- ature (°C)	Low-carbon cast-irons (3.2 to 3.3% C)				High-carbon cast-irons (3.7% C)			
		unalloyed	Cr, Ni	Cr, Mo	Cr, Ni, Mo	unalloyed	Cr, Ni	Cr, Mo	Cr, Ni, Mo
Chemical composition, wt. %									
C	-	3.24	3.28	3.33	3.21	3.74	3.72	3.70	3.72
Si	-	2.00	2.10	2.06	2.03	1.92	1.86	1.89	1.89
Mn	-	0.70	0.74	0.71	0.68	0.70	0.64	0.69	0.74
Cr	-	-	0.32	0.33	0.32	-	0.28	0.29	0.37
Ni	-	-	0.31	-	0.30	-	0.32	-	0.30
Mo	-	-	-	0.32	0.33	-	-	0.33	0.33
Tensile strength, R_m (Kra)	20	306	325	242	364	181	206	263	245
	400	254	266	282	310	144	164	209	197
Brinell hardness	-	220	239	247	252	185	195	225	219
Modulus of elasticity in tension, 10^3 MPa	20	121.4	131.83	136.22	139.62	105.6	104.73	118.05	108.40
	400	118.56	118.12	121.41	125.32	92.78	92.18	103.52	95.74
Heat expansivity $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	20-100	9.8	9.8	9.8	10.7	9.8	10.4	9.8	10.7
	20-400	12.3	12.3	12.4	12.5	12.0	12.3	12.5	12.2
Heat conductivity (W/Km)	100	44.0	41.5	41.5	41.5	52.0	49.0	47.0	45.7
	400	40.3	40.3	39.4	40.3	44.9	39.0	42.8	41.9
Length of cracks after 600 cycles	200	1.5	1.5	1.2	1.15	0.6	1.25	0.35	0.9
	400	2.3	2.4	2.5	1.7	2.7	2.8	1.15	3.25
(mm)	600	2.7	2.75	2.8	1.9	3.25	3.5	2.5	3.25

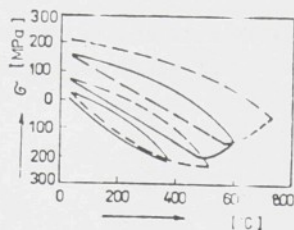
CAPTION

Fig. 1. Stresses caused in a specimen heated and cooled in four subsequent heat cycles (grey cast iron, 3.5 % C; 1.7 % Si)⁵⁾

Fig. 2. Crack in a flywheel, unetched (100 x)

Fig. 3. Crack in a flywheel, as in Fig. 2; etched with Nital (500 x); measurement of microhardness 1 (see Table 3)

Fig. 4. Specimen surface, etched with Nital (200 x); measurement of microhardness 2 (see Table 3)



OBR. 1. Napětí vyvolaná ve zkušební tyči, která byla ohřívána a ochlazována čtyřmi za sebou následujícími tepelnými cykly s délkou litina 3,5% C; 1,7% Si) [3].

FIG. 1.



OBR. 2. Trhlina v setrvačniku v naleptaném stavu, zvětšeno 100X.

FIG. 2.



OBR. 3. Trhlina v setrvačniku k obr. 2, leptáno Nitalem; zvětšeno 500X; měření mikrotvrdosti 1 tab. III.

FIG. 3.



OBR. 4. Povrch vtraku, leptáno Nitalem; zvětšeno 200X; měření mikrotvrdosti 2 tab. III.

FIG. 4.

APTIONS

- Fig. 5. Specimen surface, etched with Nital (200 x); measurement of microhardness 3 (see Table 3)
- Fig. 6. Specimen surface, etched with Nital (500 x); measurement of microhardness 3 (part) (see Table 3)
- Fig. 7. Collodion-carbon replica (7500 x)
- Fig. 8. Collodion-carbon replica (3000 x)



OBR. 5. Povrch vzorku; leptóno N-talem; zvětšeno 200X; měření mikrotvrdosti 3 tab. III.

FIG. 5.



OBR. 6. Povrch vzorku; leptóno N-talem; zvětšeno 500X; měření mikrotvrdosti 3 (část) tab. III.

FIG. 6



OBR. 7. Kolodium-uhliková replika; zvětšeno 7500X.

FIG. 7.



OBR. 8. Kolodium-uhliková replika; zvětšeno 3000X.

FIG. 8.

CAPTIONS

Fig. 9. Microstructure at a distance of 1.9 mm from the surface of the friction part of the flywheel; etched with Nital (500 x)

Fig.10. Microstructure at a distance of 3.0 mm from the surface of the friction part of the flywheel; cracks as in Fig. 2, etched with Nital (500 x)

Fig.11. Microstructure at the centre of the specimen; etched with Nital (500 x)

Fig.12. Microcracks in the matrix of the specimen surface; etched with Nital (500 x)

Fig.13. Microcracks in the specimen matrix near the surface; etched with Nital (500 x)



FIG. 13.



OBR. 9. Mikrostruktura ve vzdálenosti 1,9 mm od povrchu sítě plachy setrvačnicku, leptáno Nitalém; zvětšeno 500.

FIG. 9.



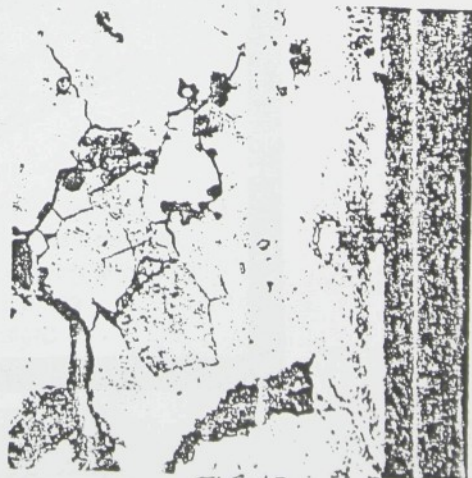
OBR. 10. Mikrostruktura ve vzdálenosti 3,0 mm od povrchu sítě plachy setrvačnicku přiliny na obr. 2; leptáno Nitalém; zvětšeno 500.

FIG. 10.



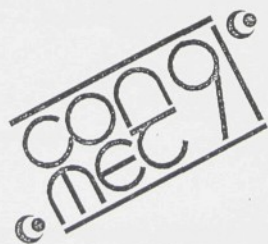
OBR. 11. Mikrostruktura uprostřed vzorku; leptáno Nitalém; zvětšeno 500.

FIG. 11.



OBR. 12. Mikrotrhliny v matici u povrchu vzorku; leptáno Nitalém; zvětšeno 500.

FIG. 12.



II. celostátní seminář o metodách studia
struktury a vlastností materiálů,
transferu progresivních technologií
9.-11. 9. 1991
BRNO

MIKROOHYBOVÁ ZKOUŠKA LITIN MICROBENDING TEST OF CAST IRON

Břetislav SKRBK
LIAZ s. p. Jablonec n/N

ABSTRACT *Real stress in the structure of castings - an application of the stress - deformation process to a microbending test - a graphical record of the test and its evaluation - real limit states. An explanation of the microbending test development - a description of the developing apparatus. The microstructure effect of cast iron in graphical record shape. Contributions to the testing process - production possibilities for the apparatus.*

ABSTRACT *Reálné namáhání ve stěnách odlitků - aplikace napěťové deformačního procesu na mikroohybovou zkoušku - grafický záznam zkoušky a jeho vyhodnocení - skutečné mezní stavy. Důvod vývoje mikroohybové zkoušky - popis vyvinutého přístroje. Působení mikrostruktury litin na tvar grafického záznamu. Přínosy pro zkušebnictví - možnost opakované výroby přístroje.*

Výroba vysokovýkonných přeplňovaných motorů s mezichlazením plnicího vzduchu značně zvyšuje nároky na odlitky bloků a hlav válců z hlediska mechanického a tepelného namáhání. Důsledkem je pak citlivost na výkyvy v materiálové kvalitě odlitků v sériové výrobě. Minimalizace ztrát z nekvalitní výroby vyžaduje rychlou a spolehlivou kontrolu. K těmto účelům se běžné mechanické zkoušky nehodí. Nevztahují se k odlitku, ale ke zkušebnímu tělesu. Časové a cenové jsou náročné.

Pro rychlou kontrolu jsou vhodné nedestruktivní zkoušky. U nich je výsledkem měření fyzikální veličina, z které se usuzuje na hodnotu mechanické veličiny [1]. Při zavádění nedestruktivních metod kontroly je nutné přesně určit mezní hodnoty napětí pro daný materiál v kontrolovaném místě a získání převodního vztahu k fyzikální měřené veličině.

To do značné míry umožňuje mikroohybová zkouška. Ve srovnání se standardní tahovou nebo ohybovou zkouškou vyžaduje podstatně menší a rozměrově variabilní vzorek materiálu. Získané informace jsou přitom podstatně bohatší ve srovnání se zkouškou mezi kliny nebo mikroštíhem.

1. ZKOUŠKA OHYBEM ČSN 42 0361 [2]

Při zkoušce se tyč kruhového průřezu uložená na dvou podporách zatěžuje plynule uprostřed silou P až do porušení. Zkouška je určena pro litiny. Přednostní rozměry jsou $\phi_d = 20$ mm a rozpětí podpor $l = 20$ d.

Zkouškou se stanoví pevnost v ohybu jako max. napětí vzniklé v krajním vlákní tyče.

$$R_{m0} = \frac{M_{0 \max}}{W_0} = \frac{8 \cdot P l}{\pi \cdot d^3} \quad (1)$$

$M_{0 \max}$ - max. ohyb. moment

W_0 - modul průřezu pro ohyb

Z průhybu tyče se usuzuje na houževnatost litiny.

2. MIKROOHYBOVÁ ZKOUŠKA [3]

Vzorek obvykle obdélníkového průřezu je umístěn na tvrdých podložkách, které rozkládají tlak a brání boření vzorku do podpor pod podložkami.

Zatěžovací trn - ohybník působí na vzorek uprostřed silou P vyvozanou buď univerzálním tlačím strojem nebo jiným zdrojem rovnoměrně rostoucí síly (lis, svérák).

Tenzometry přilepené na ohybníku snímají zatěžovací sílu a tenzometry na ocelové planžetě pod průhybovým čipkem průhyb. Elektronické výstupy přípravku pro mikroohybovou zkoušku jsou napojeny na souřadnicový zapisovač x-y (např. XY4106).

Vzdálenost podpor l je 25 - 40 mm a max. průřez $b \times h$ vzorku je omezen napěťovými poměry ($\sigma_{red.} \equiv \sigma_{oh}$) a max. zatížitelností ohybníku (cca 50 kN).

Rozměry přípravku jsou malé - konkrétní provedení ukazuje obr. 1.

2.1 Vyhodnocení zkoušky - grafického záznamu

Parametry, které lze jednoduše ze zkoušky určit (obr. 2):

a) mez pevnosti v ohybu R_{m0}

$$R_{m0} = \frac{M_{0 \max}}{W_0} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{m0} \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (2)$$

b) mez kluzu v ohybu R_{p0} , případně i mez úměrnosti R_{E0} u tvárných litin

c) podíl nelineárního a lineárního průběhu

$$y_p = \frac{p}{y-p} \quad (3)$$

Hodnoty R_{p0} a y_p nejsou zatím obecně definovány.

Pro tento případ hodnocení definují R_{p0} [5] jako napětí odpovídající bodu záznamu s maximální křivostí (min. poloměrem r) - představuje mezní stav přechodu z převážně pružných deformací materiálu vzorku při namáhání.

Šedé litiny běžných jakostí nemají tento stav běžně vyhodnotitelný. Hodnota y_p je do jisté míry obdobou tažnosti A u zkoušky pevnosti v tahu. Nezávisí na absolutních rozměrech vzorku (v rozsahu provedených zkoušek).

3. NAMÁHÁNÍ VE STĚNÁCH ODLITKŮ

Struktura litiny je tvořena "ocelovou" maticí a v ní uloženými útvary grafitu, které namáhání tahem nepřenesí. Při namáhání tlakem se chová jako uzavřená kapalina a namáhání částečně přenesí. Důsledkem této vlastnosti je výrazná odlišnost diagramu zkoušky v tahu a v tlaku. Litiny s lupínkovým grafitem se neřídí Hookovým zákonem. Modul pružnosti E je pro tahovou a tlakovou oblast odlišný. Při ohybovém namáhání se neutrální osa pohybuje do tlakové oblasti. Na větší části průřezu je tahové napětí.

Odlišnost stěny odlitku vůči ohybovému namáhání závisí proto hlavně na strukturální stavbě povrchových partií - licí kůry. Mikroohybové zkoušky opracovaných vzorků nejsou tak důležité. Struktura povrchových partií stěny se "podepisuje" do tvaru záznamu. Lupínkový grafit v licí kůře tvárné litiny ruší linearitu záznamu, volný cementit podstatně napřimuje a strmí záznam atd.

Svoji roli má i vnitřní prnutí rozdílné napříč - rychle zchladlých tenkých stěn odlitků ze šedé litiny (tahové napětí uvnitř průřezu).

Mikroohybová zkouška má proto též význam při vývoji slévarenské technologie konkrétního odlitku, při volbě formovacích hmot o různé tepelné jinavosti (akumulaci).

Z konkrétního odlitku se pro mikroohybovou zkoušku použijí např. trámečky s licí kůrou o půdorysu 10 x 28 resp. 45 mm. Třetí rozměr dává tloušťku stěny.

4. ZÁVĚR

Mikroohybová zkouška může být nezanedbatelným přínosem do kůlebnictví litin.

Způsob určování mezních stavů bere v úvahu skutečné a ne smluvní vlastnosti (jako např. $R_{0,2}$ u zkoušky tahem). Předpokládáme, že další informace o mezních vlastnostech materiálu přinese matematické zpracování grafického záznamu zkoušky [4].

Stěny odlitků jsou často namáhány ohybem. Vzorky pro mikroohybovou zkoušku se ze stěn odlitků podstatně snadněji získávají než pro jiné mech. zkoušky. Touto zkouškou se nejsnadněji získá komplexní informace o mechanických vlastnostech odlitků z neznámého materiálu (litiny). Je důležitá při zavádění nedestruktivní kontroly mech. vlastností litinových odlitků i při slévarenském vývoji.

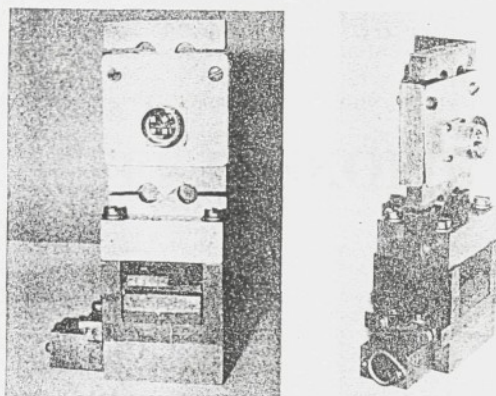
Zkouška mikroohybem není vázána na laboratoř, thací stroj. "Kapesní" přípravek k provádění této zkoušky byl realizován ve vývojové základně LIAZ. Jeho výroba může být podle zájmu opakována.

POUŽITÁ LITERATURA

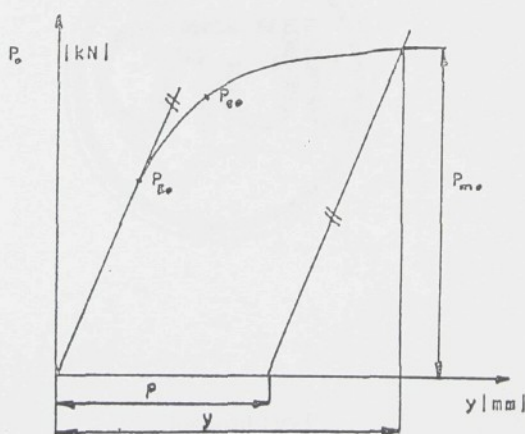
- [1] SKRBEK, B.: Nedestruktivní materiálová diagnostika litin, disertační práce VŠST Liberec, Jablonec n/N 1988.
- [2] ČSN 42 0361
- [3] SKRBEK, B.-LAJTEK: Přípravek na pevnostní zkoušku litiny, řešení TÚ 10-33/86 o. p. LIAZ.
- [4] HYŠKO, A.: Mikroohybová zkouška litin, diplomová práce KMM-347 VŠST Liberec 1989.
- [5] SVOBODA, A.: Výzkum vztahů mezi mechanickými vlastnostmi, zatěžovacím diagramem při statické zkoušce litin a jejich mikrostrukturou, výzkumná zpráva SVUM Brno Z-83-4830.

$R_m = 0,51 R_{m0}$	R_{m0} [MPa]	S	$\bar{y}_p$ [1]	S
Tvárná litina feritoperlitická	1140	100	6,6	1,5
Litina s červikovitým grafitem - ferit	820	41	1,46	0,21
Šedá litina střední jakosti	438	54	0,51	0,16
Temperovaná litina, ferit - perlit	627	50	0,9	0,06

Tab.1: Vztah R_m a y_p základních litin - střední hodnoty, směrodatné odchylky získány z desítek měření



Obr.1 Přípravek pro mikroohybovou zkoušku



Obr.2 Vyhodnocení grafického záznamu

Česká společnost pro nedestruktivní testování
Certifikační středisko nedestruktivního zkoušení při SVÚM Praha
Celostátní defektoskopické středisko SVÚM Praha
Firma Meetings and Courses České Budějovice

DEFEKTOSKOPIE 93



listopad 1993
Tábor

VZTAH RYCHLOSTI ZVUKU, TLOUŠŤKY STĚN A DRSNOSTI OBROBENÝCH POVRCHŮ LITINOVÝCH ODLITKŮ

Ing. Břetislav Š k r b e k, CSc., LIAZ a. s. Jablonec n. H.

Litiny na rozdíl od ostatních konstrukčních kovů jsou výrazně heterogenními materiály. Svoji strukturou by se daly též nazvat přirozenými uhlíkovými kompozity s ocelovou maticí. Protože však uhlík v litinách má formu měkkého nepevného grafitu, nepevňuje, nýbrž výrazně oslabuje pevnost ocelové matrice zejména při tahovém namáhání.

Míra oslabení matrice roste s velikostí D a štihlostí grafitových útvarů, tj. lupinek u šedé litiny. Velikost a štihlost závisí na rychlosti chlazení, tedy i tloušťce stěny L a na metalurgické přípravě tekuté litiny. Velice těsně koreluje s rychlostí zvuku v , koef. útlumu α a modulem pružnosti E_0 .

Tento příspěvek je věnován kvantifikaci vztahu mezi L , E_0 , v , D u běžných odlitků ze šedých litin ČSN 42 2410 až 30. Uvádí souvislosti mezi D a dosažitelnou drsností obrobene plochy R_a odlitků. Tím chce rozšířit záběr výsledků práce kontrolorů a defektoskopů při diagnostice litinových odlitků ultrazvukovými metodami.

1. Stanovení E_0

Modul pružnosti E vyjadřuje tuhost materiálu. Pro řadu technických aplikací, např. tělesa ložisek a součástí střídavě tepelně namáhane, je jeho hodnota pro konstruktéra důležitější jak pevnost R_m . Hodnoty E_0 uvádí ČSN pro jednotlivé jakosti litiny. Pro technika je hodnota E_0 daleko konkrétnější veličina jak absolutní podélná v_L nebo relativní v_A rychlosti zvuku.

Vztah mezi v E_0 nutno pro každou slévárnu a její tavici agregát, tj. obloukovou nebo indukční elektrickou pec či kuplovnu, stanovit experimentálně z měření na půlkruhových výřezech uhlovou a přímou sondou nebo na štihlých tyčích $l/d \geq 7$, kde využíváme odrazu a transformace UZ vln na konci tyče. Na obrazovce se v tomto případě zobrazí zpožděná echa za hlavním koncovým echem s roztečí τ_{12} . Nutno změřit měrnou

hmotnost ρ zkoušených těles /1,2/:

$$E_0 = \sqrt{K \cdot v_R}^2 \quad \text{MPa} \quad (1)$$

$$v_L = v_R \cdot 5930 = L/L_0 \cdot 5930 \quad \text{m/s} \quad (2)$$

$$T = \tau \cdot v_R \quad \text{m} \quad (3)$$

$$K = 5930 \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \frac{1,5 - (\frac{d^2}{8T^2})}{1 + (2T/d)^2}} \quad \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (4)$$

pro litinu z liberecké slévárny s kuplovnami jsem i měření na cca 120 tyčích stanovil výpočetní vztah

$$E_0 = 1437,8 \sqrt{v_R}^2 \quad \text{MPa} \quad (5)$$

2. Změny hodnot E_0 v odlitku

Vztah mezi hodnotami E_0 a R_m šedé litiny platí pouze pro nelegovanou litinu s přirozeně schladlými stěnami, tedy tam, kde není úmyslně ovlivněna krystalizace ocelové matrice. Z tohoto předpokladu byla vypracována tabulka č.1 a sestrojen graf na obr.1. Tab.1 uvádí nárůst mechanických vlastností s klesající tloušťkou stěny odlitku pro jednotlivé jakosti litin dle ČSN. Funkce $E_0 = f(L)$ předkládá graficky obr.2.

Vlastnosti litiny se však výrazně mění i v průřezu jedné stěny odlitku. Čím je silnější stěna a méně jakostní litina, tím jsou poměry povrchových a jádrových mech. vlastností výraznější, viz obr.3. Odlitek ozn. 02 odpovídá ČSN 422425 a odl. 79 ČSN 422413. E_0 je hodnota E změřená integračně přes celý řez stěnou.

3. Měření tlouštěk stěn L

Ve slévarenské praxi se ultrazvukových tloušťkoměrů užívá téměř výhradně jen k měření tlouštěk neprístupných stěn odlitků a nikoliv též k hodnocení jakosti důležitých částí v odlitku, tedy měření v_R .

Codevateľ přístroje určí podle dodaného vzorku litiny slévárny požadovaný údaj nebo hodnotu v_L , např. $Lo=3.7$ pro ocelový etalon 6mm nebo $v=4450\text{m/s}$, které kontrolní pracovník bere za naměřené, konstantní.

Z obr.2 plyne, že při běžném rozsahu měření L o až 30mm činí pak chyba výsledků měření tlouštěk až 8% na jednom odlitku. Při změně jakosti litiny o té samé tloušťce o jednu třídu se zanáší do měření chyby 5%. Při rozdílu jakosti i

tloušťky stěny od etalonu tak chyba může přerůst 10%. Vlastní chyba měření L tak může překročit toleranci rozměru L dle ČSN 01 4470.

V praxi musí kontrolor nastavit tloušťkoměr ovládacím prvkem a s posuvným měřítkem na přístupném místě stěny měřeného odlitku, nebo alespoň využít pro přibližné nastavení obr.2 (po vyznačení hodnot v na osu E_0).

Jakost litiny podle E_0 určuje poměr skutečné L a ultrazvukem měřené L_u tloušťky vzhledem k cejchovnému etalonu. Za tím účelem vyrábí některé firmy uz. tloušťkoměry spojené s elektronickými posuvnými měřítky.

Nejvyšší kadenci kontroly odlitků se dosáhne při zanedbání změn L, tj. na silných průřezech přes 50mm. Zde se uplatní universální defektoskopy se sondami do 1MHz nebo by se využily uz. tloušťkoměry se zobrazením echa a sondami větších Def při kmitočtu do 2MHz.

4. Drsnost obráběných ploch

Výkresy předepisují na odlitcích z šedých litin i jemné povrchy $Ra=1,6\mu m$. Někdy bývá problém požadovanou drsnost dodržet. Pokud nástroj při řezu vyvolává v povrchu litiny i tahové složky síl, projeví se výrazněji na drsnosti Ra hrubost D útvarů grafitu. Místy totiž dochází k vytrhávání kusů ocelové matrice a rozevírání štěrbin po lupincích grafitu, neboť grafit některé mikroobjemy oceli zcela obklopuje. Příklad vztahu $Ra=f(D)$ pro konkrétní případ scustružení uvádí obr.4.

Délka grafitů D samozřejmě souvisí s hodnotami v a E_0 pro určitý rozsah chemického složení litiny

$$D = 2080 - 6,23 \cdot E_0^{0,5} \quad \mu m \quad (6)$$

Drsnost povrchu tedy roste s hloubkou průniku nástroje do stěny, např. u drážek řemenic. Proto je důležité předepisovat konkrétní místo kontroly drsnosti u litinových odlitků po obrobení. I na litině lze dosáhnout velmi malé Ra vhodným způsobem, např. broušením, a řeznými podmínkami obrábění.

5. Závěr

Každý litinový složitější odlitek je z hlediska

akustických vlastností svých dleších partií velice variabilní. Kontrola rozměrů a struktury ultrazvukem a drsností musí brát tuto skutečnost, v příspěvku uvedenou, v úvahu a počítat s ní, jinak by výsledky kontroly byly zatíženy významnými chybami.

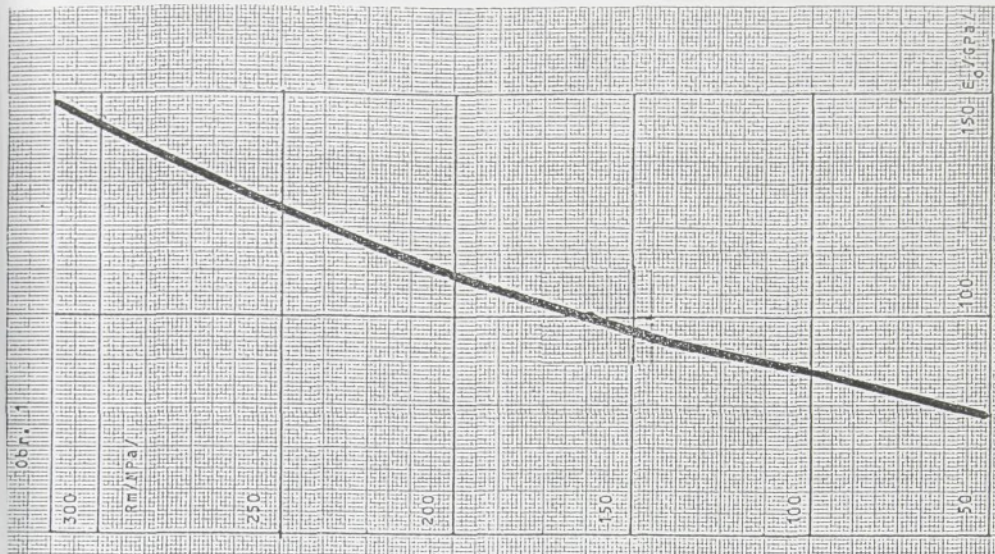
Literature

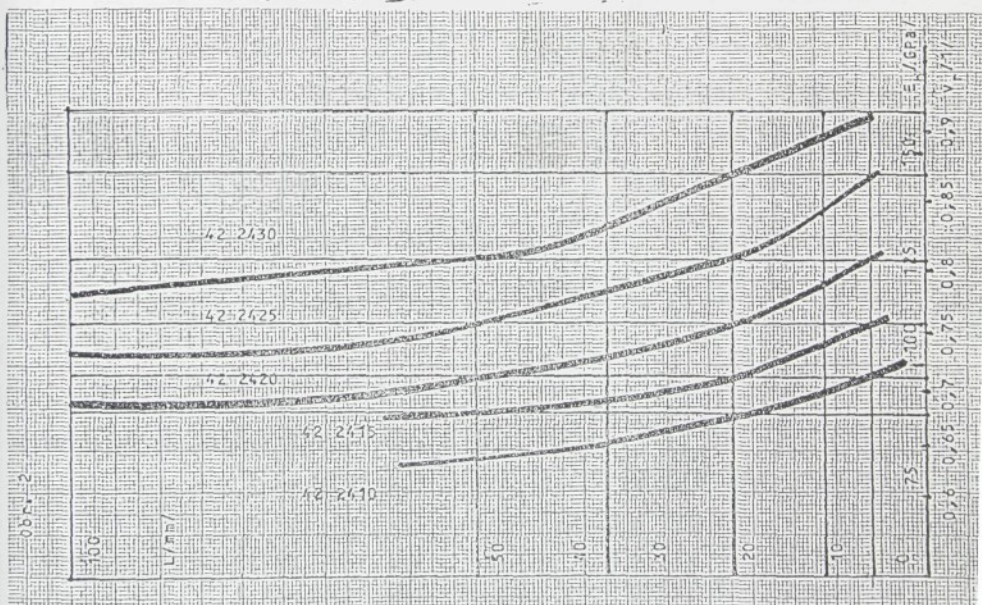
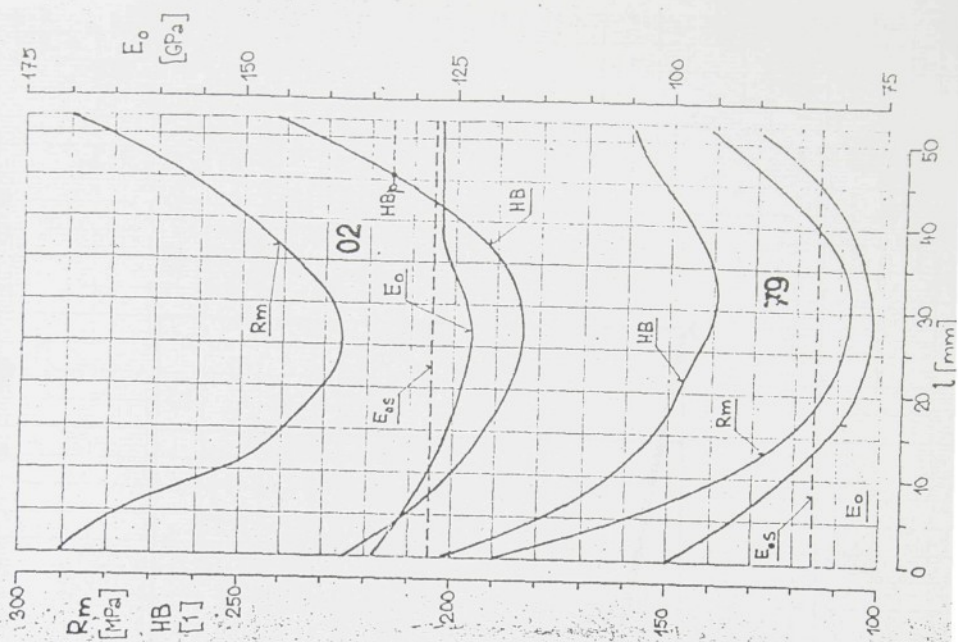
- /1/ Toraz J.: Ultrazvuk v měřicí technice, SNIL 1976.
 - /2/ Škrbek B.: Nedeštruktivní materialové diagnostika litinových odlitků, kand. disertační práce, Jablonec 1988.
- S. 01

Zvlnění mechanického vlnění při rychlosti
 120 m/s (vlnění 120 m/s, 240 m/s, 480 m/s)

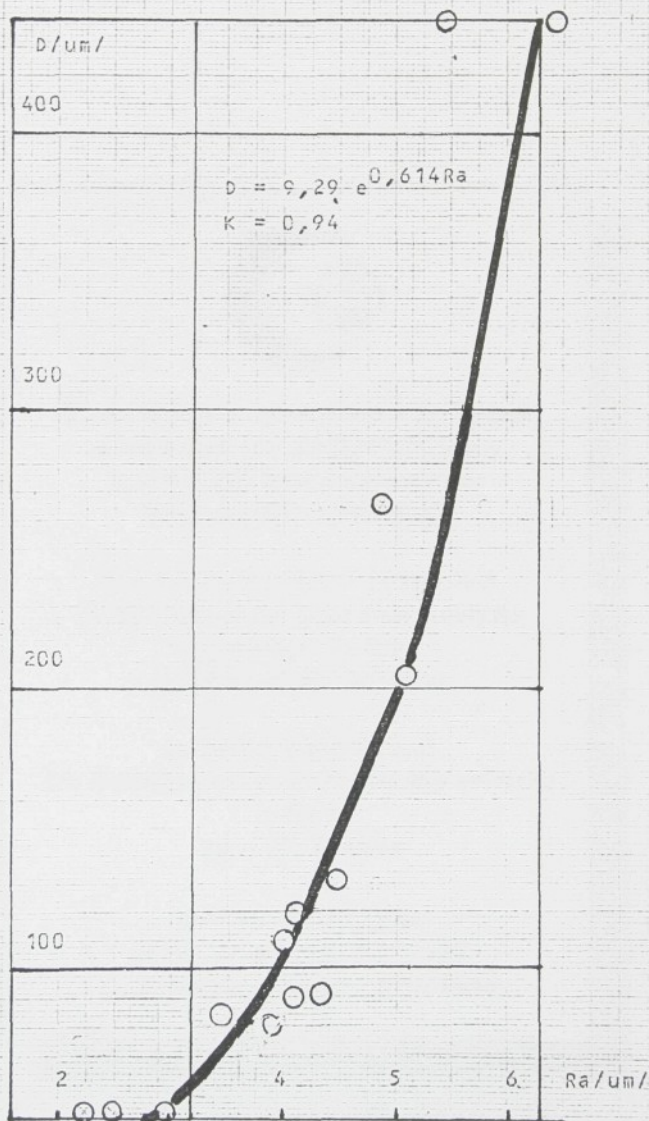
Číslo	tloušťka stěny [mm]	47,9	64,9	81,9	98,9	115,9	132,9	149,9	166,9
	ρ [g/cm ³]	15	20	25	30	35	40	45	50
42 2410	min. R_p [MPa]	150	130	110	90	70	50	30	10
	min. H_B	150	130	110	90	70	50	30	10
	max. H_B	210	180	160	140	120	100	80	60
42 2415	min. R_p [MPa]	200	180	160	140	120	100	80	60
	min. H_B	170	150	130	110	90	70	50	30
	max. H_B	230	210	190	170	150	130	110	90
42 2420	min. R_p [MPa]	250	230	210	190	170	150	130	110
	min. H_B	200	180	160	140	120	100	80	60
	max. H_B	260	240	220	200	180	160	140	120
42 2425	min. R_p [MPa]	300	280	260	240	220	200	180	160
	min. H_B	220	200	180	160	140	120	100	80
	max. H_B	260	240	220	200	180	160	140	120
42 2430	min. R_p [MPa]	-	330	300	270	240	210	180	150
	min. H_B	-	220	200	180	160	140	120	100
	max. H_B	-	260	240	220	200	180	160	140
42 2435	min. R_p [MPa]	-	330	300	270	240	210	180	150
	min. H_B	-	230	210	190	170	150	130	110
	max. H_B	-	270	250	230	210	190	170	150

Poznámka : Platí pro stěny nosivostně výrazně průsočností
 tekuté litiny při odlévání, tepelně neupravené





Obr. 4





**V. mezinárodní symposium o zařízeních
a metodách pro studium struktury
a vlastností materiálů, transfer
progresivních technologií**

**The 5th International Symposium
on Equipment for Structural Analysis,
Mechanical Testing
and Technology Transfer**

**pořádané u příležitosti
36. Mezinárodního strojírenského veletrhu
v Brně
12. - 15. 9. 1994**

**held on the occasion
of the Brno Trade Fair 1994
on September the 12 - 15th 1994.**

Vztah mechanických vlastností v odlitcích a přilítých vzorkovacích tělesech

BŘETISLAV SKRBEK, Ing., CSc., LIAZ, a.s. Jablonec nad Nisou

Materiálová jakost litinových odlitků v přejímacích podmínkách se všeobecně podmiňuje hodnotami mechanických vlastností, které jsou získány destrukcí zkušební tělesa (zkušební tyče). Tyto tyče jsou „vypreparovány“ ze vzorkovacích těles přilítých (obvykle uprostřed nebo na konci lití) s odlitky.

Mechanické vlastnosti v konkrétním místě odlitku závisí dle zvyklostí mimo technologických parametrů také na tloušťce stěny a průtočnosti tekutého kovu místem. Litý kov vyhrátím stěn slévarenské formy (nebo jader) po ztuhnutí se vlastně žihá akumulovaným teplem a „měkne“. Pevnostní vlastnosti významně ovlivňuje stav povrchu (licí kúra) odlitku. Superpozice vnitřních pnutí.

Na základě uvedených všeobecně známých předpokladů jsme připravili experiment, jehož cílem je kvantifikace poměrů mezi mechanickými vlastnostmi v tělesech Y1, Y2 a stěnami odlitků 5 až 15 mm silných a jednotlivými a pětinasobnými průtoky kovu stěnami.

Zkoumána byla oblast litin s kuličkovým a červíkovým grafitem.

Technika experimentu

Byly odlity tavby litin s kuličkovým a červíkovým grafitem a feritickou až perlitickou základní kovovou hmotou. Z každé tavby byly odlity zkušební bloky Y1 a Y2, desky 200 x 100 x Lmm s L<5; 10; 15).

Z bloků Y1 byly vyrobeny tyče o průměru 6 mm a z Y2 10 mm. Desky po proměření tvrdosti a nedestruktivním měření ultrazvukem a metodou bodového magnet. pólu se zpracovaly na ploché tyče s licí cívrou pro zkoušku tahem. Aby byl potlačen negativní vliv nepřesností při upínání plochých tyčí do čelistí trhačích stroje, byly tyče trhány přes čepy 12 mm. Na odezcích z bloků a desek byla provedena metalografická analýza. Šířka plochých tyčí je 10 mm.

Tab. 1 Chemické složení taveb v %

Tavba	C	Si	Mn	P	S	Litina
1	3,83	2,63	0,09	0,032	0,008	LKG F+P
2	3,78	2,63	0,08	0,036	0,006	LKG P
3	3,42	2,70	0,10	0,016	0,007	LKG F
4	4,06	3,36	0,25	0,076	0,007	LČG P
5	3,88	2,66	0,19	0,057	0,009	LČG F
6	3,84	2,58	0,20	0,059	0,007	LČG F+

* litina s červíkovým a lupinkovým grafitem po částečném odeznění modifikačního účinku

Základní surovinou pro výrobu litin bylo surové železo OREL a LITVAR 6 jako modifikátor. Licí teplota 1280 - 300°C.

Bloky a desky byly formovány do bentonitové směsi pisku ostřivý RTKO a RTK1 v poměru 1:1, 6 % bentonitu a 3 % amonouhelné moučky. Doba stání forem před litím je 24 odin.

Tab. 2 Průtočnost tekuté litiny plochými vzorkovými těle-

Průtok [kg]	tloušťka stěny	5 mm	10 mm	15 mm
jednotkový		0,75	1,33	3,00
pětinasobný		3,78	6,65	15,00

Výsledek

Výčet jednotlivých měření je nepřehledný. Předkládám proto jen výsledky regresní analýzy a vzorek hodnot pro porovnání.

Tab. 3 Souvislost mechanických vlastností v blocích Y1 a Y2

Rozsah Rm	Lineární regrese	Korelační koeficient
Y1 (867; 400)	$R_{my2} = R_{my1} \cdot 0,9 + 7$	0,995
Y2 (784; 350)	$R_{p0,2y2} = R_{py1} \cdot 0,938 + 7$	0,995
	$A_{y2} = A_{y1} \cdot 1,68 - 8,7$	0,969
Ferit <2;100%	$F_{y1} = F_{y2} \cdot 1,04 - 3$	0,99

Tab. 4 Vliv průtočnosti

Stěna [mm]	Příklad R_m	R_{mp}	Lineární regrese	Korelace
5,5	400 370 800 797		$R_{m5p} = R_{m5} \cdot 1,065 - 55$	0,982
9,6	400 406 700 854		$R_{m10p} = R_{m10} \cdot 1,49 - 192$	0,985
15	400 385 700 890		$R_{m15p} = R_{m15} \cdot 1,684 - 288$	0,985

V tabulce č.5 jsou uvedeny vlastnosti čisté feritické a perlitické litiny s kuličkovým grafitem - tavba 2 a 3

Tab. 5 Porovnání vlastností stěn a kýlových bloků

	Y1	Y2	5	5P	10	10P	15	15P
Rm	867	784	748	733	600	690	540	640
P % F	7	2	0,5	1	0,5	1	0,5	0,5
HB	269	263	302	287	287	260	273	258
Rm	440	420	512	537	444	461	402	413
F % F	98	99	65	65	65	65	70	75
HB	166	161	226	206	214	186	193	182

P....index vlastností vzorku s pětinasobným průtokem

Nedestruktivním měřením rychlosti zvuku ultrazvukovým tloušťkoměrem a remanentního magnetismu přístrojem STRUKTUROSKOP B1 byly na stěnach 10 a 15 mm získány použitelné přepočty ($K > 0,9$) pro nedestruktivní měření HB a Rm, případně modulu pružnosti Eo.

věr

kýlových blocích Y1 získame prakticky o 10 % ší hodnoty pevnosti jak v blocích Y2.

vnost Rm s průtočností kovu stěnou u feritických i se příliš nemění. Zato u perlitických stěn, zvlášť ro tloušťky od 9,5 mm, vede k výraznému zvýše- odnot Rm až o 30 %. Přitom hodnoty tvrdosti i opačný trend. Vysvětlení přinese další práce kúra, prnutí ...).

vnost u perlitických stěnách s lici kúrou je pod- ně nižší než odpovídají hodnoty Rm Y-bloků,

zejména u silnějších stěn, přičemž vnitřní struktura je téměř shodná. U feritických litin s kompaktním grafitem zase naopak hodnoty Rm se významně neli- ší, zato však množství feritu ve stěnách je výrazně nižší než v Y-blocích týchž taveb.

Získané výsledky upozorňují na podstatné rozdíly vlastností litiny ve zkušebních blocích a odlitcích při uvažování průtočnosti stěn odlitků. Obecnější plat- nost uvedených poznatků však musí potvrdit nebo zamítnout další experimenty, zvláště v jiných slévár- nách.

Dotázky hůževnatosti zvarových spojov nových typov vysokopevných nízkolegovaných ocelí

Doc.Ing. PETER BERNASOVSKÝ, CSc., Výskumný ústav zvaračský Bratislava

Ľvod

šie používanie moderných vysokopevných nízkov- vaných ocelí pevnostnej triedy 800 - 1000 MPa je o limitované ťažkosťami so zabezpečovaním ich tnosti pri zvaraní. Tento problém je vypuklý ná vtedy, ak chceme používať vysokoproduktív- netódy zvarovania s vyšším merným tepelným prí- m (napr. zvarovanie pod tavivom), kedy dochádza rehnutiu teplom ovplyvnenej oblasti (TOO).

izítie vyššieho tepelného príkonu zvarovania, t.j. ania s pomerne dlhšími časmi ochladzovania zi

500°C, prináša so sebou výskyt nepriaznivej ktúrnej zložky M-A, nazývanej tiež ako M- pponent.

nponenty M-A sú vlastne ostrovčeky tvorené tenzitom a zvyškovým austenitom, ktoré sa yťujú väčšinou ako súčasť horného bainitu. Hoci ťiaznivý vplyv komponentu M-A na vlastnosti e je všeobecne známy, chýbajú detailnejšie údaje ěsobe jeho vplyvu.

Metodika skúšok a skúšobný materiál

yy zvarovania sa nahrádzal imitovaním teplotných ov zvarovania na simulátore Gleeble 1500. lotné cykly s maximálnou teplotou 1623 350°C) a časom ochladzovania $\Delta t_{8/5} = 3,5$ až) s (obr. 1) sa imitovali priamo na štandardné ové telieska rozmerov 10x10x55 mm ubom ISO 2 mm (kolmým na povrch plechu).

skúšky boli dodané štyri tavby vysokopevných olegovaných ocelí, a to dve pevnostnej triedy 794 (ozn. HT 80 A a HT 80 B) a dve triedy 980 MPa HT 100 A a HT 100 B). Chemické zloženie skú- ých ocelí je obsahom tab. 1.

ýsledky skúšok

islosť veľkosti austenitického zrna, tvrdosti e, percentuálneho podielu M-A komponentu razovej práce imitovanej teplom ovplyvnenej sti na čase ochladzovania, medzi 800-500°C 3-773 K) je graficky vyjadrené na obr. 2. Vidíme,

že veľkosť austenitického zrna s predlžujúcim časom ochladzovania mierne rastie, ale tento priebeh je monotónny. Avšak pokles nárazovej práce je náhly, a to pri skúšobných oceliach HT 80 A a HT 100 B pri čase ochladzovania $\Delta t_{8/5} = 100$ s a pri oceli HT 80 B pri $\Delta t_{8/5} = 50$ s, čo je oblasť, kedy sa v štruktúre týchto troch ocelí začína objavovať komponent M-A, a to najmä masívneho (polygonálneho) typu. Komponent M-A ako súčasť horného bainitu sa najprv vylučuje v tvare pretiahnutom (elongated) a neskôr s predlžujúcim časom ochladzovania v tvare pľnšom označovanom ako masívny (massive). Za komponenty pretiahnutého tvaru sme považovali tie, v ktorých pomer dĺžky k šírke bol väčší ako 5. Okrem morfolologickej zmeny sa s predlžujúcim časom $\Delta t_{8/5}$ zväčšovala aj veľkosť (plocha) samotných čas- tic komponentu M-A (tab. 2).

Do času ochladzovania $\Delta t_{8/5} = 100$ s, resp. 50 s bola hůževnatosť uvedených troch ocelí dobrá vďaka štruktúre tvorenej prevažne dolným bainitom a nízkouhlíkovým martenzitom. Pri dlhých časoch ochladzovania sa v štruktúrach imitovanej TOO pozoroval aj čiastočný rozpad komponentu M-A na feriticko-karbidickú zmes, pozri vyšrafovanú časť na krivkách podielu M-A na obr.2a,b a d.

Iný priebeh mala závislosť ocele HT 100 A (obr. 2c), v ktorej sa vylúčenie M-A komponentu nezistilo ani pri najdlhších časoch ochladzovania. Jej štruktúra bola tvorená nízkouhlíkovým martenzitom a dolným bainitom.

Tomu odpovedá aj priebeh nárazovej práce, ktorý je prakticky nemenný.

Dva morfologicky odlišné typy M-A komponentu dokumentuje obr. 3a a 3b. Na obr. 3b pozorovať už aj čiastočný rozpad komponentu na ferito-karbidickú zmes.

V M-A komponentoch sa nameral vysoký obsah uhlíka. Takmer lineárny vzťah medzi obsahom uhlí- ka a tvrdosťou M-A komponentu vyjadruje obr. 4. Na obrázku tiež vidieť, že komponenty masívneho tvaru majú vyšší obsah uhlíka a aj vyššiu tvrdosť ako kom- pponenty pretiahnuté.

METAL '95

4. mezinárodní metalurgické sympozium
4th International metallurgical symposium

16.-18. 5. 1995

OSTRAVA, CZECH REPUBLIC
HOTEL ATOM

Redatel

Organized by

TANGER, s. r. o., OSTRAVA

spolupráce s

In cooperation with

Českou společností pro nové materiály a technologie
Czech Society for New Materials and Technologies
Svazem stěvarek České republiky, Brno
Foundry Association, Brno

II.

Vztah mechanických vlastností v odlitcích a přilitých vzorkovacích tělesech

Břetislav Skrbek, Ing., ČSC.,

LIÁZ a. s., Jablonec nad Nisou.

Úvod

Materiálová jakost litinových odlitků v přejímacích podmínkách se všeobecně podmiňuje hodnotami mechanických vlastností, které jsou získány destruktivní zkoušebními tělesy (zkoušební tyče). Tyto tyče jsou "vytvarovány" ze vzorkovacích těles litých (obvykle uprostřed nebo na konci lití) s odlitky.

Mechanické vlastnosti v konkrétním místě odlitku závisí mimo technologických parametrů také na tloušťce stěny a průtočnosti tekutého kovu. Litý kov vyvíje stěny slév. formy (nebo jádra) a po ztuhnutí se vlastně žlá akumulovaným teplem a "měkne". Pevnostní vlastnosti významně ovlivňuje stav povrchu (lití kůra) odlitku a superpozice vnitřních prutů.

Na základě uvedených, všeobecně známých předpokladů jsme připravili experiment, jehož cílem byla kvantifikace poměrů mezi mech. vlastnostmi v tělesech y a stěnami odlitků 5 až 15mm silných s jednotkovými a pětinasobnými průtoky kovu stěnami.

Zkoumána byla oblast grafitických litin.

Technika experimentu

Byly odlity tavby litin s kulickovým a červíkovým grafitem a feritickou až perlitickou základní kovovou hmotou. Litina s lupinkovým grafitem získána odevlněním modifikačního účinku. Z každé tavby byly odlity zkoušební bloky Y1 a Y2, desky 200 x 100 x 1mm s L-5,9,15.

Z bloků Y1 byly vyrobeny tyče o průměru 6mm a z Y2 10mm. Desky po proměření tvrdosti a nedestruktivním měření ultrazvukem a metodou bodového magnet.pólu se opracovaly na ploché tyče s lití kůrou pro zkoušku tahem. Aby byl potlačen negativní vliv nepřesností upínání plochých tyčí do čelisti tahacího stroje a tím přidavných ohybových napětí, byly tyče tržány přes čepý 12mm. Na odřezcích z bloků a desek byla provedena metalografická analýza. Šifra trhané části ploch.tyčí je 10mm.

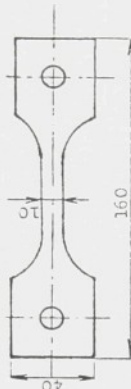
Chemické složení taveb v %: Tab.1
LKG...litina s kulickovým grafitem
LČG...litina s červíkovým grafitem
F...ferit, P...perlit

Tavby připraveny z velice čistých surovin.
SE...stupeň eutektičnosti.

Tavba	C	Si	Mn	P	S	SE	Litina
1	3,83	2,63	0,09	0,032	0,008	1,12	LKG F+P
2	3,78	2,63	0,08	0,036	0,006	1,10	LKG P
3	3,42	2,7	0,1	0,016	0,007	1	LKG F
4	4,06	3,36	0,25	0,076	0,007	1,27	LČG F*
5	3,88	2,66	0,19	0,057	0,009	1,14	LČG F
6	3,84	2,58	0,2	0,059	0,007	1,12	LG F*

*...legováno Sb

...litina s červíkovým a lupinkovým grafitem grafitem po část. odeznění modifikačního účinku.
Nářt tyče pro zkoušku pevnosti v tahu je na obr.1. Měřená délka l₀=40mm.



Obr.1. Plochá tyč pro zkoušku pevnosti v tahu.

Základní surovinou pro výrobu litin bylo surové železo SOREL a LITVAR6 jako modifikátor. Lití teplota 1280-1300 st.C.
Bloky a desky byly formovány do bentonitové směsi písku s ostřiva RTKO a RTK1 1:1, 6t bentonitu a 3t kamenouhelné moučky.

Doba stání forem byla 24h před litím.

Průtočnost tekuté litiny plochými modely odlitků: Tab.2

Průtok /kg/	tl. stěn	5	9	15 mm
jednotkový		0,75	1,33	3
pětinasobný		3,78	6,65	15



Obr. 2. Schema vtokové soustavy.

Odlitky nebyly tepelně zpracovány a ve formách chladly do teplot okolí.

Výsledky

Výčet jednotlivých měření je neprehledný. Předkládám proto jen výsledky regresní analýzy a vzorek hodnot pro porovnání.

Použité symboly:

A... tažnost pro $l_0=40\text{mm}$ (%)

HB... tvrdost podl Brinella (1)

L... tloušťka stěny (mm)

Lu... tloušťka měřená ultrazvukem (seřizovaný na rychlost zvuku

5920 m/s) (mm)

M... intenzita remanentního magnetického pole (A/m)

Rm... pevnost v tahu

Rp... mez kluzu.

Souvislost mechan. vlastností v blocích Y1 a Y2: Tab.3

Rozsah Rm	Lineární regrese	Korel. koeficient
Y1 <867;400>	$R_{mY2} = R_{mY1} \cdot 0,9+7$	0,995
Y2 <784;350>	$R_{p0,2Y2} = R_{p0,2Y1} \cdot 0,938+7$	0,995
	$A_{Y2} = A_{Y1} \cdot 1,168-8,7$	0,969

Ferit <2;100>% $F_{Y1} = F_{Y2} \cdot 1,04-3$ 0,99

V množství feritu ve struktuře se bloky Y1 a Y2 liší málo.

Vliv průtočnosti na mechanické vlastnosti je v tab.4

Stěna Rm	Příklad Rm	Linear. regrese	Korelace
5,5	400 370 800 797	$R_{m5p} = R_{m5} \cdot 1,065-55$	0,982
9,6	400 406 700 854	$R_{m9p} = R_{m9} \cdot 1,49-192$	0,985
15	400 385 700 890	$R_{m15p} = R_{m15} \cdot 1,684-288$	0,985

Průtočnost p jako veličinu do výpočtových vztahů by bylo možno zakotvit, pokud by byl experiment proveden s více stupni průtočnosti.

Porovnání vlastností stěn a kýlových bloků:

V tab.5 uvedeny vlastnosti čistě feritické a perlitické litiny s kuličkovým grafitem - tab.2 a 3.

P... index vlastností zkušebních vzorků s pětinasobným průtokem tekutého kovu dutinou formy plochých odlitků.

P... perlitická litina

F... feritická litina

Závěr

V kýlových blocích Y1 získáme prakticky jen o 10% vyšší hodnoty pevnosti jak v blocích Y2, zato tažnost vzroste podstatně. Pevnost Rm s průtočností kovu stěnou u feritických litin

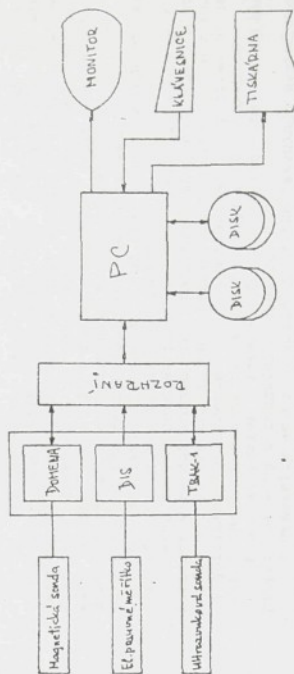
	Y1	Y2	5	5P	9	9 P	15	15P
Rm	867	784	748	733	600	690	540	640
P 0,2	7	2	0,5	1	0,5	1	0,5	0,5
HB	269	263	302	287	287	260	273	258
Rm	440	420	512	537	444	461	402	413
P 0,2	98	99	65	65	65	65	70	75
HB	166	161	226	206	214	186	193	182

Nedestruktivním měřením rychlosti zvuku ultrazv. tloušťkoměrem a remanentního magnetizmu přístrojem Strukturooskop B1 byly na stěnách 9 až 15 mm získány použitelné přepočty (K=0,9) pro nedestruktivní měření mech.vlastností,přip. modulu pružnosti Eo v komplexním zařízení SYLIT.

Příklad výpočtového vztahu pro mez kluzu ve stěnách L<9;20> $R_{p0,2} = 2,91 \cdot M \cdot L / Lu + 209$ K=0,935

zařízení, pro komplexní nedestruktivní diagnostiku struktury litin SYLIT pracuje řadu let na bázi nyní již zastaralého počítače SAPI 1 ZPS3.

Nyní spolupracujeme s brněnskou firmou ELKOSO na obnově tohoto zařízení na bázi PC - obr.3 představuje jeho blokové provedení.



Obr.3. Blokové schéma systému SYLIT.

9.5 mm vede k výraznému zvýšení hodnot R_m až o 30%. Přitom hodnoty tvrdosti mají opačný trend. Vysvětlení přinese další práce na kvantifikaci vlivu lici kůry, mikroředin a pauti...

Pevnost v perlitických stěnách s lici kůrou je podstatně nižší než odp. hodnoty R_m Y-bloků, zejména u silnějších stěn, přičemž vnitřní struktura je téměř shodná. U feritických litií s kompaktním grafitem zase naopak hodnoty R_m se výrazně neliší, zato však množství feritu v stěnách je výrazně nižší jak v Y-blocích tak v lici kůře.

Komplexní nedestruktivní diagnostika stěn odlitků dává nejpriznivější výsledky při předpovídání meze kluzu R_p . Kontrola je použita na vstupu odlitků do LIAZ a. s.

Získané výsledky upozorňují na podstatné rozdíly vlastností litiny v zkuš. blocích a odlitcích při uvažování průtočnosti stěn odlitků. Dovolují předvídat skutečné mechanické vlastnosti kritických míst automobilních odlitků již při jejich návrhu a dále umožňují usuzovat na vlastnosti v odlitcích z hodnot získaných v rámci přejímk na Y-blocích.

Obecnější platnost uvedených poznatků však musí potvrdit nebo zamítnout další experimenty, zvláště v jiných sířevárnách.

Abstract

Mechanical properties of cast irons in castings and additionally poured test pieces with regard to wall thickness and metal flowability

Břetislav Škrbek

LIAZ a. s., Jablonec n. N.

The quality of the material of castings is being warranted by the supplier by the values of mechanical properties of the additionally poured test pieces. The actual values in the particular spots (exhibited to stress in operation) may, however, differ to a certain degree under the influence of

- the wall thickness
- the foundry mould heated by the metal flow when casting
- the casting crust
- the internal stress.

In the discourse these problems are resolved for cast irons with spheroidal, vermicular and foliated graphite with ferritic till perlitic matrix. Test Y-blocs of various sizes, flat test castings 5 to 15 mm thick were cast experimentally with a unit and a five fold metal flow. With the test bars destructive and non-destructive tests to determine the type of structure and the mechanical properties were made.

The statistical regression of the results achieved was carried out for practical application.

Terms for properties found in the particular spots of the castings were determined. The individual stages of the Y-blocs differ by 10 percent in the mechanical properties. The actual (significant) differences in the mechanical properties of the cast irons in the test blocs and castings were determined.

Non-destructive methods for checking the mechanical properties were successfully applied.

A generally accepted validity of the learnings stated must still be confirmed by experiments to be carried out in other foundries.



ÚSTAV PRO VÝZKUM MOTOROVÝCH VOZIDEL

LIHOVARSKÁ 12 - 180 68 PRAHA 9 - TELEFON 83 26 40 - 9

Pracoviště PRAHA 3 - VINOHRADY,
Vinohradská 174
PRAHA 4 - PODOLÍ
Na dolinách 6
PRAHA 8 - KOBYLISY
Hornátecká 18a

Soudruh
Ing. S k r b e k
Liberecké automobilové závody
Tř.V. Kopeckého 400
466 03 Jablonec n.Nisou

Číslo zpráva zn.

Vyřizuj **Ing. Hanke, CSc**

Ze dne

Linka **312**

Kaše značka

Hke/Še

V Praze dne

21.12.1985

Ěc:

Vážený soudruhu,

v říjnu 1986 se bude konat XVI. konference automobilové sekce ČÚV Strojnické společnosti ČSVTS. Konference je připravována ve spolupráci s pobočkou ČSVTS ÚVMV-Praha a bude též součástí oslav 30.výročí založení ÚVMV.

Konference bude dvoudenní a je připravována v 3 panelech.

1.panel - Vývoj automobilů a vývoj předpisů.

Ved. panelu Ing. Zd. Koutný, CSc - ÚVMV.

2.panel - Vývoj automobilů a moderní výpočtové metody.

Ved. panelu Ing. B. Kurz, CSc - ÚVMV.

3.panel - Vývoj automobilů a nové konstrukční, materiálové a technologické prvky.

Ved. panelu Ing. M. Hanke, CSc - ÚVMV.

Byl jste přípravným výborem této konference vybrán, abyste přednesl přednášku v panelu č. 3..... na téma:

autoři: Ing. Konečný, Ing. Skrbek

.....
..Využití tvárné litiny v konstrukci čs. nákladních automobilů..
.....

gramy: AUTOVÝZKUM PRAHA

opis: Praha Vysočany 12 22 97
Praha Vinohrady 12 10 49
Praha Žižkov 12 28 11

Bankovní spojení:

SBČS pob. Praha 9, Na příkopě 28, Praha 1
provoz. účet číslo 2208-091
Pro invest. dodávky: číslo účtu 43-2208-091

Nadřízené ministerstvo: MP

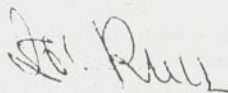
Oborové ředitelství: ČAZ

Žádám Vás o laskavé zaslání zkrácených tézí přednášky v rozsahu asi 1 stránky do 15. ú n o r a 1986 na adresu vedoucího Vašeho panelu.

Po schválení tézí Vašeho příspěvku Vám bude zaslán tiskopis smlouvy s Domem techniky Praha o finanční úhradě přednášky.

Věříme v úspěšnou spolupráci a vzájemné pochopení.

S pozdravem



Ing. Zdeněk K u r z

odborný garant konference

VYUŽITÍ TVÁRNÉ LITINY V KONSTRUKCI OS, NÁKLADNÍCH AUTOMOBILŮ

Ing. Luďěk K o n e č n ý , TATRA, o. p., Kopřivnice

Ing. Břetislav S k r b e k , LIAZ, o. p., Jablonec nad Nisou

1. Úvod

Použití tvárné litiny místo lité oceli má v automobilovém průmyslu rostoucí tendenci danou známými technicko-ekonomickými faktory. Lze konstatovat, že se tvárná litina osvědčuje, je-li se zřetelem na charakter namáhání vhodně zvolena značka a současně dokonale zvládnuta technologie výroby. V této přednášce jsou stručně shrnuty práce vykonané v o. p. TATRA Kopřivnice pro hlubší poznání vlastností tvárné litiny vyráběné ve vlastní slévárně podniku. Dále je popsána technologie výroby tvárné litiny, rozsah použití na vozidlech TATRA a LIAZ, provozní zkušenosti a ekonomie použití v těchto dvou závodech. Vývojové práce vedoucí k poznání vlastností tvárné litiny pro výrobky o. p. LIAZ nebyly následovány takovým stupněm realizace jako v o. p. TATRA, protože LIAZ nemá vlastní metalurgickou základnu na výrobu tvárné litiny. Nedostatek výrobních kapacit tvárné litiny je vlekým problémem slévárenství ČSSR.

2. Lomové mechanické a únavové vlastnosti tvárné litiny 42 2306 ve srovnání s litou ocelí 42 2660

Dosavadní klasické metody hodnocení kvality trhací zkouškou a zkouškou vrubové, resp. rázové houževnatosti již nelze považovat za dostačující. Ve fyzikálně metalurgické a materiállové oblasti byly lomovou mechanikou zavedeny veličiny charakterizující odolnost materiálu proti šíření trhlin. K nim patří především lomová houževnatost vyjadřující kvantitativně odolnost materiálu proti vzniku nestabilního lomu při statickém (K_{IC} , K_{IC} , K_{Ic}) nebo dynamickém (K_{ID} , K_{ID} , K_{Jd}) namáhání a dále pak prahová hodnota faktoru amplitudy intenzity napětí (K_{apz}) určující podmínku nešíření trhlin při cyklickém namáhání a hodnota cyklické lomové houževnatosti (K_{IC}) charakterizující zvěrečný lom. Uvedené veličiny jsou materiállovými charakteristikami závislými na strukturních parametrech daných chemickým složením a zpracováním materiálu.

Lomové mechanické a únavové vlastnosti byly porovnávány na provozních tavných. Zkušební vzorky byly vyrobeny z celitých kýlových bloků Y2 - ČSN 42 1241 po jejich tepelném zpracování v průběžné žhací peci postupem 920 °C/7 h/vzduch + 650 °C/5 h/vzduch, společným pro oba srovnávané materiály. Mez pevnosti zkoušené tvrbý oceli 42 2660 dosahuje při teplotě +20 °C hodnoty $R_m = 623,5$ MPa a se snižující se teplotou mírně roste až na $R_m = 746$ MPa při -100 °C. V rozmezí teplot -100 °C až -120 °C pevnost klesá až na $R_m = 667$ MPa, načež s dalším poklesem teploty opět roste až na $R_m = 895$ MPa při -196 °C. Hodnota meze kluzu s poklesem teploty výrazně roste z $R_e = 317,5$ MPa při +20 °C až na $R_e = 874$ MPa při -196 °C, kdy dochází k lomu při napětí rovném R_e , a dosahuje se tedy tranzitní teploty křehkosti T_B .

Plastické vlastnosti reprezentované kontrakcí Z se v rozmezí teplot +20 °C až -80 °C prakticky nemění a průměrná hodnota čísel Z = 19 %. S dalším poklesem teploty kontrakce prudce klesá na Z = 5,6 % při -100 °C.

Mez pevnosti tvárné litiny 42 2306 dosahuje při teplotě +20 °C hodnoty $R_m = 695$ MPa a s poklesem teploty mírně roste. V oblasti teplot -50 °C až -80 °C klesá z hodnoty $R_m = 740$ MPa na $R_m = 584$ MPa a při dalším snižování teploty opět mírně roste až na $R_m = 552$ MPa při -196 °C. Mez kluzu s hodnotou $R_{p0,2} = 437$ MPa při +20 °C a s poklesem teploty roste až na $R_{p0,2} = 666$ MPa při -123 °C. Kontrakce Z naopak plynule klesá z hodnoty Z = 5,1 % při +20 °C na Z = 0 % při -144 °C.

Výsledky statických zkoušek vykonaných tříbodovým ohybem na vzorcích s V-vrubem naznačují, že u oceli 42 2660 v závislosti na poklesu teploty vzrůstá v intervalu $+20$ °C -80 °C hodnota meze makroplastických deformací z $F_{0,1} = 7,8$ kN při $+20$ °C na $F_{0,1} = 8,8$ kN při -80 °C, kdežto lomová síla F_{FR} a plastický průhyb do lomu f_{pl} jsou teplotně nezávislé a nabývají průměrných hodnot $F_{FR} = 11,1$ kN a $f_{pl} = 0,56$ mm. V uvedeném teplotním intervalu dochází k lomu stabilním šířením tvárné trhliny. Za teplot nižších než -80 °C vzniká nestabilní lom bez předchozí makroplastické deformace. Ve srovnání s hladkými vzorky vede přítomnost vrubu k iniciaci nestabilního lomu již při teplotě -100 °C, kdežto u hladkých vzorků k tomuto jevu dochází až při -196 °C.

U tvárné litiny 42 2306 nebylo možné určit mez makroplastických deformací $F_{0,1}$, protože plastického průhybu $0,1$ mm žádný ze vzorků v celém rozmezí zkušebních teplot nedosáhl. Lomová síla dosahující při $+20$ °C hodnoty $F_{FR} = 9,7$ kN klesá se snižující se teplotou rovnoměrně až na $F_{FR} = 4,81$ kN při -196 °C. Plastický průhyb do lomu klesá z hodnoty $f_{pl} = 0,065$ mm při $+20$ °C na $f_{pl} = 0,0$ mm při -40 °C.

Z hlediska pevnostních hodnot, tj. R_m a $R_{e0,2}$, jsou tedy oba materiály srovnatelné. Při náhradě oceli 42 2660 tvárnou litinou 42 2306 je však nutné vzít v úvahu posílení pevnosti tvárné litiny v oblasti teplot -50 °C až -80 °C. Z hlediska plastických vlastností dosahuje tvárná litina stěžejí polovičních hodnot proti oceli 42 2660.

Přechodová oblast, tj. teplotní interval, ve kterém dochází u oceli 42 2660 k přechodu z tvárného do křehkého lomu, je 0 °C až $+100$ °C. Při teplotě $+100$ °C je dosaženo horní prahové úrovně houževnatosti s průměrnou hodnotou $KCV_{max} = 49$ J/cm². Při teplotách nižších než $+20$ °C pak dochází k přímé iniciaci nestabilního křehkého lomu. Transizní teplota $T_{50} \% = +65$ °C.

Lom tvárné litiny 42 2306 byl při teplotě $+20$ °C zcela křehký a ani zkoušky konané při teplotách do $+200$ °C nevykázaly stopy tvárného lomu. Vrubová houževnatost rostla hodnoty $KCV = 5,6$ J/cm² při $+20$ °C na hodnotu $KCV = 15,0$ J/cm² při $+200$ °C.

Z těchto výsledků vyplývá, že ocel 42 2660 je v podmínkách dynamického zatěžování s přítomností vrubu při teplotách nižších než $+20$ °C velmi křehká. Tvárná litina 42 2306 vykazuje křehké chování v celém zkoušeném rozsahu teplot ($+20$ °C až $+200$ °C) a hodnoty vrubové houževnatosti dosahují pouze 30 až 50 % z hodnot dosažených u lité oceli. Hlavní dolností materiálu proti iniciaci křehkého nestabilního lomu vyžaduje kvantitativně dynamická lomová houževnatost. U oceli 42 2660 jsou nad teplotou $+30$ °C nestabilní štěpné lomy iniciovány po větší plastické deformaci, dynamická lomová houževnatost v závislosti na teplotě prudce roste a hodnoty K_{Id} jsou poměrně vysoké. V intervalu teplot $+20$ °C až -60 °C vznikají nestabilní štěpné lomy v malé plastické zóně u čela trhliny, a hodnoty K_{Id} jsou proto dosti nízké. Z výsledků vykonaných zkoušek je zřejmé, že dynamická lomová houževnatost tvárné litiny 42 2306 je srovnatelná s litou ocelí pouze při teplotě -20 °C. Při teplotě -60 °C je nižší zhruba o 33 %. Také při teplotách nad $+20$ °C je dynamická lomová houževnatost tvárné litiny menší, neboť na rozdíl od prudkého růstu u oceli 42 2660 roste její hodnota s teplotou jen nepodstatně.

Zkoušky vysokocyklové únavové životnosti byly vykonány na hladkých vzorcích $d = 7$ mm a použitím rezonančního pulsaátoru Amser při symetrickém namáhání tah - tlak s frekvencí $f = 180$ Hz. Wehlerovy křivky pro oba srovnávané materiály ukazují, že hodnota únavové pro $N = 10^7$ cyklů činí u oceli 42 2660 $\sigma_c = 190$ MPa a u tvárné litiny 42 2306 pak $\sigma_c = 180$ MPa.

Křivky rychlosti šíření únavových trhlin byly stanoveny v intervalu teplot $+20$ °C až -80 °C. Rychlost šíření je v uvedeném intervalu teplotně nezávislá a křivky konvergují ke společné prahové hodnotě $K_{apz} = 5,0$ MPa^{1/2}. Při teplotách -40 °C a -80 °C dochází k závěrečnému lomu náhle v průběhu jediného cyklu bez větší plastické deformace vzorku.

Závěrečný lom při $+20^{\circ}\text{C}$ nenastal náhle, ale až po desítkách či stovkách cyklů. K lomu tvárného charakteru došlo při stálé rychlosti šíření trhliny a při rostoucí plastické deformaci zkušebního tělesa. Z křivek rychlosti šíření únavových trhlin v tvárné litině 42 2306 pro teploty $+20^{\circ}\text{C}$ a -80°C vyplývá, že se prahová hodnota $K_{\text{apz}} = 5,0 \text{ MPa}^{1/2}$ s poklesem teploty nemění. Finální porušení zkušebních těles proběhlo při obou teplotách prakticky v jediném cyklu s lomením křehkého charakteru. Ve srovnání s ocelí 42 2660 je tedy závěrečný lom u tvárné litiny 42 2306 křehký již při normální teplotě ($+20^{\circ}\text{C}$).

Z výsledků zkoušek rychlosti šíření a z podmínek zastavení únavových trhlin vyplývá, že prahová hodnota K_{apz} je u obou srovnávaných materiálů shodná a v teplotním intervalu $+20^{\circ}\text{C}$ až -80°C se nemění. Přitom hodnota $K_{\text{apz}} = 5,0 \text{ MPa}^{1/2}$ je poměrně vysoká, a tedy z konstrukčního hlediska výhodná, protože čím je hodnota K_{apz} vyšší a křivka rychlosti šíření trhlín více posunutá k vyšším hodnotám K_a , tím je materiál odolnější proti poškození únavovou trhlinou. V praxích /3, 4/ byly však publikovány výsledky měření, při nichž byly pro míjivý cyklus zatěžování zjištěny hodnoty výrazně nižší, a to $K_{\text{apz}} = 2,6 \text{ MPa}^{1/2}$ u oceli 42 2660 a $K_{\text{apz}} = 2,0 \text{ MPa}^{1/2}$ u tvárné litiny 42 2306.

Je známo /5/, že s poklesem teploty lze u hladkých vrubovaných těles bez trhlin očekávat růst hodnot únavové pevnosti, protože mez únavy je určena nukleací mikrotrhlin kritické velikosti a nukleační proces je řízen procesy cyklické plastické deformace, které probíhají za nižších teplot obtížněji. U těles s trhlinou nebo s ostrými defekty typu trhlin, se kterými se musí u litých součástí vždy počítat, je situace složitější. Mez únavy σ_{ac} tělesa s trhlinou, jejíž velikost je ve srovnání s rozměrem tělesa malá, lze podle /5/ stanovit ze vztahu

$$\sigma_{ac} = \frac{K_{\text{apz}}}{\sqrt{\frac{\pi}{l_0}}}$$

kde l_0 je skutečná velikost trhliny. Mez únavy je tedy přímo úměrná hodnotě K_{apz} a každá změna této veličiny vede ke změně meze únavy ve stejném poměru. Lze proto očekávat, že hodnota únavové pevnosti litých součástí s trhlinou nebo s defekty typu trhlin bude v oblasti neomezené životnosti u obou materiálů stejná a s poklesem teploty do -80°C se nemění. Z uvedeného vyplývá, že vlastnosti tvárné litiny 42 2306 budou v oblasti únavové pevnosti v celém zkoušeném intervalu teplot horší než vlastnosti oceli 42 2660. Z těchto poznatků lze ve vztahu k provoznímu chování litých součástí vyrobených z obou srovnávaných materiálů formulovat závěry:

- u cyklicky namáhaných součástí dimenzovaných tak, že se celé spektrum zatížení realizuje pod mezí únavy, bude jejich únavová životnost stejná jak za normální teploty, tak i za teplot snížených do -80°C . Pokud tedy takové součásti vyrobené z oceli 42 2660 nebo z tvárné litiny 42 2306 spolehlivě pracují v běžných klimatických podmínkách, mohou se použít i v podmínkách arktických bez nebezpečí, že se zkrátí životnosti a zhorší provozní spolehlivost
- u součástí namáhaných na provozu tak, že část zátěžného spektra překračuje mez únavy, bude jejich únavová životnost při použití tvárné litiny 42 2306 za normálních a za nižších teplot horší. Přitom u obou materiálů s poklesem teploty poroste degradace únavových vlastností projevující se snížením počtu cyklů do lomu a růstem plochy statického dołomění

Některé dynamické vlastnosti bainitické a nitridované tvárné litiny

Další zlepšení mechanických vlastností umožňuje izotermické kelení a nitridace tvárné litiny. Izotermickým zakalením nelegované nebo legované tvárné litiny v rozsahu teplot kalící lázně $300 - 400^{\circ}\text{C}$ se vytvoří základní struktura charakteristická dołmím

až horním bainitem. Ve srovnání s martenzitickou prokalitelností je bainitická menší. U nelegovaných litin to bývá kolem 10 mm. Výrazně se dá zvýšit legováním, zejména Mo. Toto legování ovšem vyvolá zvýšenou segregaci po hranicích eutektických buněk, čímž se zhoršují plastické a dynamické vlastnosti. Pevnosti v tahu a meze kluzu Re dosahují vysokých hodnot při ještě výhodných plastických vlastnostech. Úměrně těmto hodnotám ale tolik neroste mez únavy, zejména u legovaných litin (Mo, Ni, Cr). Současný výzkum se zabývá lomovými vlastnostmi bainitických litin (VUT, Brno). Výborných vlastností dosahuje tvárná litina při namáhání ohybem. Potvrdily to zkoušky celých vahadel ventilů míjivým ohybem.

V normalizovaném stavu se vysokých statických i dynamických vlastností dosáhne legováním Cu. Nejvýhodnější bylo legování Mo nebo Cu. Zkoušky nitridovaných ozubených kol z tvárné perlitické až perliticko-feritické litiny potvrdily dobré únavové vlastnosti ve střídavém i míjivém ohybu. Problémem zůstává získání dostatečné dynamické kontaktní únosnosti. Snímky z rastrovacího mikroskopu ukázaly, že zdrojem iniciace povrchových porušení jsou otvory po globulích křafitu sahajících k povrchu. Uvedené hodnoty kontaktního namáhání jsou výpočtové. Ve skutečnosti vlivem nepřesnosti při výrobě kol a montáži vzniká nerovnoměrné zatěžování boků šikmého ozubení kol, a tím zvyšování lokálních hodnot napětí kontaktního namáhání nad uvedené hodnoty.

Charakteristika výroby a použití tvárné litiny na vozidlech TATRA a LIAZ

U nákladních automobilů řady T 815 byla uplatněna řada progresivních změn jak v konstrukční, tak i v materiálové oblasti. Přitom v materiálové oblasti bylo jedním z hlavních cílů snížit hmotnost podvozku, kde jsou četne nosné součásti se zřetelem na páteřovou konstrukci rámu řešeny jako odlitky. Jde o zakotvení výkvných polonáprav, otočné čepy, náboje kol, skříň přídavného převodu a čelních diferenciálů, které se u typu T 148 vyráběly z uhlíkové oceli 42 2660. U typu T 815 se náboje zadních kol, skříň čelních diferenciálů a skříň přídavného převodu vyrábějí z tvárné litiny 42 2305. Hmotnost polotovarů z tvárné litiny je u provedení T 815 S3 428 kg na jeden vůz. U osobního vozu T 613 se z tvárné litiny 42 2306 vyrábí klikový hřídel motoru. Hlavní ani ojnicí čepy nejsou povrchově kaleny. U typu T 603 se klikový hřídel vyráběl jako výkovek z oceli 15 260 a čepy vysokofrekvenčně kaleny.

Uplatňování dílů z tvárné litiny na výrobky LIAZ je v podstatě omezeno nedostatkem tvárné litiny na slévárenském trhu v ČSSR. Proto první vývojový úkol, zabývající se uplatněním tvárné litiny na dílech zadních náprav již před více než deseti léty, byl realizován v BLR, kam v rámci integrace RVHP přešla veškerá výroba zadních náprav. Několik namáháních úspěšně se vyvíjejících kontaktů s výrobcí tvárné litiny v ČSSR bylo proto direktivně přerušeno. Proto rozsáhlejší přechod odlitků z oceli (převážně materiál ČSN 42 2709.1) na tvárnou litinu očekáváme až na přelomu let 1986/1987. Z toho plyne, že se dosud nemohly uplatnit ani progresivnější konstrukční změny na dílech LIAZ v souvislosti s přechodem na tvárnou litinu.

Charakteristika výroby TL 42 2305 a 42 2306 v závodě sléváren o. p. TATRA

Zahájení výroby nákladního vozu T 815 bylo spojeno se zahájením výroby odlitků z tvárné litiny 42 2305 ve vlastní slévárně. Východí litina se taví v zásadité EOP o obsahu 6 t, přesazované na 8 t. Složení vložky: paketoovaný odpad z hlubokotažných plechů (10 - 20 %), surové železo Pl 2 (30 - 70 %), vratný odpad tvárné litiny (20 - 40 %), smolný koks SK (1,5 - 3 %). Složení litiny je předepsáno v tomto rozmezí:

Si = 2,30 - 2,70 %	Mn = 0,50 - 0,80 %	Cr = max. 0,10 %	P = max. 0,035 %
Ms _{zb} = 0,035 - 0,080 %	C = 3,35 - 3,85 %	S = max. 0,010 %	

Jednostupňový metalurgický proces výroby tvárné litiny, tj. modifikace a grafitizační očkování, probíhá ve zvlášť upravené oceli s tvárným způsobem. Používá se čtyřtunové ocelářské pánve se samostatnou výstaví, na jejím dně je vyztužena přepážka. Modifikátorem je litvar 80a nebo FeSiMn 618 0,6 0,2 (Fe 99,2) v množství 1,0 až 1,3 % a hmotnosti tekutého kovu, grafitizační očkovač FeSi 75 v množství 1,2 % a litinové třísky z tvárné litiny v množství 0,8 % hmotnosti tekutého kovu. Po odlití 20 forem se odlíjí dva Y2 bloky s předstýrácími deskami teplem, dva vzorky pro kvantometrický rozbor a jeden vzorek pro metalografický rozbor (metalografická vzorka grafitu). Celková doba liti nesmí přesáhnout 25 minut od ukončení modifikační reakce. Při výrobě tvárné litiny 42 2305 pro klikové hřídele T 613 se používá v zásadě stejná technologie tavení a liti, se však je tvořena paketami hlubokozáporných ocelů a vnitřním odpadem tvárné litiny a po roztavení a nauhličení vsázky se přidávají měď v množství 0,5 % a hmotnosti tekutého kovu.

Technologie tepelného zpracování

Tepelně se odlitky zpracovávají na dvou průběžných vozových pásích normalizačním žháním a popouštěním. Austenitizační sekce určená k ořezu vsázky na žhací teplotu je opatřena automatickou regulací teploty a regulací přetlaku v pracovním prostoru pece. V této sekci jsou umístěny tři žhací vozy, každý s lokně pleše 2850 x 1800 mm s pracovní výškou 1000 mm. Chladicí sekce, ve které probíhá ochlazování vsázky, je konstruována jako otevřený chladicí tunel s ventilátorem a s odvětráním. V popouštěcí sekci jsou dva žhací vozy. Sekce má vlastní regulaci teploty pracovního prostoru. Doba setrvání odlitků v austenitizační sekci činí 7,5 až 9 hodin a v sekci popouštěcí 5 až 6 hodin. Aby se dosáhlo co nejrovnoměrnejšího ochlazení celé vsázky odlitků v chladicí sekci, ochlazují se prvních deset minut odlitky volně, pak následuje chlazení ventilátorem po dobu 35 až 50 minut. Vzhledem k technologickému toku výroby se odlitky z tvárné litiny 42 2305 tepelně zpracovávají společně s odlitky z oceli 42 2660 stejným způsobem.

Technicko-ekonomická analýza výroby odlitků z tvárné litiny 42 2305

Srovnání nákladů na výrobu oceli 42 2660 a tvárné litiny 42 2305 v podmínkách závodu sléváren n. p. TAIFR je výrazně ovlivněno časovým průběhem tavení, který je podřízen potřebám formovny a je charakterizován čekáním s nataveným kovem na odběr. Kalkulace ceny tvárné litiny pro rok 1984 vychází 5167,905 Kčs/t a cena tekuté oceli celkem 5033,194 Kčs/t. Rozdíl je obo většími náklady na surovinu pro tavení tvárné litiny. Ekonomický přínos náhrady odlitků z oceli tvárnou litinou je pro hlavní sortimentní představitel, tj. náboj zadního kola s skříní přídavného převodu, tento:

1. náboj zadního kola č.v. 442 O 2301 037 4
hrubá hmotnost odlitku z oceli 42 2660 - 65 kg; hrubá hmotnost odlitku z tvárné litiny 42 2305 - 50 kg. Úspora v nákladech na materiál - 58,50 Kčs/ks
2. skříní přídavného převodu č. v. 442 O 1609 020 4
hrubá hmotnost odlitku z oceli 42 2660 - 94 kg; hrubá hmotnost odlitku z tvárné litiny 42 2305 - 77 kg. Úspora v nákladech na materiál - 61 Kčs/ks

Rozdíl hrubé hmotnosti odlitku z oceli a z tvárné litiny je dán:

- zmenšením tloušťky stěny vzhledem k lepší nabíhavosti tvárné litiny
- zmenšením technologických přídavek, které vyplývají z větších požadavků na dosažení usměrněného tuhnutí u lité oceli
- zmenšením přídavek na obrábění
- menší specifickou hmotností tvárné litiny

Úspora na pracnosti při třískovém obrábění se podle zahraničních údajů pohybuje mezi 20 - 30 % proti polotovárám z lité oceli. Vedle menších přídavek na obrábění se zde projevuje i lepší obrábělnost tvárné litiny. Platné technologické normativy pro obrábění však tuto výhodu nebere v úvahu. Již jakost ČSN 42 2305 je zařazena na úroveň polotovár

oceli a u vyšších jakostních tříd je obrobitelnost tvárné litiny hodnocena jako horší než obrobitelnost srovnatelných jakostí oceli. Přesto je mezi obrobitelností tvárné litiny a oceli podstatný rozdíl projevující se v možnosti obrábět odlitky z tvárné litiny a transferlinkách. Například odlietek náboje zadního kola je opracováván na lince fy Diedesheim; linka je opatřena elektronickou kompenzací otupení nožů u přesně tolerovaných rozměrů. Praktické zkušenosti a provozem této linky ukázaly, že limitní tvrdost odlitků pro dosažení dostatečné životnosti obráběcích nástrojů je asi 230 HB. Pro přesnost rozměrů je přitom důležité dosáhnout co nejmenšího rozptylu tvrdosti. Hodnoty tvrdosti odlitků nábojů kol, charakterizované střední hodnotou $\bar{X}$ = 205 HB a směrodatnou odchylkou s = 10,6 HB, pro obrábění na lince Diedesheim plně vyhovují.

Možnosti dalších úspor při výrobě odlitků z tvárné litiny záleží:

- ve zhuštění výroby v tavně, založené na sladění požadavků formoven na tekutý kov a časovým průběhem tavení
- v použití výpočetní techniky pro řízení energetických režimů na EOP
- ve změně metalurgické technologie tavení tvárné litiny, tj. přechodu z EOP na SFP se vsázkou tvořenou vratem tvárné litiny a pakovaným odpadem hlubokotažných plechů. Kromě úspor za nízkofosfornaté aurové železo z dovozu vzniknou i úspory ze zkrácení doby tavy. Tato technologie se v současné době zkouší
- zrušení tepelného zpracování u těch odlitků, které splňují požadavky ČSN na mechanické vlastnosti již v litém stavu. V některých slévárnách (ČKD Praha) bylo v tomto směru dosaženo dobrých výsledků

Životnost a provozní spolehlivost součástí vozidel TATRA vyrobených z tvárné litiny

Dosavadní provozní zkušenosti se součástmi vyrobenými z tvárné litiny 42 2305 a 42 2306 jsou dobré. Při náhradě oceli 42 2660 tvárnou litinou 42 2305 u dílců, uvedených v dívodu kapitoly 3, nedošlo ke zhoršení jejich životnosti a provozní spolehlivosti a nevyskytly se žádné systematické závady. Velmi dobré výsledky přineslo použití tvárné litiny 42 2306 na klikovém hřídeli osobního vozu T 613. Opatření čepu kliky je tak malé, že se po 350 000 km při generální opravě motoru montují hřídele zpět bez přebroušení čepů a u ojnicích pánví není vůbec zavedena jejich výroba a rozměry pro přebroušení čepů. U vozu T 603 a klikovým hřídelem kovaným z materiálu 15 230 zušlechťeným na 800 až 900 MPa a s čepy povrchově kalenými na tvrdost 50 - 55 HRC se jejich průměrná životnost do přebroušení pohybovala v rozmezí 150 000 až 250 000 km. Průvodním nepříznivým jevem výroby klikových dílů z tvárné litiny je však velký počet zmetků daný značnými požadavky na kvalitu při elektromagnetické kontrole opracovaných čepů.

Použití tvárné litiny na vozidlech LIAZ

Pro výrobce v BLR (Maďarsko Šumen) odlává zadní nápravy způsobem INMOLD slévárna LOVED. Mnoho dalších dílů se zkouší z tvárné litiny. Uvedme si poznatky z dlouhodobých zkoušek čelistí brzd, držáků a skříní diferenciálů (200 tis. km) z tvárné litiny 42 2305, vyrobených ještě v n. p. LIAZ:

- bez opotřebovaných, plasticky deformovaných míst a necelistvostí (pouze řisky). Pevnostně vyhověly
- ve srovnání s ocelovými díly opěrné plochy ložisek nejevily známky otlačení (plastické deformace)
- čepy v držácích a čelistech pevné, neuvolněné

Přínosem pro uživatele a LIAZ je snížení pohotovostní hmotnosti vozů asi o 50 až 80 kg/ks, provozní závady nebyly hlášeny. V sedmé pětiletce se pro LIAZ z tvárné litiny dodávala pouze jedna položka z ZTS, Olomouc, pro přední nápravu (přední víko ložiska, 12,5 kg).

V současnosti jsou připraveny k okamžitému převodu na tvárnou litinu díly přední nápravy. Byla uzavřena hospodářská smlouva s k. p. TRANSPORTA, Chrudim, kde se rozbíhá výroba v nové slévárně. Po postupném zahájení výroby by se mělo ušetřit asi 250 t kovu a 4,5 mil. Kčs. Nápravy rovněž představují stěžejní zdroj uplatnění tvárné litiny z hlediska hmotnosti odlitků. Další konstrukční skupiny - rámy - obsahují rozmanitou škálu drobnějších odlitků (do 9 kg) z oceli. O jejich zkoušení a náhradách rovněž uvažujeme. Realizace ovšem musí být v souladu s možnostmi vyrábět je z tvárné litiny sériově.

4. Perspektivní uplatnění tvárné litiny v automobilovém průmyslu

Každá změna materiálu (ocel - tvárná litina) by měla být doprovázena konstrukční optimalizací tvaru odlitku respektující a využívající vlastnosti nového materiálu. Proto je nezbytné seznámit se s vlastnostmi a s vývojem tvárné litiny.

Z literatury plyne rada uplatnit tvárnou litinu místo tvárné oceli (výkovky, svařence). Převážně se využívá bainitické tvárné litiny. Výhodné ekonomie opracování se dosáhne výrobou odlitků z feriticko-perlitické tvárné litiny, která se až před dokončovací operací tepelně zpracuje na bainit. Vyrábějí se tak ozubená soukolí, ojnice, klikové hřídele aj. Protože výkovky mívají menší cenu za kilogram a dobré mechanické vlastnosti, můžeme reálně uvažovat o zkoušení tvárné litiny pro výkovky jen z oceli řady 12 (ojedinně 13) se špatným koeficientem využití materiálu.

Dobré vlastnosti tvárné litiny pokud jde o únavu v ohybu umožňují uplatnit ji na ozubená kola (do jisté meze kontaktního namáhání) a na tvářené díly přenášející ohybový moment, např. na vahadlo ventilů. Přesné lití tvárné litiny na ztracený model je ale v ČSSR otázkou budoucnosti. Dobré kluzné vlastnosti by často umožnily zjednodušit kluzné uložení.

Odolnost vůči tepelnému namáhání v budoucnu umožní uplatnit tvárnou litinu na výfukové potrubí a na velmi namáhané písty místo šedé litiny a hliníkových slitin. Dobrá obrábitelnost a velká tuhost (modul pružnosti) ve srovnání se šedou litinou předpokládá uplatnění na víka ložisek (feritická tvárná litina).

Literatura

- /1/ Holzmann, M. - Lukáš, P.: Současné možnosti aplikace mechaniky lomu. In: Využití nenormovaných mechanických vlastností ocelí. Dobrá, VÚH 1980.
- /2/ Vlach, B. - Holzmann, M. - Kohout, J.: Lomové chování lité oceli ČSN 42 2660 a tvárné litiny 42 2306 při snížených teplotách. Nepublikovaná zpráva, Brno, VUT 1983.
- /3/ Lukáš, P. - Kunz, L.: Šíření únavových trhlin v lité oceli 42 2660 a tvárné litině 42 2306. Nepublikovaná zpráva, Brno, VUT 1983.
- /4/ Lukáš, P.: Odolnost lité oceli 42 2709.5 proti šíření únavových trhlin. Výzkumná zpráva ÚFM, Brno, ČSAV 1982.
- /5/ Lukáš, P. - Mazal, P.: Strojírenství 1983, č. 3, str. 173.
- /6/ Skrbek: Aplikace tvárné litiny v n. p. LIAZ. Zpráva pro komisi pro materiálové podpory při GR ČAZ. 1. 7. 1985.
- /7/ Bárta: Dílčí zprávy o spolupráci s LIAZ a VUT, Brno 1981 - 1985.
- /8/ Bárta - Skrbek: Využití bainitické tvárné litiny na díly motoru. Hutnické listy 1983 č. 10, str. 722 - 725.

Stanislav VĚCHET ¹⁾, Eduard DORAZIL ²⁾, Bohumil BÁRTA ³⁾

Břetislav SKRBEK ⁴⁾

ÚNAVOVÉ VLASTNOSTI TVÁRNÉ LITINY PŘI ZATĚŽOVÁNÍ

PULZUJÍCÍM OHYBEM

Předložené práce uvádí únavové charakteristiky nelegované i legované tvárné litiny s matricí feritickou, feriticko-perlitickou a bainitickou.

Cílem práce bylo posoudit vliv chemického složení, tepelného zpracování a struktury matrice na únavové vlastnosti těchto materiálů. Únavové zkoušky byly doplněny metalografickou analýzou a mechanickými zkouškami statickými.

1) Ing. Stanislav VĚCHET, CSc., katedra nauky o materiálu
FS VUT Brno

2) Prof. Ing. Eduard DORAZIL, DrSc., katedra nauky o materiálu
FS VUT Brno

3) Doc. Ing. Bohumil BÁRTA, CSc., katedra nauky o materiálu
FS VUT Brno

4) Ing. Břetislav SKRBEK, CSc., LIAZ Jablonec

1. Úvod

Zvyšující se nároky na technické materiály, součásti a zařízení a jejich rostoucí produkce přinášejí s sebou i zvýšené požadavky na širší znalosti fyzikálních a mechanických vlastností.

Vzhledem k tomu, že převážná většina součástí je v provozu vystavena cyklickému zatěžování, je pro řešení konkrétních strojních dílů a konstrukcí nutno znát zejména únavové vlastnosti použitého materiálu.

V předkládané práci jsou shrnuty výsledky únavových zkoušek na čtyřech variantách tvárné litiny se strukturou feritickou, feriticko-perlitickou, perlitickou i bainitickou. Zkoušky provedené v letech 1995 až 1999, viz práce [1, 2, 3], jsou rozšířeny o další experimenty z posledního období.

Únavové zkoušky, jež zahrnují klasické Wohlerovy křivky s určením meze únavy, jsou doplněny zkouškami statickými a metalografickou analýzou.

2. Materiál, zkušební technika a matematické zpracování

Pro únavové zkoušky bylo použito pět taveb nelegované i legované tvárné litiny, jejichž chemické složení je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1 - Chemické složení použitých tvárných litin

Tavba ozn.	Chemické složení [hmot. %]							
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cu	Ni
0	3,63	2,06	0,11	0,020	0,008			
7	3,47	2,76	0,34	0,031	0,017	0,043	0,74	
8	3,53	2,60	0,27	0,044			0,45	0,49
13	3,43	2,55	0,56	0,055	0,016	0,093	0,61	
15	3,46	2,10	0,25	0,047	0,002	0,058		

Materiály každé tavby byly různě tepelně zpracovány, čímž vzniklo celkem 14 variant s rozdílným chemickým složením a strukturou.

Tab. 2 - Metalografické struktury a tepelné zpracování feriticko-perlitických tvárných litin

Mat. ozn.	Grafit		Matrice ferit/perlit [%]	Tepelné zpracování
	tvar dle ČSN	velikost [μm]		
F0	VI	30 - 60	100/0	feritizačně žhňo 870 °C/1h/pec
F7	VI,V	30 - 60	94/6	feritizačně žhňo 900 °C/4h/pec
P7	VI,V	30 - 60	4/96	normalizačně žhňo 900 °C/1h/vzduch
P8L	VI,V	60 - 120	4/96	litý stav
P8	VI,V	60 - 120	0/100	normalizačně žhňo 900 °C/1h/vzduch
P13	VI,V	30 - 60	4/96	litý stav
FP15	VI,V	30 - 120	55/45	litý stav
P15	VI,V	30 - 120	0/100	normalizačně žhňo 900 °C/1h/vzduch

Jednotlivé materiály jsou označeny několikamístným symbolem, který zahrnuje označení struktury a pořadové číslo tavby, viz např. tab. 4.

Tepelné zpracování na feritickou a perlitickou strukturu (feritizační a normalizační žhňání) bylo provedeno v elektrické muflové peci. Použité austenitizační teploty a časové prodávky jsou uvedeny v tab. 2.

Izotermické bainitické zušlechťení bylo provedeno v solných lázních, teplota austenitizace byla 900 °C. Doba výdrže na této teplotě byla 30 min. u tavby 7 a 1 hod. u tavby 13 a 15. Teploty a doby izotermického rozpadu jsou uvedeny v tab. 3.

Výbrusy pro metalografickou analýzu byly vyhotoveny na bočních zkušebních vzorků standardní metodou. Pro vyhodnocení tvaru a velikosti grafitických částic byly vzorky použity

Tab. 3 - Metalografické struktury a transformační podmínky izotermicky zušlechťených tvárných litin

Mat. ozn.	Grafit		Matrice množství A_z [%]	Transf.podmínky	
	tvár dle ČSN	velikost μm		teplota $^{\circ}\text{C}$	čas [s]
BH7	VI,V	30 - 60	40,0	400	4000
B07	VI,V	30 - 60	21,0	300	5000
BH13	VI,V	30 - 60	41,9	400	3000
BH15	VI,V	30 - 120	34,4	400	2400
BP15	VI,V	30 - 120	19,9	350	6000
BD15	VI,V	30 - 120	9,5	300	3600

v nenaleptaném stavu. Po jejich naleptání (2% Nitral) byla struktura pozorována na mikroskopu ZEISS - NEOPHOT 21 a vyhodnocena dle naší normy [4], viz tab. 2 a 3.

Podíl zbytkového austenitu u bainitických litin byl sta- noven rentgenografickou fázovou kvantitativní analýzou, tab.3.

Pro určení základních mechanických vlastností byly použi- ty válcové zkušební tyče se závitovými hlavami o počátečním průměru $D_0 = 6$ mm a měrné délce $L_0 = 30$ mm.

Zkoušky byly provedeny na tlakovém stroji fy ZWICK o max. silovém rozsahu 100 kN s grafickým záznamem síla - prodloužení při normální teplotě. Rychlost zatěžování byla $V_0 = 1$ mm/min. Střední hodnoty napětových a deformačních charakteristik jsou uvedeny v tab. 4.

Únavové zkoušky byly provedeny na vysokofrekvenčním rezo- nančním pulzátoru fy AMSLER při teplotě okolí. Zkušební vzor- ky o rozměrech $10 \times 10 \times 55$ mm byly jemně broušeny s drsností povrchu $R_a < 0,4$. Vzdálenost poděr pro výpočet ohybového mo- mentu byla 50 mm. Zkušební frekvence, jež je u rezonančních pulzátorů funkcí tuhosti vzorku, byla $f = 170$ Hz.

Zkoušky byly provedeny při zatěžování pulzujícím ohybem s parametrem asymetrie cyklu $p = 2,2$, přičemž tento parametr je definován takto:

Tab. 4 - Základní mechanické vlastnosti, mez únavy a únavový poměr

Material ozn.	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_5 [%]	σ_{chC} [MPa]	$\frac{\sigma_{chC}}{R_m}$
F0	223	361	23,7	351	0,97
F7	441	569	19,0	339	0,60
P7	606	909	3,3	526	0,58
BH7	590	1000	11,5	537	0,54
B07	1132	1400	4,0	510	0,38
PBL	430	720	7,1	356	0,49
P8	705	1030	6,9	416	0,40
P13	417	654	3,2	446	0,68
BH13	645	881	5,4	499	0,57
FP15	316	505	16,3	378	0,75
P15	702	1030	4,6	386	0,37
BH15	809	1032	7,2	508	0,49
BP15	1036	1203	3,4	394	0,33
BD15	1348	1531	1,1	330	0,22

$$p = \frac{\sigma_h}{\sigma_w},$$

kde σ_h - horní napětí zátěžného cyklu; $\sigma_h = \sigma_m + \sigma_w$.

σ_m - střední napětí zátěžného cyklu,

σ_w - amplituda cyklu.

Pro určení průběhu Wöhlerových křivek byla použita regres- ní a korelační analýza. Experimentálními body byla pomocí me- tody nejmenších čtverců proložena nelineární závislost určená Weibullem [5], která velmi dobře popisuje únavové chování ko- vových materiálů ve vysokocyklové oblasti:

$$(\sigma_h - K) = a + b \cdot \log N,$$

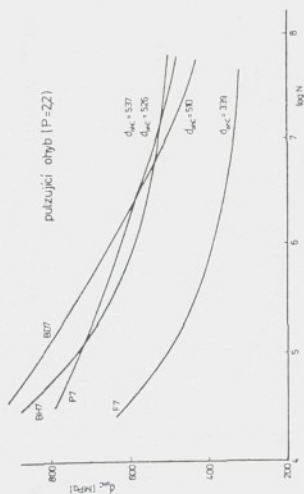
Jednoduchší lineární vztahy.

Dalším kritériem hodnocení únavových vlastností materiálů je tzv. únavový poměr, neboli poměr $\sigma_{0.05}/R_m$. Hodnoty tohoto poměru jsou uvedeny v tab. 4. Závislost poměru $\sigma_{0.05}/R_m$ na mezi pevnosti je uvedena na obr. 8.

Výpočty Wöhlerových křivek byly realizovány na osobním počítači M28 fy OLIVETTI.

3. Výsledky zkoušek

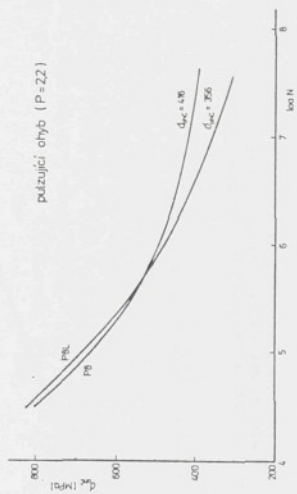
Wahlerovy křivky při zatěžování pulzním chybem jsou pro jednotlivé materiály uvedeny na obr. 1 až 5. Hodnoty meze únavy $\sigma_{0.01}$ vypočítané z těchto křivek pro základní počet cyklů $N_0 = 10^7$ jsou uvedeny v tab. 4.



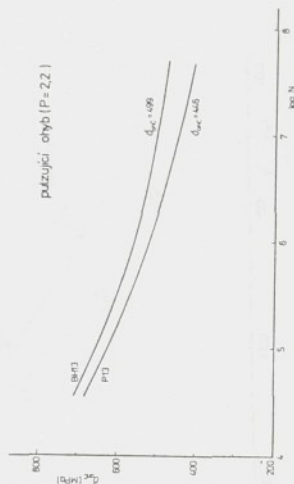
Obz. 1 - Wöhlerovy křivky tvárných litin F7, P7, 8H7
a 807

Vzájemné vyhodnocení únavových vlastností různých materiálů je též možné na základě stanovení závislosti meze únavy na mezi pevností, viz obr. 6 a 7.

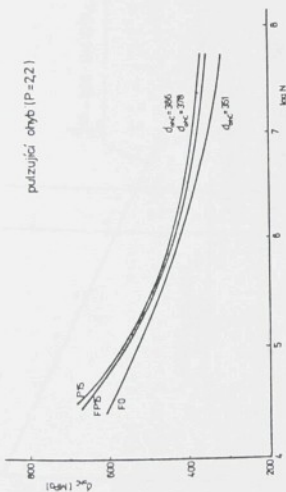
Tyto závislosti mohou být lineární, mocninové atd. Vzhledem k tomu, že mocninová závislost, viz obr. 6, nedává výrazně lepší koeficient korelace r , jsou dále používány pouze



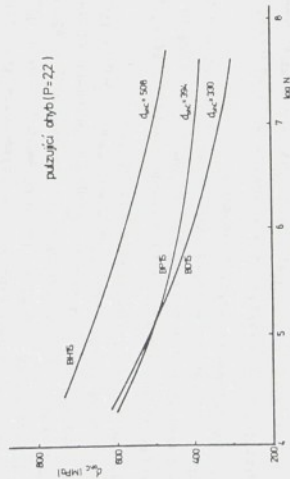
Obz. 2 - Wöhleryovy křivky tvárných litin P8L a P8



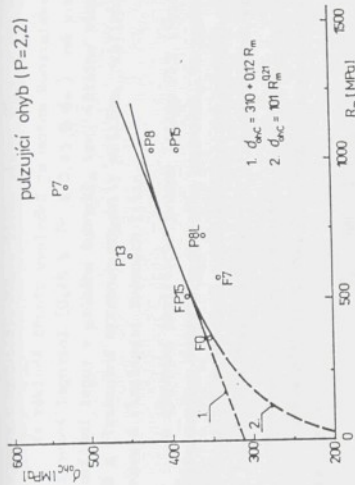
Obr. 3 - Wöhlerovy křivky tvárných litin P13 a B413



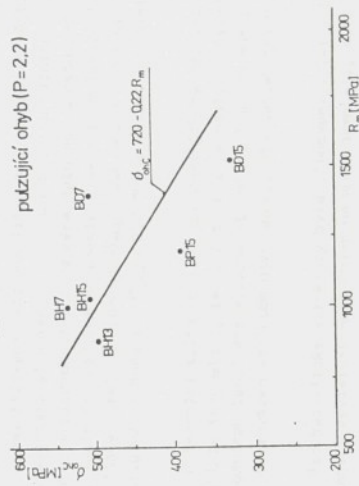
Obr. 4 - Věhlerovy křivky tvárných litin P15, P18 a P22



Obr. 5 - Věhlerovy křivky tvárných litin P15, P18 a P22



Obr. 6 - Závislost meze únavy při zatěžování pulzujícím ohybem na mezi pevnosti pro feriticko-perlitické tvárné litiny



Obr. 7 - Závislost meze únavy při zatěžování pulzujícím ohybem na mezi pevnosti pro bainitické tvárné litiny

ejména u materiálu PBL v litém stavu $\sigma_{\text{HLC}} = 356 \text{ MPa}$.

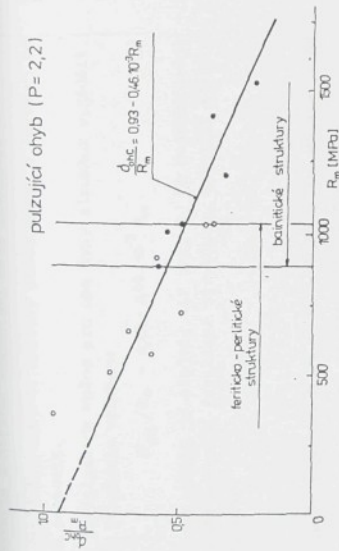
Na základě těchto výsledků je možno konstatovat, že kom-
inované legování (0,49 % Ni a 0,45 % Cu) má v důsledku
dřívější legur v průběhu tuhnutí, tzn. většího stupně chemi-
e a strukturální mikronehomogenity matrice, nepříznivý vliv na
navové vlastnosti tvárných litin.

Ze srovnání perlitické tvárné litiny P15 ($\sigma_{\text{HLC}} = 366 \text{ MPa}$)
předchozími materiály je možno usuzovat, že normalizační ži-
ání, při kterém se získají velmi vysoké hodnoty meze pevno-
i ($R_m > 1000 \text{ MPa}$), má negativní vliv na únavové vlastnosti.

Pro tvárné litiny s feriticko-perlitickou strukturou by-
a stanovena přibližná závislost meze únavy na mezi pevností,
iz obr. 6:

$$\sigma_c = 400 + 0,47 \cdot R_m \quad (4)$$

Obr. 8 - Závislost poměru σ_{HLC}/R_m na mezi pevnosti
pro tvárné litiny



4. Diskuse

Z analýzy výsledků vyplývá, že nelegovaná feritická
tvárná litina FO má při nízké hodnotě meze pevnosti $R_m =$
 $= 361 \text{ MPa}$, velmi vysokou hodnotu meze únavy $\sigma_{\text{HLC}} = 351 \text{ MPa}$,
a tím i nejvyšší hodnotu poměru σ_{HLC}/R_m ze všech sledovaných 5.
materiálů. Obdobný výsledek ($R_m = 440 \text{ MPa}$, $\sigma_{\text{HLC}} = 420 \text{ MPa}$)
byl stanoven na feritické tvárné litině IM45 [6].

Feritická tvárná litina F7 legovaná mědí (0,74 %) má sice
vyšší hodnotu meze pevnosti $R_m = 569 \text{ MPa}$, ale mírně nižší me-
únavy $\sigma_c = 339 \text{ MPa}$. Legování mědí se tedy nejvíce pro pře-
ně feritické struktury matrice výhodné.

Naproti tomu u perlitických struktur byly nejvyšší hodnoten-
ty meze únavy $\sigma_{\text{HLC}} = 526 \text{ MPa}$, resp. $\sigma_{\text{HLC}} = 446 \text{ MPa}$, naměřeny
u materiálů P7 a P13, legovaných mědí. U těchto struktur může
tedy přísada Cu mít příznivý vliv na únavové vlastnosti.

U perlitických materiálů kombinované legované tavby B
byly naopak stanoveny poměrně nízké hodnoty meze únavy, a to
jak u tepelně zpracovaného materiálu P8, $\sigma_{\text{HLC}} = 416 \text{ MPa}$, tak

U bainitických tvárných litin byly nepříznivější únavo-
é vlastnosti stanoveny u struktur horního bainitu oproti
truktury přechodového a zejména dolního bainitu. Viz obr. 1
a tím i nejvyšší hodnotu poměru σ_{HLC}/R_m ze všech sledovaných 5.
materiálů. Tento jev nejlépe dokumentují materiály tavby 15, u nichž
únavy klesla z hodnoty $\sigma_{\text{HLC}} = 508 \text{ MPa}$ u struktury horního bai-
naitu až na hodnotu $\sigma_{\text{HLC}} = 330 \text{ MPa}$ u struktury dolního bai-

U tvárných litin tepelně zpracovaných na bainitické
že nárůst meze pevnosti v důsledku změn-
y podmínek tepelného zpracování (nižší transformační teplota)
doprovázen vzrůstem meze únavy, ale naopak jejím pokle-
Pro bainitické struktury byla stanovena velmi přibližná
lesající závislost meze únavy na mezi pevnosti, obr. 7:

$$\sigma_{\text{HLC}} = 720 - 0,22 R_m \quad (2)$$

Z tohoto vztahu je patrné, že nepříznivější únavové
vlastnosti u bainitických struktur je nutno hledat u struktur

horního bainitu s nižšími hodnotami meze pevnosti.

Jak vyplývá z tab. 4, únavový poměr klesá s rostoucí hodnotou meze pevnosti.

Tuto závislost je možno pro oba typy struktur vyjádřit klesajícím lineárním vztahem:

$$\sigma_{\text{ak}}/R_m = 0,93 - 0,46 \cdot 10^{-3} R_m \quad (3)$$

Z tohoto vztahu je zřejmé, viz obr. 6, že nejpevnivější únavový poměr vykazují feritické struktury, nejnižší struktury dolního bainitu.

5. Závěry

- 1) Kombinované legování 0,49 % Ni a 0,45 % Cu má značný negativní vliv na únavové vlastnosti tvárných litin.
- 2) U feriticko-perlitických struktur mezi únavy vzrůstá s hodnotou meze pevnosti. Nejvyšší hodnoty vykazuje perlitická struktura.
- 3) U bainitických struktur mezi únavy klesá s rostoucí hodnotou meze pevnosti. Nejlepší únavové vlastnosti byly stanoveny u struktur horního bainitu.
- 4) Únavový poměr (σ_{ak}/R_m) lze pro oba typy struktur vyjádřit jako klesající lineární funkci meze pevnosti.
- 3) Nejpevnivější únavové vlastnosti vykazuje nelegovaná tvárná litina, případně legovaná pouze měďí, se strukturou perlitickou nebo se strukturou horního bainitu. Únavové vlastnosti těchto struktur jsou přibližně srovnatelné.

LITERATURA

- | | |
|-----|--|
| [1] | VĚCHET, S. - BARTA, B.: Únavové vlastnosti tvárné litiny v ohybu, výzkumná zpráva HS 302 759, VUT FS KNOm, Brno 1985 |
| [2] | VĚCHET, S. - BARTA, B.: Únavové vlastnosti perlitické a bainitické tvárné litiny při zatěžování ohybem, výzkumná zpráva HS 306 479, VUT FS KNOm, Brno 1987 |
| [3] | VĚCHET, S. - BARTA, B.: Únavové vlastnosti nelegované bainitické tvárné litiny při zatěžování pulzním ohybem, výzkumná zpráva HS 303 097, VUT FS KNOm, Brno 1989 |
| [4] | ČSN 420 461 Hodnocení metalografické struktury litin, ÚNM, Praha 1975 |
| [5] | ČSN 420 368 Zkoušky únavy kovů - statistické vyhodnocování výsledků zkoušek únavy kovů, ÚNM, Praha 1974 |
| [6] | CASTAGNA, M. - FERREO, P. - MEDANA, R. - NATALE, E.: AFS International Cast Metals Journal, 1979, s. 63 |

Summary

Stanislav Věchet, Eduard Dorazil, Bohumil Bárta,
Břetislav Škrbek

FATIGUE PROPERTIES OF NODULAR CAST IRONS DURING PULSE BENDING LOAD

The paper covers the problems of behaviour of nodular cast iron under conditions of severe-cycle fatigue.

In total, five heats of unalloyed and alloyed nodular cast irons were used for the fatigue tests, while the heats selected were heat treated in order to obtain various matrix structures (ferritic, pearlitic, bainitic). The fatigue properties of the materials in question were evaluated on the basis of comparison of Wohler curves obtained during the pulse bending load. These tests were supplemented by a metallographic analysis and by mechanical static tests.

The following most important conclusions can be drawn from analysis of the results obtained:

- combined alloying 0.45 % Ni and 0.45 % Cu exhibits a substantial negative influence on the fatigue properties of the nodular cast iron
- for the ferritic - pearlitic structure, the fatigue limit increases with the increasing ultimate bending strength; the pearlitic structure exhibits the highest value
- for bainitic structure, the fatigue limit decreases with the increasing ultimate bending strength; the best fatigue properties were obtained for the upper bainite
- the fatigue ratio ($\sigma_{\text{HRC}}/\sigma_m$) for both types of structures can be expressed in terms of the decreasing linear function of the ultimate bending strength
- the most suitable fatigue properties are exhibited by an unalloyed nodular cast iron or alloyed with copper only, having either the pearlitic or upper bainitic structures

Fig. 1 - Wohler curves of nodular cast irons F7, P7, BH7 and B07

Fig. 2 - Wohler curves of nodular cast irons PBL and P8

Fig. 3 - Wohler curves of nodular cast irons P13 and BH13

Fig. 4 - Wohler curves of nodular cast irons F0, FP15 and P15

Fig. 5 - Wohler curves of nodular cast irons BH15, BP15 and B015

Fig. 6 - Dependence of fatigue limit during pulse bending load at the ultimate bending strength for ferritic - pearlitic nodular cast irons

Fig. 7 - Dependence of fatigue limit during pulse bending load at the ultimate bending strength for bainitic nodular cast irons

Fig. 8 - Dependence of $\sigma_{\text{HRC}}/\sigma_m$ at ultimate bending strength for nodular cast irons



Hutnické listy

10

ROČNÍK XXXVIII
1983
STRANA 681 AŽ 760
CENA 6,50 Kčs

ODBORNÝ
CASOPIS
HUTNIHO
PRŮMYSLU

měřením v časech $t-1, t-2, \dots, t-p$, veličinu a_t lze chápat jako chybu.

Prakticky se postupuje takto:

- určí se typ modelu,
- stanoví se řád vybraného modelu, což znamená, že rozhodneme, na základě kolika předchozích pozorování budeme provádět predikci,
- vypočítají se hodnoty koeficientů v navrženém modelu (f_1).

Nejčastěji se používá model AR(1) a AR(2). Následující ilustrační příklad je rovněž AR(1), proto jsou uvedeny stručné teoretické závěry pouze k tomuto modelu.

Modelu AR(1) přísluší stavová rovnice

$$x_t = f_1 \cdot x_{t-1} + a_t$$

Znamená to, že neznámá hodnota x_t , očekávaná v čase t , se počítá ze známé hodnoty x_{t-1} . Rozdíl skutečné hodnoty x_t a její predikce $f_1 \cdot x_{t-1}$ je označen a_t :

$$a_t = x_t - f_1 \cdot x_{t-1}$$

Koeficient f_1 je v modelu AR(1) roven autokorelaci s časovým posuvem $k=1$, takže $f_1 = r_1$.

Příklad použití

Pro ilustraci je uveden příklad časové řady, jež představuje chvění pláště vysoké pece. Počet pozorovaných hodnot $N=140$. Charakteristiky sledované časové řady jsou:

průměr časové řady $\bar{X} = 1/140 \sum_{i=1}^{140} x_i = 55,84$

rozptyl časové řady

$$s_x^2 = 1/140 \sum_{i=1}^{140} (x_i - 55,84)^2 = 103,18$$

autokorelace s posuvem k

$$r_k = \frac{c_k}{s_x^2},$$

$$\text{kde } c_k = 1/140 \sum_{i=1}^{140} (x_i - 55,84) \cdot (x_{i+k} - 55,84)$$

Pro $k=1$ je $r_1 = 0,89$

Použijeme-li jako model této časové řady model AR(1), bude predikční rovnice

$$x_t = f_1 \cdot x_{t-1} = 0,89 \cdot x_{t-1}$$

Na obr. 1 je autokorelační funkce této časové řady pro $k=1, 2, \dots, 20$.

Na obr. 2 je záznam predikce, prováděné na počítači:

- sloučec — pořadové číslo údaje (čas),
- sloučec — skutečná (naměřená) hodnota parametru (v grafu je označena hvězdičkou),
- sloučec — predikovaná hodnota (v grafu křížek),
- sloučec — difference skutečné hodnoty a její predikce.

Závěr

Využití predikce při řízení technologických procesů může usnadnit řízení výroby a předcházet kritickým situacím tím, že přináší dostatečně včasné informace. Uvedená teorie náhodných funkcí může být použita nejen pro korelační analýzu a predikci časových řad, ale také např. při spektrální analýze časových řad, při filtraci signálu a nežádoucích šumů, při řešení otázek překročení určité kritické hranice apod.

Literatura

- Anderson, T. W.: The statistical analysis of time series. Wiley, New York 1971.
- Anděl, J.: Statistická analýza časových řad. SNTL, Praha 1976.
- Box, G. P., Jenkins, G. M.: Time series analysis. Holden Day, San Francisco 1970.
- Hannan, G. P.: Time series analysis. Wiley, New York 1964.

Ing. BOHUMIL BARTA, CSc., Vysoké učení technické, fakulta strojní, Brno

Ing. BRĚTISLAV SRBEK, Liberecké automobilové závody, n. p., Jablonec nad Nisou

Využití bainitické tvárné litiny na díly motoru

Dynamický rozvoj současné průmyslové výroby kladá stále větší požadavky na výrobky strojírenského průmyslu pokud se týká parametrů výkonu, životnosti a spolehlivosti příslušných zařízení. Z těchto požadavků vyplývají také nutné vyšší nároky na konstrukční a nástrojové materiály s vysokou pevností a současně dostatečně houževnaté, materiály se stále vyšší odolností vůči rozmanitým druhům namáhání a opotřebení.

Naši snahou bylo uplatnění vysokopevné tvárné litiny na vahadla naftových motorů. Se získanými zkušenostmi chceme čtenářům seznámit v tomto příspěvku.

Materiál a pokusná technika

Tavby tvárné litiny byly vyrobeny v elektrické střeďofrekvenční indukční peci vydušané suracitem na hmotnost vsázky 100 kg ve SVUM VSL Brno. Vsázkovým materiálem bylo australské surové železo v množství 98 %, ocelový odpad, grafitové elektrody a FeSi (75 %). Nikl byl přidáván jako čistý kov (granulovaný), molybden ve slitině FeMo (59,7 %) a měď jako čistý kov.

Po přehřátí na teplotu 1430 °C po dobu 5 minut byla tavenina očkovaná metodou „Sandwich“ hořčíkovou přísaditou LITVAR 8 Ce (8 % Mg), v množství 2,2 %. Předslitina byla pokryta drobným ocelovým odpadem v množství 2 % a grafitizační očkování bylo provedeno u forem FeSi (75 %) v množství 0,6 %. Lici teplota se pohybovala v rozmezí 1260 až 1300 °C. Složení a označování jednotlivých druhů tvárné litiny uvádí tab. I.

Z tvárné litiny byly odlity do plastické formovací směsi s „verasolem“ vahadla a kýlové bloky Y1 (15 × 25 × 150 mm). Ze spodní části kýlových bloků byly vyrobeny hranolky o průřezu 11 × 11 mm, které byly použity k výrobě zkušebních tyčí pro zkoušku tahem (ČSN 420 316) s přídavkem na broušení (0,3 mm na polomer) a ve střední válcové části byly zbruseny na konečný Ø 6 mm a k výrobě zkušebních tyčí pro zkoušku rázové houževnatosti (10 × 10 × 55 mm bez vrubu) s přídavkem na broušení (0,3 mm na plochu).

Pro zkoušku tahem byl použit univerzální trhací stroj Jy Zwick (rozsah 100 000 N) a konstantní rychlost pohybu příčniku (1,0 mm/min). Tvrdost se měřila na

Tab. I. Chemické složení použitých taveb tvárné litiny

Tvárná litina	Množství prvku [%]							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Cu
2 } 2X }	3,73	2,16	0,48	0,03	0,018	—	0,13	—
3 }	3,7	3,04	0,59	0,04	0,013	—	—	—
4 }	3,66	2,97	0,48	0,08	0,011	—	—	0,56
5 } 5X }	3,63	2,53	0,53	0,062	0,012	0,4	0,18	—

zbroušené válcové ploše na hlavách zkušebních tyčí. Rázové zkoušky byly provedeny na rázovém kladivu PSW 3 000.

Již obrobená vahadla ventilů, a zkušební vzorky byly izotermicky kaleny v solných lázních: austenitizace se uskutečnila v lázni soli GS 560 + C3, izotermický rozpad v lázni soli AS 140. Teplota austenitizace byla regulována s přesností $\pm 5^\circ\text{C}$, teplota izotermického rozpadu s přesností $\pm 3^\circ\text{C}$.

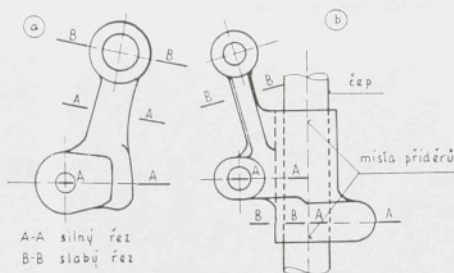
Ke sledování morfologie byla použita světelná mikroskopie. K metalografické analýze sloužil světelný mikroskop Zeiss-Neophot II.

Vahadla ventilů a kladíček byly podrobeny dlouhodobé provozní zkoušce a následně vyhodnoceno opotřebení (stereomikroskopem).

Podmínky izotermického kalení

Před vlastním izotermickým kalením v solných lázních bylo provedeno u vahadel a spodních částí kýlových bloků normalizační žhání $900 - 920^\circ\text{C}/2\text{ h}$ v vzduchu.

Podmínky izotermického kalení byly voleny u jednotlivých taveb tvárné litiny na podkladě dosažených experimentálních výsledků v dřívější výzkumné práci^{1,2,3} (u taveb tvárné litiny podobného chemického složení a metalograficky ověřeny na neobrobených součástech) s ohledem na prokalení ve všech průřezích. Přehled podmínek izotermického kalení vzorků a součástí uvádí tab. II a III a metalografický rozbor slá-



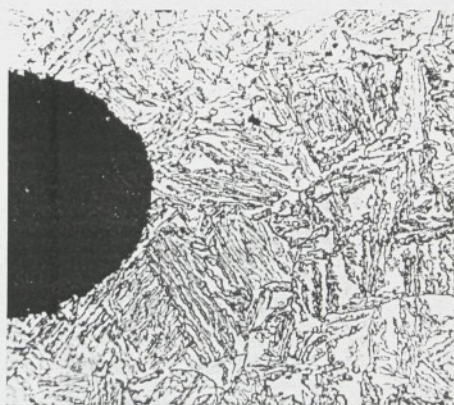
Obr. 1. Schéma uložení vahadla a čepu: a) vahadlo kladíčky; b) vahadlo ventilů.

Tab. II. Tepelné zpracování vzorků pro zkoušku tahem a zkoušku rázové houževnatosti tvárné litiny

Tvárná litina	Austenitizační podmínky		Transformační podmínky		Do-chlazení
	Tep-lo-ta [$^\circ\text{C}$]	Čas [s]	Tep-lo-ta [$^\circ\text{C}$]	Čas [s]	
2	880	1800	400	3000	voda
2X	880	1800	350	4000	voda
3	900	1800	400	2000	voda
4	900	1800	400	3000	voda
5	900	1800	400	5000	voda
5X	900	1800	340	5000	voda

Tab. III. Tepelné zpracování vahadel z tvárné litiny

Tvárná litina	Austenitizační podmínky		Transformační podmínky		Do-chlazení
	Tep-lo-ta [$^\circ\text{C}$]	Čas [s]	Tep-lo-ta [$^\circ\text{C}$]	Čas [s]	
2	880	2700	400	3000	voda
2X	880	2700	350	4000	voda
3	900	2700	400	2000	voda
4	900	2700	400	3000	voda
5	900	2700	400	5000	voda
5X	900	2700	340	5000	voda



Obr. 2. Mikrostruktura, vahadlo, tavba $2\ 400^\circ\text{C}/3000\text{ s}$, silný průřez, leptadlo Vilella Bain-Nital, zvětšení $1000\times$.

bého a silného průřezu kalených součástí dle obr. 1 znázorňují metalografické snímky na obr. 2, 3, 4, 5 pro dvě různé transformační teploty (400 a 340°C) při zvětšení $1000\times$.

Výchozí strukturu před izotermickým kalením tvořil grafit, perlit a ferit u všech použitých taveb viz obr. 6. Grafit byl pravidelně zrnitý a téměř pravidelně rozložený o velikosti 30 až $60\ \mu\text{m}$ viz obr. 7.

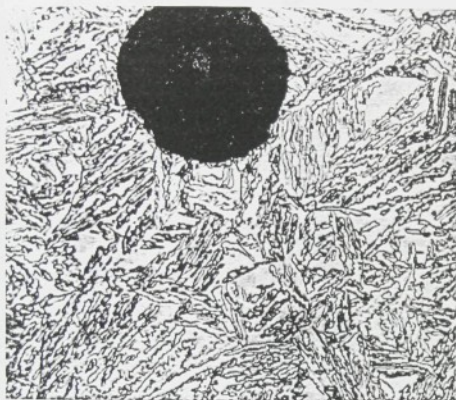
Dosažené výsledky

Z uvedených metalografických mikrosnímků obr. 2 až 5 je zřejmé, že u všech taveb tvárné litiny (2, 3, 4, 5) bylo dosaženo úplného prokalení ve všech průřezích a mohlo být provedeno izotermické kalení vzorků i součástí (tab. II, III). Naměřené mechanické vlastnosti izotermicky kalených vzorků tvárné litiny uvádí tab. IV. (R_m , A_5 , KC, HV). Nejvyšší pevnosti v tahu bylo dosaženo u taveb $5 \times$ (transformační teplota 340°C , $R_m = 1245 \text{ MPa}$) a $2 \times$ (transf. teplota 350°C , $R_m = 1224 \text{ MPa}$) při zachování vysokých i tvárných vlastností $A_5 = 12,2 - 13,8 \%$ a dostatečné tvrdosti HV 353 – 372. Z tab. IV je zřejmá velmi příznivá relace mezi pevnostními a plastickými charakteristikami.

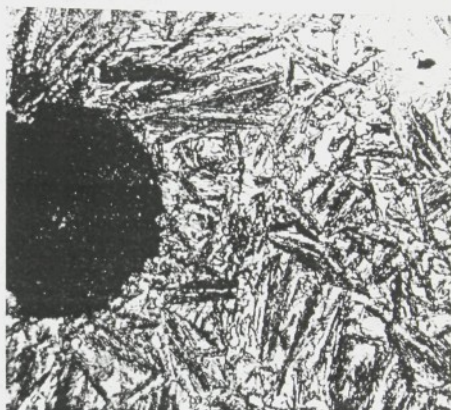
Při pevnostech 1000 MPa (u všech taveb) a 1200 MPa (u taveb 2,5) neklesla dosažená tažnost A_5 pod 9% a rázová houževnatost (KC) pod 95 J/cm^2 . Tyto velmi dobré mechanické vlastnosti (R_m , A_5 , KC) byly dosaženy i s ohledem na velmi dobrý globulární tvar a téměř pravidelně rozložený grafit v základní kovové hmotě viz obr. 7.

U taveb tvárné litiny nebyla zjištěna přítomnost eutektických karbidů, které mají nepříznivý vliv na plastické vlastnosti (při vyšším legování Mo, Mn⁶⁾).

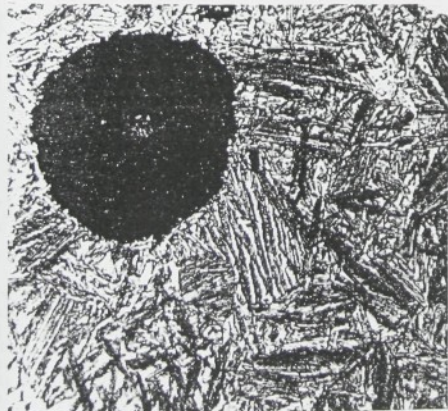
Naměřené hodnoty tvrdosti odpovídají strukturní směsi dosažené při teplotách izotermického rozpadu austenitu u jednotlivých druhů taveb tvárné litiny^{1, 2, 3, 4)}. Hodnocení se zaměřila na kluzné uložení. Čep vahadel je povrchově kalený z oceli 12 050 s naměřenou průměrnou tvrdostí povrchu $700 \text{ HV} \pm 20$.



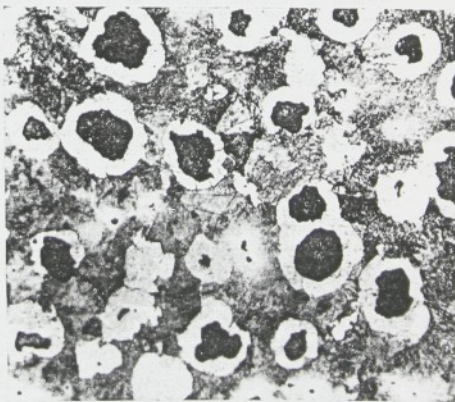
Obr. 3. Mikrostruktura, vahadlo, tavba 3, $400^\circ\text{C}/2000 \text{ s}$, slabý průřez, leptadlo Villella Bain-Nital, zvětšení $1000\times$.



Obr. 5. Mikrostruktura, vahadlo, tavba 5, $340^\circ\text{C}/5000 \text{ s}$, slabý průřez, leptadlo Villella Bain-Nital, zvětšení $1000\times$.



Obr. 4. Mikrostruktura, vahadlo, tavba 5, $340^\circ\text{C}/5000 \text{ s}$, silný průřez, leptadlo Villella Bain-Nital, zvětšení $1000\times$.



Obr. 6. Mikrostruktura, tavba 2, litý stav, leptadlo Nital, zvětšení $250\times$.



Obr. 7. Velikost a rozložení grafitu, tavba 3, nelepťáno, zvětšení 100X.

Výsledky provozních zkoušek izotermicky kalených součástí po $5 \cdot 10^7$ cyklech uvádí tab. V.

Adhezivní opotřebení znamená vlastně porušování nikrospojů povrchových nerovností funkčních ploch dlužné dvojice materiálů (bainitická tvárná litina—nartensit kaleného čepu) v místech přerušení olejového filmu. Kluzný pohyb dvojice čep—vahadlo je pouze kyvavý. Z toho plyne jednostranné namáhání tyčových ploch a horší podmínky pro udržení filmu

Tab. IV. Mechanické vlastnosti izotermicky kalené tvárné litiny

Tvárná litina	R_m [MPa]	A_5 [%]	KC [J/cm ²]	HV ¹⁾	HV ²⁾
2	1003	10,1	102,9	281	278
2	1013	10,9	159,3	279	277
2X	1241	13,8	142,5	354	363
2X	1224	12,2	137,9	355	353
3	1044	9,6	103,9	296	303
3	1078	12,5	116,4	298	295
3	1037	11,2	134,3	302	293
4	1081	14,0	138,7	302	287
4	1095	14,5	130,3	304	294
4	1033	10,0	112,5	295	288
5	1093	13,4	95,4	302	296
5	1040	10,9	101,4	283	283
5X	1248	13,1	151,0	369	363
5X	1245	12,9	141,2	372	357

Tvrdost měřena na hlavách trhacích tyčí

Tvrdost měřena na vzorcích pro zkoušku rázové houževnatosti

laziho média. Důležitou roli hrají geometrické podmínky uložení. Kromě rovnoměrně rozloženého tlaku poskytl uložení se soustředěným namáháním kluzových ploch na koncích. Mazací drážka nesahá po celé šířce uložení a je ostře ohraničená. I tento vliv přispívá ke kritickým kluzovým podmínkám a ke zvýšení výskytu příderů. Došlo v nich obvykle k přenosu materiálu díry na čep, to znamená k předstírnému porušování soudržnosti tvárné litiny s místním tvárnou litinou—ocel.

Přiděry mají čisté lokální rozsah (několik mm²) vyskytují se na dvou exponovaných místech (konce

uložení s max. namáháním na tlak v průsečících průniku povrchové přímky válce uložení kolmé na směr působících sil s koncovými površkami válcových ploch uložení.

Tab. V. Výsledky provozních zkoušek po $5 \cdot 10^7$ cyklech

Tvárná litina	Vyhodnocení po zkoušce				
3	drobný příder, čep přidřen				
2	bez přidření, čep bez přidření				
5	místně přidřen				
3	bez přidření, hrubší povrch, čep vyleštěný				
4	perfektní stav				
4	přidřen				
2X	perfektní stav				
5	bodové přidření				
4	hrubší povrch				
2X	perfektní stav				
5	hrubě přidření				
4	perfektní stav				
Tavba	legování	přidření	nepřidření	poradí	
2	Mo	0	3	1	
3	—	1	1	3	
4	Cu	1	3	2	
5	Ni + Mo	3	0	4	

Z výsledků provozních zkoušek vyplývá, že bez jakýchkoli závd se osvědčila tavba 2, která je legovaná molybdenem a při použití nižší transformační teploty (2X) (tab. V). Nejmeně příznivé výsledky vykazuje tavba 5. Ovšem je nutno brát v úvahu, že počet měření je malý a celkové závěry je možno provést po dalším doplnění provozních zkoušek, případně po srovnání s výsledky dosaženými u zkoušek po normalizačním žhání, které probíhají.

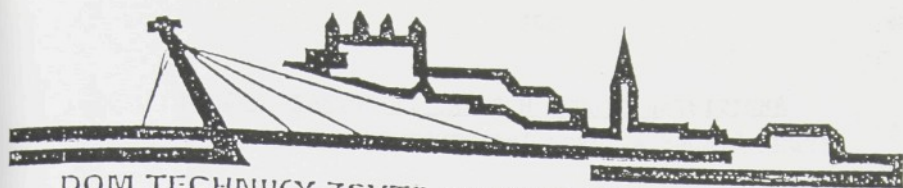
Závěr

Z dosažených hodnot mechanických vlastností vyplývá, že bainitickou tvárnou litinu lze použít k výrobě vysokopevných odlitků s pevností v tahu nad 1000 MPa při zachování jejich dostatečné plasticity a houževnatosti (A_5 nad 9% a KC nad 95 J/cm²). Z hlediska opotřebení se jeví jako nejvýhodnější tvárná litina legovaná molybdenem a při použití nižší transformační teploty.

Ve srovnání s ocelí se ukazuje, že tvárná litina je jakostním konstrukčním materiálem, jehož vlastnosti lze ovlivňovat výrazně tepelným zpracováním a legováním. Předpokladem je dosažení příznivého tvaru globuli grafitu, který má přímý vliv na plastické vlastnosti tvárné litiny tím, že dovoluje lépe využít příznivých vlastností matrice.

Literatura

- ¹⁾ Dorazil, E. - Crhák, J. - Bárta, B.: Mechanické vlastnosti bainitické tvárné litiny s přísadou niklu a molybdenu. Slevárenství XXVI (1978), č. 4, s. 142.
- ²⁾ Dorazil, E. a další: Vysokopevná bainitická tvárná litina legovaná manganem a mědi. Slevárenství XXVII (1979), č. 2, s. 49.
- ³⁾ Dorazil, E. a další: Nizkolegovaná bainitická tvárná litina. Slevárenství XXIX, 1979, č. 8, s. 475.
- ⁴⁾ Dorazil, E. - Bárta, B. - Stránský, L.: Nizkolegovaná bainitická tvárná litina. Slevárenství XXIX (1981) č. 1, s. 34.
- ⁵⁾ Vocel, M. - Dufek, V.: Tření a opotřebení strojních součástí SNTL, 1976.



DOM TECHNIKY ZSVTS BRATISLAVA, spol. s r.o.

V. MEDZINÁRODNÉ SYMPÓZIUM

INTERTRIBO '93



TRIBOLOGICKÉ PROBLÉMY
V EXPONOVANÝCH TRECÍCH
SÚSTAVÁCH

1

BRATISLAVA

26.-28. augusta 1993

KLUZNÉ VLASTNOSTI TŘECÍCH DVOJIC BAINITICKÉ
TVÁRNÉ LITINY S PODEUTEKTOIDNÍ OCELÍ A BRONZÍ CuSn12

Doc. Ing. Bohumil BÁRTA, CSc. VUT-FS-UMI, Technická 2, Brno
Ing. Petr DOBEŠ, CSc. VUT-FS-UK, Technická 2, Brno
Ing. Břetislav SKRBK, CSc. LIAZ, a.s., Jablonec nad Nisou

1. ÚVOD

Na strojní fakultě VUT Brno probíhala řadu let spolupráce v aplikaci izotermicky kalené tvárné litiny na některé součásti nákladních vozidel LIAZ. Předkládaná práce vychází ze snahy nahradit valivé tření kluzným třením a tím přispět k podstatnému snížení hlučnosti provozu nákladních vozidel.

2. MATERIÁL A ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ

Pro vlastní zkoušky kluzných dvojic byla použita tvárná litina, ocel 12060 a bronz CuSn 12. Jejich chemické složení uvádí tabulka 1.

Vlastní zkoušky byly provedeny na zkušebním stroji TRIBO-TESTOR, který používá jako vzorků dvojici rotující čep - pevné pouzdro. Zkušební uzel se skládá z rotujícího čepu, který je upevněn ve vřeteníku a z pouzdra, které je uloženo v rameni a radiálně zatěžováno.

Mazivo je dodáváno do kluzného kontaktu ze zásobníku potrubím a radiálním otvorem v nezatížené oblasti pouzdra. Zkušební stroj je poloautomatický - režim zatěžování a rychlosti otáčení se řídí programem. Dovoluje volit otáčky v rozpětí $50 \div 3000 \text{ min}^{-1}$ a zatížení v rozpětí $0 \div 10 \text{ kN}$.

3. TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ

Vzorky byly připraveny ve formě pouzder, která jsou nalisována na nářadí zkušebního stroje.

Vnější vzorek (pouzdra $\phi 30 \times 5 \text{ mm}$) - mat. 12060.2 zpracován v LIAZ žiháním na tvrdost 233 HB; mat. 12060.6 zušlechťen na FS-VUT na tvrdost 27 HRC ($810^\circ\text{C}/30 \text{ minut} \rightarrow \text{voda} \rightarrow 550^\circ\text{C}/2$

hodiny $\rightarrow$ vzduch); mat. CuSn 12 v dodaném stavu, tvrdost 107 $\div$ 116 HB 2,5/62,5/15.

Vnitřní vzorek (pouzdra $\phi 20 \times 1,5 \text{ mm}$) - materiál tvárná litina izotermicky kalená, dolní bainit (900°C/30 minut $\rightarrow$ 300°C/2 hodiny $\rightarrow$ vzduch, tvrdost 42 HRC)

4. ZKOUŠKY OPOTŘEBENÍ

Při rozběhu a doběhu automobilového motoru, kdy jsou otáčky nízké a také tlak dodávaného maziva je nižší, nejsou podmínky takové, aby mazivo zcela oddělilo funkční povrchy. Dochází ke smíšenému mazání, kdy se dotýkají vrcholky nerovností kovových povrchů a dochází k opotřebení. Při tomto režimu se proto uplatní jak vliv maziva, tak i materiálové vlastnosti třecích povrchů. Proto byly zvoleny následující parametry zkušebního třecího uzlu (modelu):

rozměry $\phi 20 \text{ H7/j3} - 20$

zatižení 140 $\div$ 8150 N

otáčky 200 $\div$ 3000 min^{-1}

mazivo Olej automobilový motorový M6 ADS III

tlak maziva (hydrostatický) 0,05 MPa

střední ložisková vůle 10,5 μm

relativní ložisková vůle 0,0143%

Za těchto zkušebních parametrů byly zkoušeny čtyři dvojice třecích materiálů:

- a) Čep ($\phi 20 \times 1,5 \text{ mm}$) - tvárná litina (izotermicky kalená, tvrdost 42 HRC)
Pouzdro ($\phi 30 \times 5 \text{ mm}$) - ocel 12060.2 (žíhaná, tvrdost 233 HB)
- b) Čep ($\phi 20 \times 1,5 \text{ mm}$) - tvárná litina (izotermicky kalená, tvrdost 42 HRC)
Pouzdro ($\phi 30 \times 5 \text{ mm}$) - ocel 12060.6 (zušlechťená)
- c) Čep ($\phi 20 \times 1,5 \text{ mm}$) - tvárná litina (izotermicky kalená, tvrdost 42 HRC)
Pouzdro ($\phi 30 \times 5 \text{ mm}$) - CuSn12 tvrdost 107 $\div$ 116 HB 2,5/62,5/15
- d) Srovnávací kluzná dvojice (mazáno olejem J2):
Čep ($\phi 20 \times 1,5 \text{ mm}$) - ocel 11 600

Pouzdro ($\phi 30 \times 5 \text{ mm}$) - litina 422456

Většina zkoušek byla prováděna jako zadírací zkouška, tedy při konstantních otáčkách je postupně zvyšováno zatížení. Doba prodlevy na zatěžovacím stupni byla nastavena na 10 minut, což představovalo kompromis mezi celkovou dobou zkoušky a časem potřebným pro stabilizaci teploty v třecím uzlu.

Jako doplňkové zkoušky byly prováděny rychlostní zadírací zkoušky, kdy při konstantním zatížení byly po krocích (opět s prodlevou 10 minut) zvyšovány otáčky čepu.

Mazání motorovým olejem M6 ADS III je prováděno z nádržky a dodávka je seřizena tak, aby dodávací potrubí bylo zahlceno. Průtok oleje je pak řízen pouze samotným kluzným kontaktem. Výsledkem zkoušky je závislost součinitele tření a teploty pouzdra na zatížení (zadírací zkouška) nebo na rychlosti otáčení (rychlostní zadírací zkouška), graficky vyjádřená pro jednu zkušební dvojici na obr.1.

5. VÝSLEDKY

Z naměřených výsledků zadíracích zkoušek třecích dvojic vyplývají následující poznatky:

- a) Nejnižších hodnot součinitele tření dosáhla zkušební dvojice obsahující bronz CuSn12, která také v celém rozsahu zatížení i rychlostí běžela bez zadírání;
- b) Na druhé místo lze zařadit zkoušenou dvojici s žíhanou ocelí 12 060.2, která sice dosahovala vyšších hodnot součinitele tření, avšak ten je v rozsahu požadovaných zatížení ve skutečném stroji dostatečně nízký a zatížení, při kterém dochází k zadírání, je zcela mimo provozní rozsah - je více než dvojnásobné;
- c) Na třetím (tedy na posledním) místě se umístila zkušební dvojice se zušlechťenou ocelí 12 060.6, která vykazala nejvyšší hodnoty součinitele tření a k zadírání dochází už v oblasti maximálních očekávaných zatížení ve skutečném stroji.

- d) Srovnávací dvojice (litina 422456 - ocel 11 600) dosáhla podobných výsledků jako nejhorší zkušební dvojice, ovšem je nutno vzít v úvahu, že tato dvojice byla mazána neaditivovaným olejem J2 (standardní srovnávací mazivo).
- e) Poměrně vysoké hodnoty součinitele tření zaregistrované vždy na začátku zkoušky vyplývají z chyby měření třecího momentu při nízkých zatíženích (hranice citlivosti systému) a je tedy třeba je brát s rezervou. Podobně i velmi nízké hodnoty součinitele tření při nejvyšších zatíženích u dvojice s bronzem CuSn12 jsou zatíženy chybou vyplývající z hraniční citlivosti systému v oblasti nízkých hodnot třecí síly a vysokého zatížení.

6. ZÁVĚR

Provedené zkoušky třecích dvojic ukazují perspektivu použití izotermicky kalené tvárné litiny na součásti pro kluzné uložení ve strojírenství.

7. LITERATURA

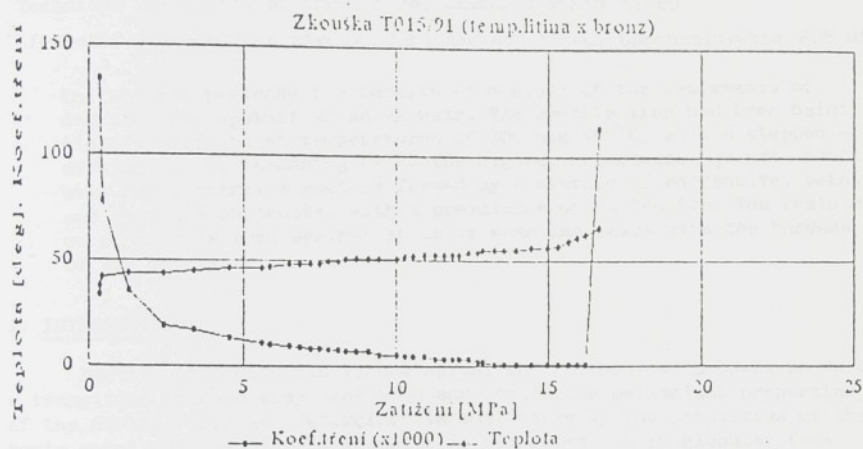
- [1] DOBEŠ, P.-NAVRÁTIL, F.-SVOBODA, Z.: Zkoušky kluzných vlastností dvojic materiálů tvárná litina - dolní bainit v. ocel 12060.2 (ocel 12060.6, bronz CuSn12); Výzkumná zpráva VUT-FS-6-VT 15/91
- [2] BÁRTA, B.: Protokol metalografie materiálů kluzných dvojic tvárná litina - 12060.2 a 12060.6; HS 303518, VUT-FS 1991
- [3] PRIESTER, J. a kol.: Klzné ložiská; Alfa Bratislava, 1981

SUMMARY

The paper deals with friction properties of sliding bearing using three different couples of new bearing materials, namely austempered ductile cast iron against carbon steel or bronze. Also the parameters of tests run on TRIBOTESTOR apparatus are described and results of these tests compared with standard test configuration.

Tabulka 1

Material	Chemické složení (hmotn. %)								Rozměry vzorku
	C	Si	Mn	S	Cl	Cu	Sn	Pb	
TL I	3,1	2,55	0,39	0,009	---	---	---	---	pouzdra $\phi 20 \times 1,5 \text{ mm}$
TL II	3,29	2,62	0,35	0,009	---	---	---	---	pouzdra $\phi 20 \times 1,5 \text{ mm}$
TL III	3,05	2,07	0,73	0,006	---	---	---	---	pouzdra $\phi 20 \times 1,5 \text{ mm}$
Ocel 12060	0,59	---	0,74	---	0,21	---	---	---	pouzdra $\phi 30 \times 5 \text{ mm}$
Bronz CuSn12	---	---	---	---	---	87	11,5	stopa	pouzdra $\phi 30 \times 5 \text{ mm}$



Obr. 1 Výsledek zkoušky pro dvojici tvárná litina - bronz

DUCTILE CAST IRON AND ITS SOME INTERESTING CHARACTERISTICS WITH
CONSIDERATION OF WEAR

B.BÁRTA¹ - B.SKRBEK²

¹Technical University of Brno, Brno, Czechoslovakia 61669

²Liberecké automobilové závody, Jablonec nad Nisou, Czechoslovakia 466 05

The article presents the results of a study of the resistance of ductile iron against abrasive wear. The ductile iron had been bainitically hardened at temperatures of 300 and 400°C, with a stepped - of time in the hardening bath. The highest resistance against abrasive wear has a matrix structure formed by a mixture of martensite, bainite, and residual austenite, with a prevalence of martensite. The resistance of ductile iron against abrasive wear increases with the hardness of the matrix.

1. INTRODUCTION

Ductile iron with its technological and mechanical properties forms a transition between grey cast iron and steel. The mechanical properties of the ductile iron are determined in most cases by the properties of the basic metal material if the graphite is separated out in globular form. Our earlier papers dealt with the mechanical properties of ductile iron, [1] while the present paper focuses on the abrasive wear of four melts of austempered ductile irons.

2. MATERIAL AND TESTING TECHNIQUES USED [2,3,4,5]

For testing abrasive wear four melts of ductile iron were used, the chemical composition of the melts is indicated in Table 1.

3. ABRASIVE WEAR

Wear is a durable and undesirable change of the surface or dimensions of components caused by the mutual effect of functional surfaces, or of the functional surface and of the medium causing the wear.

The determination of the resistance of the material to abrasive wear is described by ČSN.015484. Relative resistance to abrasive wear is one of the basic criteria of the evaluation of materials under laboratory conditions and it can be applied in operation for the measuring of abrasive wear without the effects of shocks.

4. TEST RESULTS

The course of mechanical properties of melts of austempered ductile iron are indicated in works [1]. The present paper deals with abrasive wear in four ductile iron melts, 1,2,3,4, in cast state, standard annealed state and following isothermic hardening at transformation temperatures of 300 and 400°C of varying duration and at different temperatures. At least three measurements were realized with each sample and the arithmetic mean value of the individual measurements of the abrasive wear served as the final result. The results achieved in melt 1 are indicated in Fig.1,2. It follows from Fig.1,2 that with the increase of the share of bainitic transformation the time of resistance to abrasion is extended and the abrasive wear increases, i.e. the resistance to abrasive wear drops at transformation temperatures of 300 and 400°C. Thus the character of the course of the abrasive wear almost corresponds to the character of the course of hardness. Certain discontinuity in the course of ψ_{abr} appears on dwelling at the non-transformation temperature for 1000 seconds to 10.000 seconds, which corresponds to the period, when the speed of the bainitic transformation is substantially dropping [4], when the achieved hardness is the lowest, the elongation is the highest, and when the share of the retained austenite is maximum, (with 80-90% austenite being transformed to bainite). By extending the resistance at transformation temperature drops the share of residual austenite and elongation, and drops also the resistance to abrasive wear. Increased resistance to abrasive wear in the initial period of the transformation at both transformation temperatures is explained by high degree of hardness and by the presence of martensite in the resulting structure that had arisen following after-cooling in water, following the austempered dwell at the transformation temperature [3,4].

Abrasive wear in the state of standard annealing (pearlite), is comparable with the abrasive wear of the upper bainite at 95% and higher transformation of austenite.

The lower resistance to abrasive wear was measured in cast state, when the basic metal material is formed by ferrite and pearlite (60% of ferrite), and when the measured maximum weight losses were measured at the individual measurements of resistance to abrasive wear.

The abrasive wear in ductile iron alloyed with nickel (melt 2) is indicated in Fig.1,2. The course of ψ_{abr} is identical as in case of the non-alloyed ductile iron, ψ_{abr} is dropping with the increasing holding time at both transformation temperatures, i.e. at 300, and 400°C. Discontinuity of the course occurs again in case of a drop in the speed of transformation of the austenite to bainite (above 80%), [2,4]. This discontinuity in the course of ψ_{abr} is shifted towards longer times of the transformation of austenite to bainite.

Content 0,97% nickel had practically no impact on the values of resistance to abrasive wear in austempered samples. In standard annealed state slightly higher ψ_{abr} was measured ($\psi_{abr} = 1.20$) compared with the non-alloyed ductile iron $\psi_{abr} = 1.17$ (finer pearlite) and in cast state too the ψ_{abr} value went up from 0.86 to 0.97 (higher share of pearlite). From the viewpoint of abrasive wear thus 1% of nickel content in ductile iron is of no little significance.

The measured ψ_{abr} values of ductile iron alloyed with nickel and molybdenum (melt 3) are indicated in Fig.1,2. Character of the course of resistance to abrasive wear ψ_{abr} and austempered samples is the same as in the

two previous measured melts.

Following the standard annealing compared with abrasive wear has increased to $\psi_{abr} = 2.1$ as the structure of the matrix is formed by martensite and by lower bainite (measured hardness 457 HV), in contrast to melts 1, and 2, whose structure following standard annealing was formed by pearlite. In cast state $\psi_{abr} = 1$, i.e. again higher value than in melts 1 and 2, when the difference can be explained by the fact that the structure of the matrix of the cast state of melt 3 is almost pearlitic ($\sim 5\%$ of ferrite) compared with higher ferrite content in the matrix structure in the two previous melts 1 and 2.

In ductile irons alloyed with manganese (melt 4) results of resistance to abrasive wear are indicated in Fig. 1, 2. The course of ψ_{abr} has similar character as in the previous three melts. A substantial increase of resistance to abrasive wear is perceptible in Figs. 1 and 2, but this ductile iron has very poor plastic properties. This fact can be explained by the liquation of Mn in the matrix [1]. Increased concentration of manganese at the boundaries of the eutectic cells is the cause of the rise of martensitic-austenitic regions in these places, their share in the structure with growing manganese content is growing. This fact clearly manifested itself also in the improvement of the resistance to abrasive wear in ductile iron of melt 4, together with substitutional hardening of the ferrite. The highest resistance to abrasive wear is reached in ductile iron with matrix in which together with bainite and retained austenite occurs also martensite ($\psi_{abr} = 2.2$) the lowest value of ψ_{abr} was measured in the sample in cast state (20% of ferrite, HV = 214) $\psi_{abr} = 1.04$. Values ψ_{abr} following austempering were in both transformation temperatures and in all measured holding times at transformation temperatures higher $\psi_{abr} > 1.41 - 2.2$.

If we compare the individual melts at transformation temperature 300°C (Fig. 1) we can conclude that 1% of Ni has practically no influence on the abrasive wear, the impact of combined nickel of substantial influence is the manganese addition, but of course to the detriment of the mechanical properties. At transformation temperature of 400°C (Fig. 2) the influence of Ni on ψ_{abr} is not perceptible, but quite perceptible is the impact of combined Ni and Mo alloying, but it remains small, while the increasing manganese content [2, 3, 4] has substantial impact on ψ_{abr} .

5. CONCLUSION

On the basis of our experimental results we can draw the following conclusions. [2, 3, 4, 5, 6].

- the resistance to abrasive wear at lower bainite (300°C) is higher than at upper bainite (400°C) in all tested ductile iron melts
- resistance to abrasive wear compared with mechanical properties corresponds to the course of the measured hardness in the individual melts of the ductile iron
- nickel (1%) has almost no impact on the growth of resistance to wear
- molybdenum slightly increases resistance against wear
- the martensitic matrix of ductile iron shows the highest resistance to wear on reaching maximum hardness, and there is a danger of untimely breaks
- resistance to abrasive wear decreases with the growing holding time at all transformation temperatures
- of substantial influence on ψ_{abr} is the manganese addition (influence of segregation).

References

- /1/ DORAZIL, E.: High Strength Austempered Ductile Cast Iron. Academia Prague 1991
- /2/ BÁRTA, B.: Abrasive Wear of Ductile Iron. Strojírenství 33, No 9, 1983, p.500
- /3/ BÁRTA, B., SKRBK, B.: Wear of Ductile Iron. Strojírenská výroba. Vol.36, No.2, 1988, p.144
- /4/ BÁRTA, B.: Abrasive Wear of Ductile Iron. Slévárenství XXXIII, No.5, 1985, p.197
- /5/ BÁRTA, B.: Abrasive Wear of Ductile Iron. Knižnice VUT Brno, Vol.B-116, 1986, p.241
- /6/ BÁRTA, B.: Abrasive Wear of Nodular Iron. Conference Ústí nad Labem, House of Technology, 1991, p.27

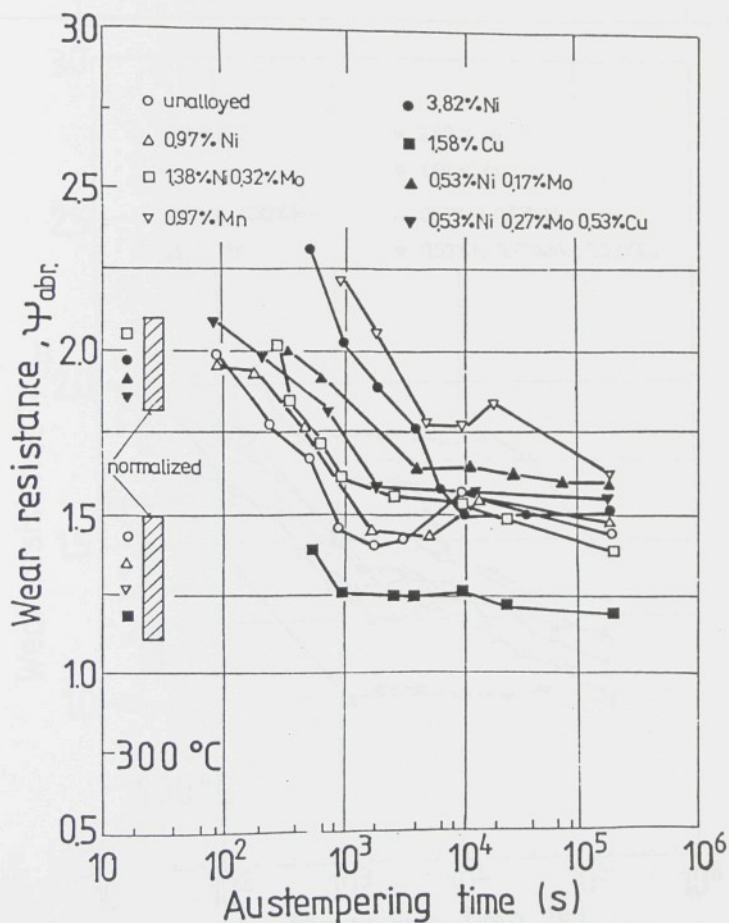


Fig.1

TAB. 1 Chemical Composition and Austenitizing Temperatures
of the Used Nodular Cast Iron Melts

Ductile Iron	Chemical composition (weight %)								Austenitizing Temperature [°C]
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Ni	Mo	
1	3,29	2,67	0,24	0,062	0,010	0,047	-	-	900
2	3,49	2,43	0,28	0,061	0,010	0,058	0,97	-	880
3	3,41	2,12	0,34	0,017	0,015	0,057	1,38	0,32	850
4	3,43	2,46	0,97	0,060	0,009	0,055	-	-	900

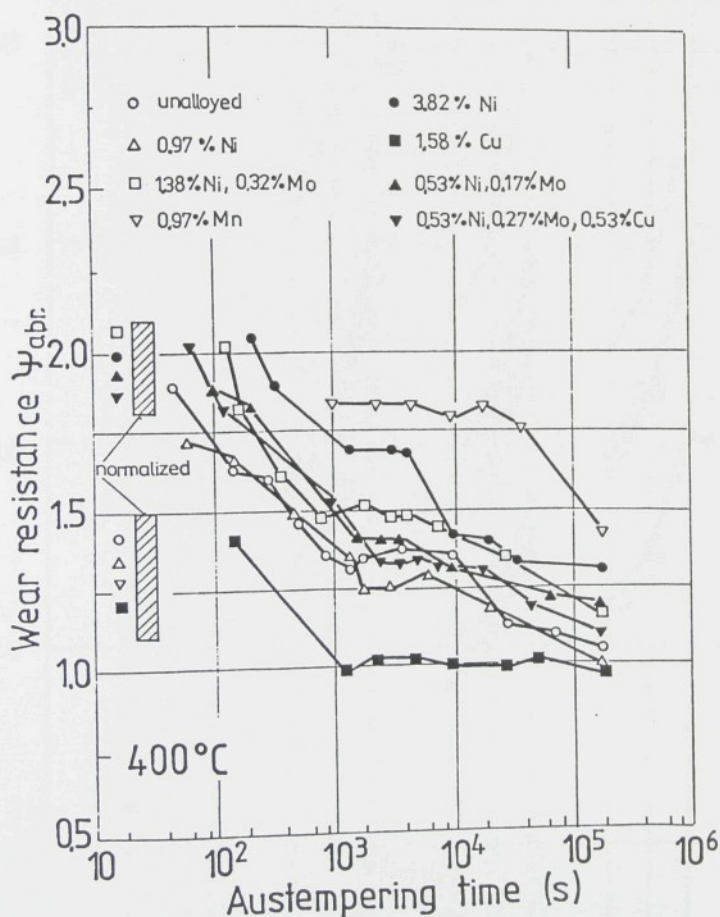


Fig.2

TAB.2 Resistance to Abrasive Wear of Ductile Iron

Ductile Iron	C.S.		N.S.		400°C		300°C	
	γ_{abr}	Ferit[%]	γ_{abr}	Structure	γ_{abr}	[s]	γ_{abr}	[s]
1	0,86	65	1,17	P	1,33	2000	1,43	1000
2	0,97	50	1,2	P	1,25	2000	1,5	17000
3	1,03	5	2,10	B + M	1,46	4000	1,5	20000
4	1,04	20	1,38	P+B+LK	1,83	5000	1,74	10000

Etalon 0,1378 g, P...Perlite, B...Bainite, M...Martenzite, L.K...Led.Karbide

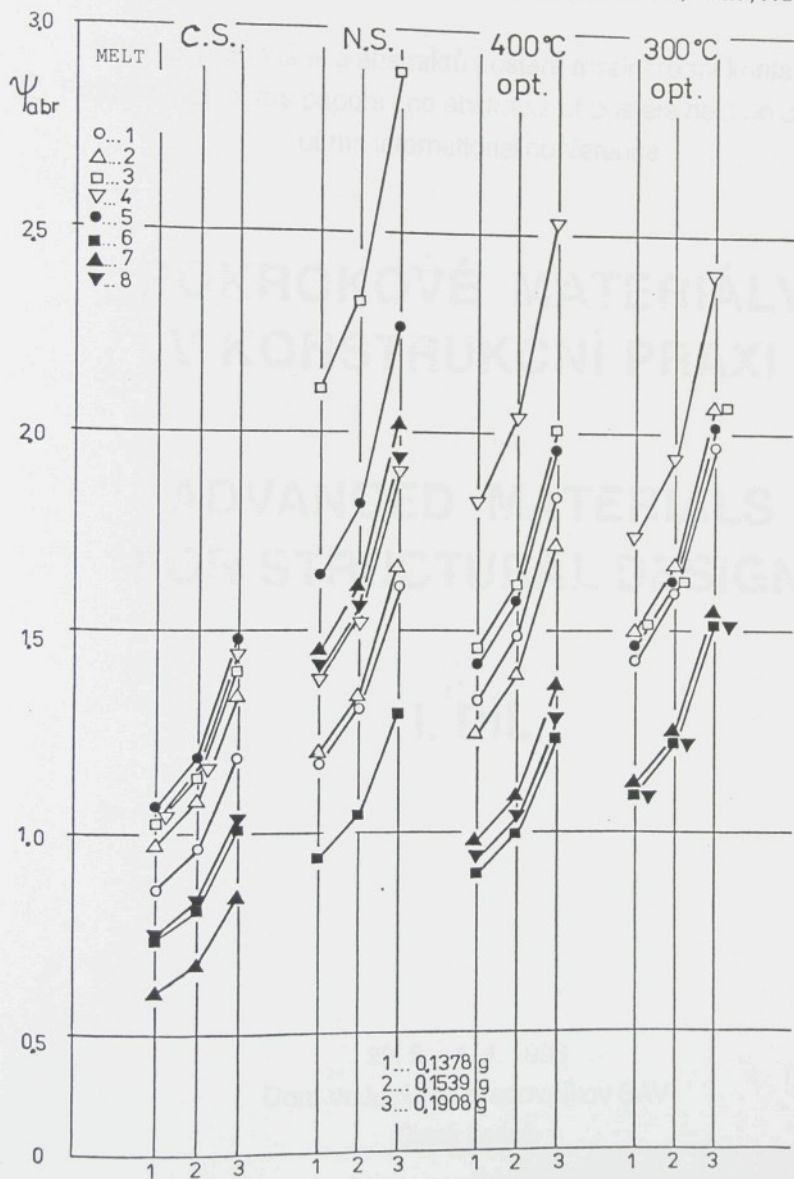


Fig.3

Společnost pro nové materiály a technologie, Praha
Ústav materiálového výskumu SAV, Košice
Tanger, spol. s r. o., Ostrava

Sborník přednášek a abstraktů posterů mezinárodní konference
Proceedings of the papers and abstracts of posters held on occasion
of the international conference

POKROKOVÉ MATERIÁLY V KONSTRUKČNÍ PRAXI

ADVANCED MATERIALS FOR STRUCTURAL DESIGN

I. DÍL

29. 3. - 1. 4. 1993
Dom vědeckých pracovníků SAV
Stará Lesná

EFEKTIVNÍ NAHRADA TVARĚNÉ OCELI BAINITICKOU
LITINOU S KULIČKOVITÝM GRAFITEM NA SOUČÁSTECH
NÁKLADNÍCH AUTOMOBILŮ

Břetislav Skrbek, LIAZ a. s. Jablonec

Litina s kuličkovitým grafitem je sice více jak 40 let vyráběna, ale do 70. let nebylo její rozšíření na strojírensky náročné výrobky úspěšné. Výroba nebyla schopna zajistit rovnoměrnou vysokou kvalitu odlitků jak po slévarenské tak po materiálové stránce. Teprve zvládnutí technologie výroby s důslednou kontrolou celého procesu výroby se začala litina s kuličkovitým grafitem prosazovat také v odlitcích pro náročné automobilní součásti.

V zemích bývalého východního bloku však tento obrat nastává asi až nyní, což může dokumentovat dále uvedená tabulka poměrů výroby litiny s kuličkovitým grafitem k výrobě lité oceli.

Země	Poměr
Japonsko.....	3,7
Německo.....	3,5
USA.....	2,8
býv.ČSFR.....	0,15
býv.SSSR.....	0,1

Výroba litiny s kuličkovitým grafitem mnohem méně zatěžuje ve srovnání s výrobou ostatních slitin železa transportní systém. Má nižší spotřebu energie, surovin a materiálů a nižší zatížení životního prostředí jak výroba oceli.

Pokud je zvládnuta rovnoměrnost kvality odlitků je možno uvažovat a posléze přistoupit k průmyslovým aplikacím isotermicky zušlechťované litiny s kuličkovitým grafitem označované ADI.

Nespornou výhodou litiny proti oceli je totiž možnost volby vhodného obsahu uhlíku v kovové matici během výrobního cyklu jednoho a téhož

výrobku. Ta umožňuje podstatné zvýšení produktivity obrábění ve srovnání s výkovky či odlitky ze zušlechtěné oceli.

Kuličkovitý grafit má v kovové matici nepatrný vrubový účinek. Lze proto využít k dosažení nejen vysokých hodnot pevnosti, ale i meze únavy, bainitických až bainitmartenzitických struktur. Výchozí odlitek musí obsahovat jemný kuličkovitý grafit a Mn do 0,4 procent kvůli potlačení mikrosegregačních jevů.

Literatura uvádí řadu náhrad odlitků a tvářených ocelových autodílů ADI litinou. Tyto výrobní aplikace však vyžadují kromě perfektního výchozího odlitku i přesné dodržování postupu tepelného zpracování s ohledem na chem. složení a důslednou kontrolu.

Ve výrobní praxi však rozhoduje ekonomie. Ceny výkovků v našich podmínkách jsou výhodnější jak podobné odlitky z ADI i přes úspory z obrábění. Cena materiálu totiž stále dominuje nad cenou vložené práce.

Ve formě náhrad lze proto ekonomicky obhájit pouze odlitky z ADI, které přináší výrazné hmotnostní úspory vůči výkovkům ze zušlechtěné oceli obvykle uhlíkové. Vhodnější je proto zakotvit výrobky z ADI do dokumentace nových výrobků, zejména tam, kde se využívá nenahraditelných vlastností ADI. Zde jde tedy ne o náhrady, ale o specifické cílené využití.

Aplikace ADI v automobilovém průmyslu.

Ozubená kola z ADI se v zahraničí používají nejen pro kola rozvodů, ale i pro kola rychlostních skříní. U některých kol se uplatňuje speciální postup povrchového indukčního kalení na dolní bainit do 240°C. Nízká hodnota modulu pružnosti E 160 GPa, ocel 200 GPa, působí rozložení kontaktního

namáhání na větší plochu boků zubů. Maxima Hertzových tlaků jsou tak u konstrukčně stejných kol nižší u litinových kol. Soukolí z ADI proto lépe snáší i přesazení a vyosení při špatné montáži

Na dolní bainit se zpracovávají rovněž synchronní kroužky, řetězová kola, vačkové a klikové hřídele.

Vynikající vlastnosti horního bainitu z hlediska dynamického namáhání se uplatňují u držáků per, skříní diferenciálu, klik, hřídelů, přírub kloubových převodů apod.

Vlastní příklady aplikace ADI.

Průběžná spolupráce v minulých letech s VUT Brno nashromáždila informace o vlastnostech a použití ADI. Tým hodnotové analýzy v LIAZ byly pro ekon. využití vytipovány pouze nábojovité součásti, u kterých se do plného výkovku vrtá otvor pro drážkovaný hřídel. Předlitím otvoru se dosáhlo významné úspory materiálu pro efektivní náhradu odlitkem z litiny s kuličkovitým grafitem.

Výkovek posuvného náboje G 11,5kg jako odlitek G 8,2kg. Rozhodujícím momentem pro změnu materiálu posuvného náboje a náboje s přírubou, viz. obr.1, byly výsledky torzních únavových zkoušek spojovacích tyčí vozů LIAZ na torzátoru PTO S SCHENCK v SVÚM Běchovice a úspěšné provozní zkoušky na vozech, které následovaly. Míjivá zatížení probíhala na hladinách zatížení 3 až 8kNm za předpokladu provozních maxim 3,5kNm při jízdě. Mechanické vlastnosti po tepelném zpracování jsou v následující tabulce.

Ozn.vých.mater.		Tepelné zpracování		Rm MPa	HB
1	12 050.1	830° 0,75h	20°, 520° 1h	808+848	257+267
2	12 060.1	820° 0,75h	20°, 560° 1h	740+880	203+253
3	42 2305	950° 2,5h	380° 50min	820	270

4N	42 2307	650° 4h vzduch	650	252
4B	42 2307	950° 1,5h 380° 50min	850	330

Při namáhání 8kNm docházelo nejčastěji k lomům na křížových čepech a drážkovaných nástavcích hřídelů. Byly porovnány časové životnosti na jednotlivých hladinách zatížení.

U nábojů s přírubou nejvyšší životnost dosáhly odlitky varianty 4B pak výkovky 2 a nejnižší 4N. Varianta z nelegované LKG ADI nezkoušena. U posuvných nábojů stejné životnosti měly varianty 1 a 3. Odlitky z nízkolegované ADI dosáhly nižší životnosti, tj. 4B.

Při únavových zkouškách byly získány poznatky o místech porušení a jeho iniciace. V náboji s přírubou vznikaly první praskliny na okraji náboje v patě vnitřního drážkování. U posuvného náboje jednak v místě kde končilo zasunutí drážkového hřídele v patě vnitřní drážky a nejčastěji z paty zubu na okraji náboje.

Většina odlitků obsahovala výrazné stažení v ramenech pos. náboje. V žádném případě však nepůsobily iniciaci lomů. Vnitřní drážky měly větší iniciační účinek. Slévarenské vady totiž nevystupovaly na obrobený povrch. Nedokonalé prokalení, bainitické, nejsilnějších stěn nábojů z nelegované ADI nebylo na závadu.

Výrobní technologie nábojů z ADI je vedena k max. efektivnosti. Odlitky po odlití jsou v převážně feritickém měkkém stavu 150 až 200HB, který umožňuje vysokou výkonnost obráběcích operací. Podstatně menší změny rozměrů vůči celovým nábojům během tepelného zpracování daly předepsat většinu obráběcích operací před tepelné zpracování tj. izotermické kalení. Pouze změna vality ok ramen pos. náboje o průměru 52H7 140 μm byla přípis velká. Tento rozměr se musí dokončit po tep. zprac. Ocelové náboje se zušlechťují již

po hrubém vyvrtání otvoru drážek.. Isotermické kalení do 380° C horké solné lázně zanáší náboj podstatně menšími deformacemi jak kalení do vody a popouštění u oceli.

Pro dané chemické složení LKG bylo nutno optimalizovat zkouškami teplotu a výdrž austenitizace 900° 0,75h s ohledem na dostatečné nasycení austenitu uhlíkem z grafitu a na minimalizaci deformací a spotřeby energie přímo u potenciálního zpracovatele ZTS Dubnica n. V. Rovněž byla optimalizována doba výdrže v solné lázni 380° 0,75h. Tvarové změny z osmi sledovaných míst náboje vadly k vhodné poloze a přípravku na TZ.

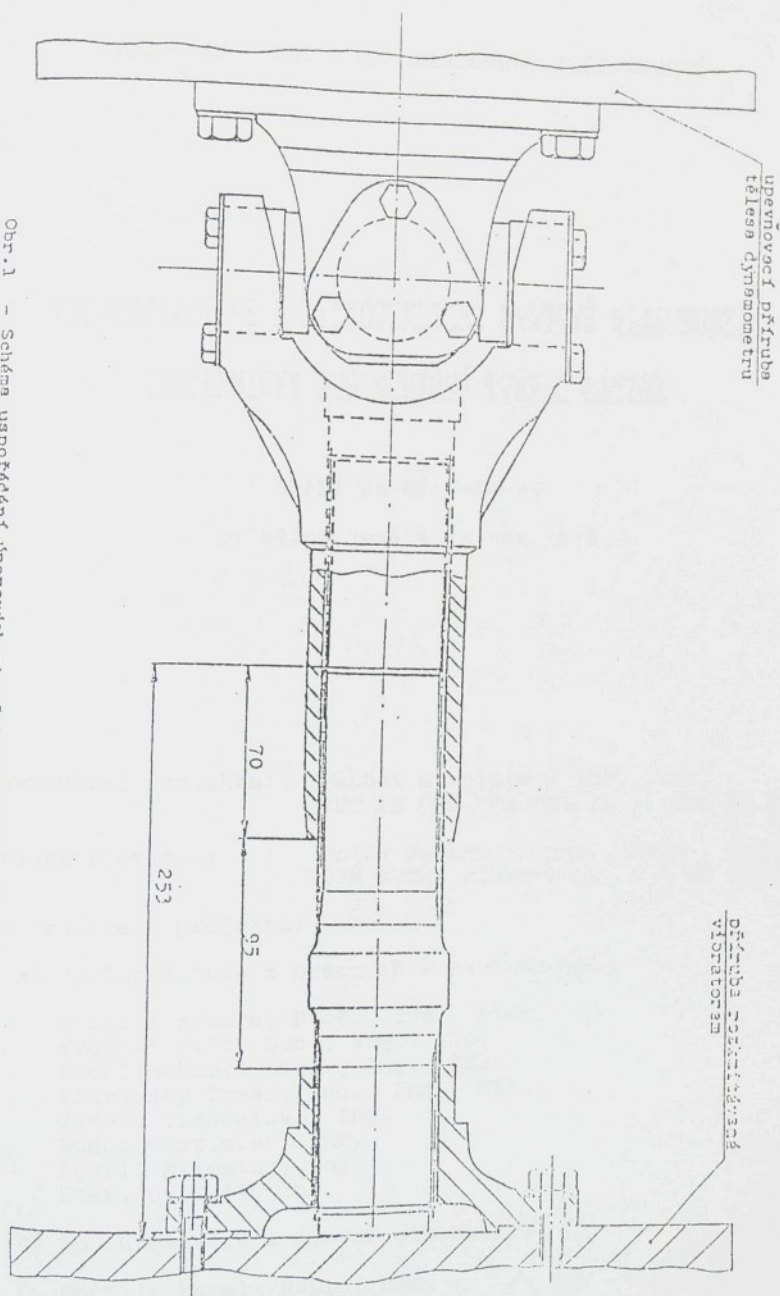
Dosažení optimální struktury horního bainitu a kuličkovitého grafiru je výsledkem pečlivé dodržované výrobní technologie. Zejména nadokonalá austenitizace a bainitická přeměna podstatně snižují plastické vlastnosti mez únavy a houževnatost. Prostá kontrola tvrdoměrem je naprosto nedostatečná. Pro sledování fyzikálních vlastností byly vzorky kaleny izotermicky od 300° do 450° C. Horní bainit byl ve variantách s nedokonalou austenitizací a bainit. přeménou. Kromě monotónních závislostí se při sledování rychlosti zvuku jeví výrazné minimum u horního bainitu s max. obsahem zbytkového austenitu. Rovněž intenzita remanentního magnetického pole má extrém tentokrát maximum v horním bainitu, který patrně souvisí s vnitřním demagnetizačním činitelem struktury horního bainitu. Remanence citlivě reaguje poklesem hodnot na nevyhovující austenitizaci, podobně jako rychlost zvuku. Malá množství zbytkového martenzitu při krátké isotermické výdrži se nejlépe odhalí měřením tvrdosti. Vhodnou nedestruktivní diagnostiku bainitických struktur lze tedy postavit jen na měření více veličin současně.

Velký Krtiš. K převzetí a osvojení technologie výroby nábojů spoj. hřídelů z ADI ve spolupráci se podniky ZTS, které mají vhodné zařízení pro izotermické kalení, se však staví dosud velice váhavě.

Myslím, že velkosériová výroba řádově v tis. tun v roce těchto důležitých autodílů z bainitické litiny s kuličkovitým grafitem by byla skvělou vizitkou slovenského strojírenství.

Literatura

- 11] Skrbek B. Uplatnění tvárné litiny místo ocelových výkovků, závěr. zpráva úkolu RVT LIAZ Jablonec 1989.
- 12] Dobeš, P. a kol. Zkoušky kluzných vlastností dvojic mater..., zpráva VU1 Brno FS6VT15.91.



Obr. 1 - Schéma uspořádkání úhlových zkoušek posuvného náboje kloubu

VYSOKOCYKICKÉ A NÍZKOCYKICKÉ ÚNAVOVÉ VLASTNOSTI IZOTERMICKY ZUŠLECHTĚNÉ TVÁRNÉ LITINY

GRANT FS č. F-59-94

průběžná zpráva za rok 1994

Navrhovatel projektu: Věchet Stanislav, Ing., CSc.
VUT FS ÚMI, Technická 2, 616 69 Brno

Spolunavrhovatel: Polák Jaroslav, Doc., RNDr., DrSc.
ÚFM AVČR, Žižkova 22, 616 62 Brno

Spoluřešitelé projektu:

a) Spoluřešitelé z pracoviště navrhovatele:

Dorazil Eduard, Prof., Ing., DrSc.
Švejcar Jiří, Doc., Ing., CSc.
Pacal Bohumil, Doc., Ing., CSc.
Podrábský Tomáš, Doc., Ing., CSc.
Janová Drahoslava, Ing.
Hudec Rostislav, Ing.
Kouřil Miloslav, Ing.
Stefanov Emil, Ing.

b) Spoluřešitelé z jiných pracovišť:

Obrtlík Karel, RNDr., CSc.
Novotný Luděk, Ing.
ÚFM AVČR, Žižkova 22 Brno

Skrbek Břetislav, Ing., CSc.
LIAZ Jablonec

HIGH AND LOW CYCLE FATIGUE OF AUSTEMPERED DUCTILE IRON

S. Věchet, J. Polák*, K. Obrtlík*,
E. Dorazil, J. Švejcar, B. Skrbek**

TU of Brno, Fac. of Mechanical Eng., Písek Inst. of Materials Eng.
Technická 2 616 69 Brno

*Academy of Sciences of Czech Republic, Institute of Physics of Materials
Žitkova 22 602 00 Brno

**LIAZ Jablonec,
Belgická 400, 466 05 Jablonec nad Nisou

Key words: austempered ductile cast iron – ADI, upper and lower bainite structure, mechanical fatigue properties, Woehler and Manson-Coffin curves, fatigue limit

Because of its good physical, technological and mechanical properties, ductile iron finds an ever wider range of application in a number of industries. Its main advantage is the very wide spectrum of possible heat treatment alternatives, which is conditional upon favourable graphite shape. One such possibility, which in technical practice is today often made use of, is austempering. The present paper deals with the effect of this type of heat treatment on the fatigue properties of ductile iron.

Used in the experiments were 2 heats of unalloyed and alloyed ductile cast irons. Isothermal heat treatment in order to obtain a bainitic structure was carried out in electric crucible furnaces with salt baths. In all the cases austenitization temperature was 900 °C and the holding time at this temperature was 1 h. The time of isothermal transformation was for individual heats determined experimentally on the basis of optimum mechanical properties, characterized by maximum elongation, in intervals from 2 s to 25 h.

Haigh cycle fatigue properties were assessed on the basis of determining the Woehler curves and the fatigue limit values. Fatigue tests were carried out under symmetric loading cycle or under repeated tension on an Amsler high-frequency resonance pulsator at room temperature. The Woehler curves were determined on a set of 12 to 15 cylindrical test specimens with threaded heads, the working part of the specimen was of dia 7 mm.

The Woehler curves were evaluated mathematically by the least square method with the aid of three-parameter non-linear function. The fatigue limit values were determined for the basic number of cycles $N = 10^7$.

Low cycle fatigue tests were performed using cylindrical specimens with 8 mm in diameter. Specimens were cycled in a computer controlled electrohydraulic testing machine MTS. Constant total strain amplitude cycling with the strain rate $3 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ was adopted. Hysteresis loops were digitally recorded for selected number of cycles and stress amplitude, strain amplitude, plastic strain amplitude and the area of the hysteresis loop were evaluated.

The fatigue life curves were plotted as Manson-Coffin curves and derived Woehler curves using values of the plastic strain amplitude and stress amplitude at half-life.

The surface of the gauge length after cycling and fracture surfaces were examined in a scanning electron microscope Philips 505.

The study of fatigue properties of austempered ductile cast irons has brought following results:

- In ADI the most favourable fatigue properties can be found with upper-bainite structures as opposed to transition bainite and, especially, lower-bainite structures. This behaviour is affected neither by the type of loading (tension-compression, tension, bending) nor by the loading cycle asymmetry.
- With bainitic structures the increase in ultimate strength due to changes in heat treatment conditions (lower transformation temperature) is not accompanied by an increase in fatigue limit; on the contrary, the fatigue limit decreases with increasing ultimate strength.
- With ADI the dependence of the loading cycle amplitude on the mean cycle stress during tension-compression loading is hyperbolic.
- Upper and lower bainite showed rapid initial hardening and saturated behaviour during the whole fatigue life.
- The fatigue resistance of the materials depends on the structure of the matrix but also on the criteria used for life evaluation and is different when stress amplitude or plastic strain amplitude is applied.
- When the crack is initiated from a large initial defect, the stage of short crack growth is diminished and the fatigue life is reduced.

References:

- [1] DORAZIL, E.: *High Strength Austempered Ductile Cast Iron*. Academia, Praha (1991), pp. 73-129.
- [2] VĚCHET, S.: *Behavior of Ductile Cast Iron in Conditions of Fatigue Loading (in Czech)*. PhD dissertation, TU of Brno, 1989.
- [3] JOHANSSON, M. - VESANEN, A. - RETTING, H.: *Antriebstechnik*. Antriebstechnik, 15, 1976, pp. 593-600.
- [4] JOHANSSON, M.: *Properties and Applications of Austempered Austenitic-Bainitic Ductile Iron*. Proc. of International Foundry Congress 45, Budapest, 1978.
- [5] HORUNG, K.: *Heat Treatment of Metals*. PP Amsterdam, 1986, pp. 87.
- [6] KUHN, G. - REUTER, H.: *Konstruieren und Giessen VDI*, Dusseldorf, 1976.

This research has been conducted at the Department of materials Engineering as part of the research project "High And Low Cycle Fatigue Of Austempered Ductile Iron" and has been supported by TU of Brno grant No. F-59-94.

Vedeck

Žilinská univerzita v Žiline

Strojnícka fakulta

Katedra materiálového inžinierstva

Katedra technologického inžinierstva

Slovenská zlievarenská spoločnosť

Slovenská vedecká spoločnosť pre náuku o kovoch

V. medzinárodné metalurgické sympóziu

V. Internationalen Metallurgischen Symposium

Rajecké Teplice – penzión SEVAK
9. – 10. 9. 1999



APLIKACE ADI NA DÍLY VZNĚTOVÝCH MOTORŮ ŠKODA LIAZ

Břetislav Skrbek - Stanislav Věchet - Tomáš Podrábský

Abstrakt.

Uplatnění LKG v automobilovém průmyslu závisí na reprodukovatelnosti výroby odlitků z LKG. Spolupráce s KM VUT Brno a její výsledky v aplikacích ADI. Výčet zkoušených a aplikovaných dílů. Dílčí výsledky aplikace ADI na zdvihátka ventilů.

1. Úvod

Litina s kuličkovitým grafitem je známa již 50 let. Její rozšíření do strojírenství, zejména automobilového průmyslu, umožnilo teprve spolehlivé zvládnutí technologie výroby s důslednou kontrolou všech výrobních fází odlitků. Teprve pak se uplatnily výhody LKG z ekonomického a uživatelského hlediska.

Na bázi rovnoměrné výroby kvalitních odlitků se rozšiřují aplikace z hlediska mechanických vlastností nejkvalitnější třídy LKG izotermicky kalené, označované ADI. Mechanické vlastnosti ADI

Ing. Skrbek Břetislav, CSc. ŠKODA MOTORY a.s.

Belgická 400, Jablonec nad Nisou 466 01, tel. 0042 428 363917.

Ing. Věchet Stanislav, CSc.

4114 3144

Doc. Ing. Podrábský Tomáš, CSc.

4114 3150

VUT SF katedra materiálu, Technická 2 Brno 616 00, tel. 0042 5

umožňují aplikace i v oblasti namáhaných součástí z tvářených zušlechťených ocelí [4], [5].

Litiny s kompaktním grafitem (LKG, LČG a LTG) nalézají atále širší aplikace na dynamicky namáhané konstrukční prvky vozidel. standartní aplikace náhrad lité oceli na dílech náprav, rámu a točny dominovaly do poloviny osmdesátých let. Nová řešení

autodílů a nové kategorie litin uvádí i nestandardní problematiku aplikací.

Tento příspěvek kromě přehledu aplikací ADI se zaměřuje na zdvihátka ventilů.

2.1. Díly motoru

Trvalá spolupráce s katedrou materiálového inženýrství VUT Brno v oblasti zkoumání vlatností ADI v osmdesátých letech [1], [2], [3], [4] přinesla ovoce ve formě několika aplikací i na motoru. Po motorových zkouškách provedených často s velkým časovým předstihem na dílech tepelně zpracovaných na VUT následovalo čekání na ekonomické a aplikační "dozrání".

Ozubená kola rozvodu byla zkoušena jako nitridovaná LKG a ADI (vložená kola) [4] již na počátku 80. let. Výhody proti spolehlivým kolům z cementovaných výkovků nebyly tak přesvědčivé, aby došlo k aplikaci ani v poslední době, kdy se možnosti izotermického kalení přemístily nejprve z Brna do TESET a. s. Semily a pak v r. 1997 do vlastní kalírny ŠKODA MOTORY a. s. Současné totiž rostlo s novými typy motorů jejich namáhání.

Zcela jiná situace byla u nenápadného plochého axiálního kroužku (0,3kg) hřídele náhonu vstřikovacího čerpadla. Zde se s vývojem zvyšovalo kontaktní plošné adhezni namáhání a míjivé ohybové namáhání. Z jedné strany klouže po cementovaném kolu a z druhé po nitridovaném ocelovém kroužku. Po mnoha materiálových zkouškách s různými materiály bylo nutno zvolit jediné ADI (nehledě na ekonomii). Výchozí jakost 42 2305. Izotermicky kaleno na dolní bainit (ADI) - 240⁰.

Podobným způsobem - díky vysoké únavové pevnosti a vynikajícím kluzným vlastnostem - se aplikuje tenkostěnné pouzdro náhonu vstřikovacího čerpadla v kluzné dvojici s cementovaným

hřídelem. Z prostorových důvodů nebylo ani možno aplikovat bronzové pouzdro. Hmotnost 1kg, izotermicky kaleno na střední bainit (ADI) 350⁰.

2.2. Zdvihátka

Zdvihátka ventilů se klasicky vyráběla ze šedé litiny lité funkční plochou na Cu desku. Ledeburitická vrstva (55 HRC) s tahovým předpětím již nestačí zaručovat požadovanou životnost (obr.1). Zaručeným řešením, které aplikují evropští výrobci vznětových motorů, je ocelové zdvihátko s pájenou destičkou ze slinutého karbidu WC na funkční ploše (velmi drahé).

Zkouška zkušební stolicí po dobu 1000h se zdvihátka z ADI zatím dala nejednoznačné výsledky. Složení litiny (LKG) odlité na TU Liberec:

Tab.1.						
C	Si	Mn	P	S	CE	
% 3,77	2,89	0,2	0,03	0,014	4,74	

Výchozí struktura: 100% GVI, vel. 5-6, matrice P10 P1.

Tvrdość 180 HB. rychlost zvuku v_L 5681 m/s.

Izotermické kalení na VUT Brno.

Tab.2.					
ADI	rozsah HV	v_L m/s	remanent. magn. Hr	zbytk. austenit	
D ADI-180 ⁰	520 - 630	5392 - 5488	229 - 248	13,5 %	
H ADI-380 ⁰	300 - 320	5460 - 5540	525 - 533	34,5 %	

K rozlišení druhu ADI se kromě hodnot tvrdosti dá aplikovat měření remanentního magnetizmu. Rychlosti zvuku se překrývají.

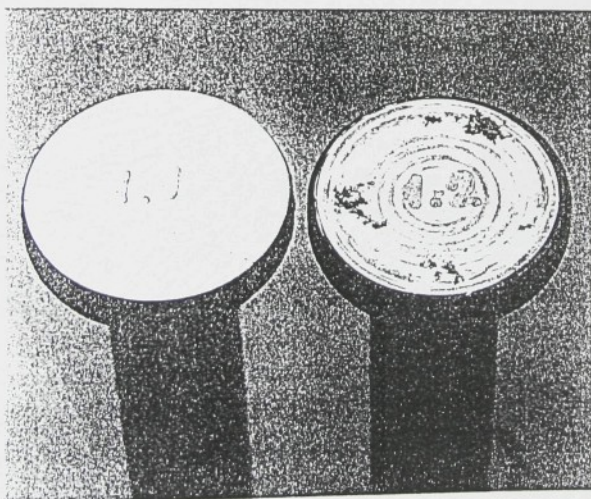
Hodnocení struktury bylo provedeno kolodium-uhlík replikami na transmisním elektronovém mikroskopu JEOL 100C při 100kV. Snímky horního ADI zdvihátek, která byla po zkoušce ve všech případech opotřebovaná, vykazují látky & s vyprecipitovanými částicemi karbidů (obr.2) a zbytkový austenit A. Dolní ADI tvoří směs martenzitu a desek dolního ADI s karbidy a zbytk. austenit. Markantní rozdíly struktury mezi opotřebovaným (obr.3) a vyhovujícím (obr.4) zdi-

hátkem nejsou zřejmé.

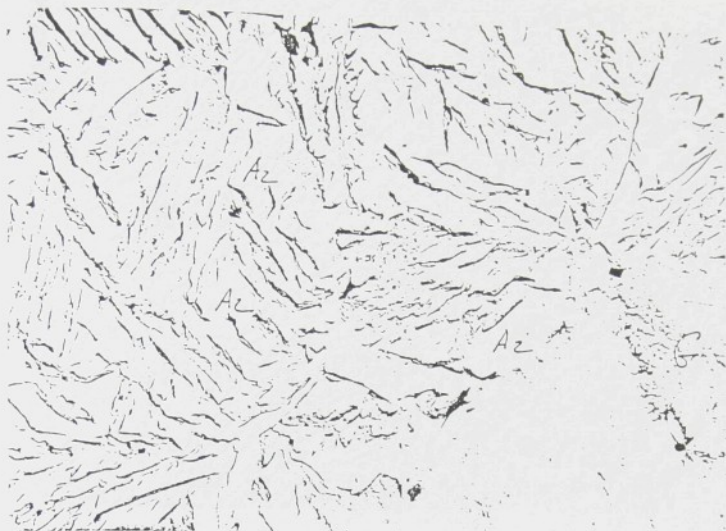
Zkoušku bude nutno opakovat s pečlivým sledováním podmínek geometrie a zatěžování.

Literatura:

- [1] Bárta, Skrbek. Využití bainitické tvárné litiny na díly motorů. Hutnické listy, 1983, č.10, s.722=725.
- [2] Věchet, Dorazil, Bárta, Skrbek. Únavové vlastnosti tvárné litiny při zatěžování pulzujícím ohybem. Knižnice odborných a vědeckých spisů V UT Brno 1990, svazek B-132, s. 45 - 59.
- [3] Bárta, Dobeš, Skrbek. Kluzné vlastnosti třecích dvojic ADI s podeutektoidní ocelí a bronzí CuSn12. Mezinár. symposium INTERTRIBO`93. DT Bratislava, s. 108 - 112.
- [4] Skrbek. Kola rozvodu z tvárné litiny - vyhodnocení běhových zkoušek. Interní zpráva 274-7-83 LIAZ.
- [5] Skrbek, Habětínek, Linhart, Bárta. Náboje kardanů z ADI. Mezinárodní konference CONMET`92, Brno, s. 19 - 21.
- [6] Skrbek. Litina s kuličkovým grafitem v dílech vozů LIAZ. Přehledová interní zpráva, č.



Obr.1. Zdvihátko nové a kontaktně unavené z LLG.



Obr.2. Horní ADI - zvětšeno 5000x.



Obr.3. Dolní ADI - zv. 5000x.



Obr.4. Dolní ADI - zv. 5000x.

ODKOVANÉ PŘEDZLIATINY

VYSOKÁ ŠKOLA DOPRAVY A SPOJOV ŽILINA,
KATEDRA MATERIÁLOV A TECHNOLOGIE

P - ZSVTS pri OFZ ISTEBNÉ

INPEKO, ŽILINA

OČKOVADLÁ A PREDZLIATINY

»» ZBORNÍK ««

Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

LIAZ Jablonec

Ing. Petr Vodička

LIAZ Liberec

ZKUŠENOSTI S PROVOZOVÁNÍM ULTRAZVUKOVÉ RYCHLOZKOUŠKY ÚČINKU MODIFIKÁTORU

O vyhovujícím tvaru grafitu právě namodifikované litiny nás informuje řada měřicích metod, které využívají různých fyzikálních vlastností litin [4] [5]. I když přístroje pro tyto nejrychlejší metody jsou nyní dostupné, většina sléváren uvolňuje jednotlivé tavby až po výsledku metalografického rozboru nebo pevnostní mechanické zkoušce.

S minimálními náklady lze zavést rychlou ultrazvukovou zkoušku účinku modifikátoru. O principu této zkoušky se zmiňuje [2]. Kvantifikaci vztahů mezi rychlostí zvuku v_L litin, chemickým složením a tvarem grafitu se zabývá práce [1]. Tento příspěvek seznamuje s výsledky využití metody zejména ve slévárně LIAZ Liberec při výrobě tvárné litiny.

Technologie.

K přípravě tekutého kovu se používá dvojice indukčních pecí. Technické parametry :

0,5 tun; 1kHz; 300kW.

Vsázka :

80kg ocel šrot, 100kg vrat, 300kg surové žel.

Modifikace a očkování :

5kg FeSi45; 7,5kg LITVAR; 6kgFeSi75; 6kg třísky

Základní chemické složení :

‰	C	Si	Mn	P	S
	3,6-3,9	1,4-1,5	<0,4	max.0,07	max.0,015
Konečné slož.:	3,5-3,8	2,7-3	<0,5	max.0,07	max.0,015

Po přelití kovu z pece do modifikační pánve se tato jeřábem zdvihne a přitlačí k víku /modifikovaný "tundish"/. Po ukončení reakce se z pánve odebere tekutý kov pro odlití prvního vzorkovacího tělesa /obr. 1/.

Po jeho odlití, zakalení a změření rychlosti zvuku litiny ve vzorkovacím tělese ultrazvukovým tloušťkoměrem /tj. asi za 2,5 min./ se pánev uvolní pro liti odlitků nebo se provede úprava taveniny, pokud rychlost zvuku má příliš nízkou hodnotu. Pro danou technologii výroby tvárné litiny je např. krit. hodnota $v_k = 5400$ m/s resp. $v_r = 0,911$ /relativní rychlost zvuku/.

Druhé vzorkovací těleso se odlíje a tvar grafitu vyhodnotí po odlití posledního odlitku. Zkontrolujeme tím trvání modifikačního účinku.

Pro celou kontrolní metodu je vypracována detaillní technologická návodka. Současně s prvním vzorkovacím tělesem se odlévá vzorek pro analýzu C, S na přístroji LECO. Odesílá se potrubní poštou. Výsledek ukáže terminál na tavně.

Mechanické zkoušky a chemická analýza se provádí dodatečně. Příklad formuláře pro sběr údajů o tavně je v příloze Zkušenosti.

Technické přejímací podmínky odlitků obvykle uvádí možní obsah kuličkovitého grafitu /např. GVI $\geq$ 60%/. Zbytek tvoří červikovitý GIII nebo nedokonale zrnitý GV grafit. Přitom metalografické vizuelní určování množství určitého tvaru grafitu je zatiženo mnohdy značnou subjektivní chybou až desítky procent. Tuto skutečnost ukázala praktická zkouška hodnocení stejných výbrusů několika metalografy.

Rychlost zvuku jako fyzikální veličina je objektivně ovlivňována morfologií grafitu jako mírou zeslabení nosného průřezu kovové matrice.

K zaformování modelu vzorkovacího tělesa se osvědčily např. přířezy z trubek $\varnothing 100 \times 80$ mm.

Rozdíl hodnot v_k změřených na hrubém /neotryskaném/ tělese a ručně zbroušeném /na měřených plochách - viz. obr. 1/ činí 60 až 200 m/s. Vzorkovací tělesa by se měla před jejich měřením alespoň z jednoho čela zabrousit.

Byly vypracovány nomogramy pro orientační určení

$$\%GIII = f/v, Se/$$

$$\%GI = f/v, Se/$$

$$LGIA = f/v, Se/$$

Se...stupeň eutektičnosti
LGIA... délka lupinků grafitu.

Poznátky získané při odlévání středních dílů výfukových potrubí [3].

Správné určení struktury ve vzorkovacím tělese s převážně zrnitým grafitem je jednoznačné, ale při vysokém podílu GIII $\geq 70\%$ se změní ultrazvukem hodnota zatížená chybou víc jak 12%. Tato skutečnost platí pro litinu se standardní feritickoperlitickou základní kovovou hmotu v litém stavu, tedy i pro přímé měření na přírubách výfukových potrubí s měřenou tloušťkou $L \approx 15\text{mm}$.

Pro daný provozní rozsah chemického složení byl stanoven přibližný vztah

$$\%GIII = 1332 - 0,236 \cdot v_L \quad /1/$$

Pro strukturu vzorkovacího tělesa s martenzitickou základní kovovou hmotou platí výraz

$$\%GIII = 775,5 - 0,142 \cdot v_L \quad /2/$$

ale s nižším koeficientem korelace $K = 0,83$. Pro litiny s převážně zrnitým grafitem se výsledky liší v průměru o 6,5%, kdežto vysoké podíly GIII jsou spojeny s podstatně vyšší chybou měření /plyne z velké variability pojmu GIII/.

Rozdíl obsahu červíkovitého grafitu GIII ozn. Δ GIII mezi odlitkem výfukového potrubí /v přírubě/ a identicky litým vzorkovacím tělesem je vždy kladný. Rozdíl obsahu perlitu /pro vz. těleso zchladlé ve formě/ ΔP je také kladný. Tento rozdíl je větší s dobou od modifikace litiny. Proto také na jedné sadě odlitků se neprojevovalo ve vzorkovacím tělese odeznění modifikačního účinku, které v odlitku bylo prokázáno.

Podobným výsledkem ovšem může reagovat kterákoliv z rychlých přímých zkoušek [4] [5] účinku modifikátoru založená na měření malého zkušebního tělesa /závit na krátko u zkoušky měření elektrické vodivosti, komolý kužel - teplotní analýza, dvojitý kelímek - měření tepelné vodivosti/.

Shodnou citlivost na odeznění modifikačního účinku budou mít partie se stejnou termodynamikou eutektické přeměny

/a shodných fyz.chem podmínek/.

Z předchozího vyplývá, že pro kritické pomaleji tuhnoucí
partie odlitků je třeba zkouškami přiřadit kritický obsah ne-
zrnitého grafitu /lépe řečeno krit. hodnotu rychlosti zvuku/
vzorkovacího tělesa, který ještě zaručí dovolenou skladbu GIII
až GVI v kritické partii odlitku. konkrétního

Příklad nevyhovující struktury vzorkovacího tělesa z jed-
né komerční tavby předkládá obr.2. Těleso bylo odlito po od-
liti posledního odlitku. Mechanické vlastnosti z přilitého
bloku Y1 /na začátku liti/ jsou přitom vyhovující.

Odliti zkušebního tělesa ~~příliš~~ brzo po modifikaci může
mít za následek ještě nehomogenní strukturu grafitu. Rychlost
zvuku je snížena jen nepatrně, zato hodnoty rázové houževna-
tosti jsou v takových případech velmi nízké.

Závěr

Ultrazvuková rychlostzkouška informuje o účinku modifikace
za 2,5 až 3 minuty po odlití.

Při dodržení základních podmínek měření získáme objekt-
ivní informaci o morfologii grafitu odlévané litiny, zejmé-
na tvárné, vyjádřenou hodnotou rychlosti zvuku.

Při výrobě odlitků pro zahraniční zákazníky dle ISO st.
se slévárny nevyhnou i několikanásobné kontrole /nedestruk-
tivní/ jakosti materiálu.

Slévárnou prezentovaná kontrolní opatření budí důvěru
zákazníků.

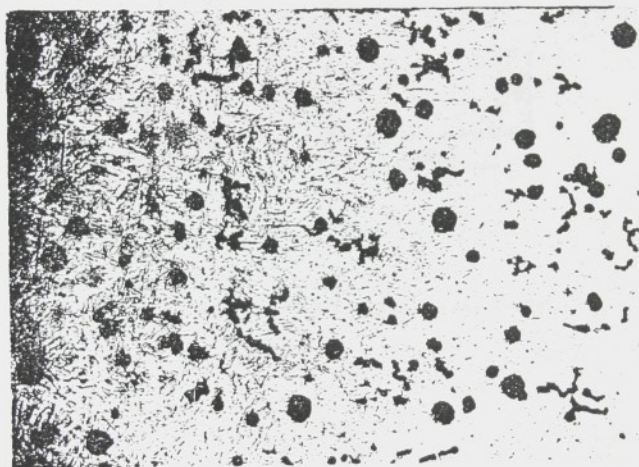
K praktickému provozování uvedené metody je zapotřebí
ultrazvukový tloušťkoměr /vlastní jej prakticky každé defek-
toskopické nebo revizní pracoviště/, posuvné měřítko, nádoba
s vodou, kalkulačka a stolní bruska. Model vzorkovacího tě-
lesa a zaučení /předvedení metody/ poskytneme.

Literatura :

- [1] Skrbek, Bechný, Meško : Ultrazvuková diagnostika účinku
modifikátoru, Očkovadla a předslitiny, X.konference 1988.
- [2] Skrbek : Nedestruktivní materiálová diagnostika litino-
vých odlitků, kandid. disert. práce, Jablonec 1988.
- [3] Skrbek : Výfuková potrubí - UZ identif. grafitu, výzk.

zpr. LIAZ 337-7-Sk/89.

- [4] Picálek, Kropě, Frčka : Kontrola nodularity tvárné litiny před odléváním na základě měření tepelné vodivosti, konference NETES 89, ČSVTS ŠKODA PLZEŇ 12/1989.
- [5] Svoboda, Polenkova : Operativní kontrola modifikace litiny s červik. grafitem transformátorovou metodou, Slévárnictví 3/1990 str. 103-105.



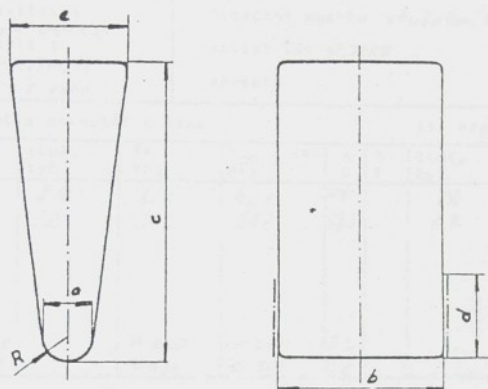
Obr. 2 : Příklad struktury vzorkovacího tělesa s martenzitickou základní kovovou hmotou /A0 256 324/

NITAL

zv. 100x.

$v_L = 5341 \text{ m/s}$

obr. 1. V - BLOČEK PRO ULTRAZVUKOVOU TAVEBNÍ
ZKOUŠKU LITIN



----- VZÁJEMNĚ ROVNODĚŽNÉ PLOCHY /BEZ ÚKOSU/

LIAZ 10-250	ZKUŠEBNÍ PROTOKOL č. 198-5 <i>SL/91</i>																																																																									
Objednavatel : <i>metallurgie 04-131</i> Objednávka : <i>04-131/08/91/V.1.51</i> Datum : <i>2.5.1991</i>	Označení vzorku <i>zkušební blok V1 a. 8; tělesa VI, II</i> Jakost ČSN 42 2305 Výrobky Tavná č.: <i>3.5.1991</i> Datum : <i>22.5.1991</i>																																																																									
I. Zkouška pevnosti v tahu II. Vrubová houževnatost																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Vzorek</th> <th>Zkuš. tyč</th> <th>R_m MPa</th> <th>R_{p0,2} Re MPa</th> <th>A %</th> <th>Z %</th> <th>Zkuš. tyč</th> <th>KC J/cm²</th> <th>KCU J/cm²</th> <th>Tvrd. HB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Y1</td> <td>8A</td> <td>602</td> <td>424</td> <td>15</td> <td></td> <td>8A</td> <td>88</td> <td></td> <td>207</td> </tr> <tr> <td>8B</td> <td>566</td> <td>396</td> <td>13</td> <td></td> <td>8B</td> <td>69,9</td> <td></td> <td>209</td> </tr> <tr> <td>422306</td> <td></td> <td>≥ 600</td> <td>≥ 370</td> <td>≥ 3</td> <td></td> <td></td> <td>≥ 35</td> <td></td> <td>190-270</td> </tr> <tr> <td>422305</td> <td></td> <td>≥ 500</td> <td>≥ 320</td> <td>≥ 7</td> <td></td> <td></td> <td>≥ 50</td> <td></td> <td>170-190</td> </tr> </tbody> </table>	Vzorek	Zkuš. tyč	R _m MPa	R _{p0,2} Re MPa	A %	Z %	Zkuš. tyč	KC J/cm ²	KCU J/cm ²	Tvrd. HB	Y1	8A	602	424	15		8A	88		207	8B	566	396	13		8B	69,9		209	422306		≥ 600	≥ 370	≥ 3			≥ 35		190-270	422305		≥ 500	≥ 320	≥ 7			≥ 50		170-190	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Vzorek</th> <th>C</th> <th>Mn</th> <th>Si</th> <th>P</th> <th>S</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>Pozn.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>/</td> <td>3,63</td> <td>0,38</td> <td>3,1</td> <td>0,065</td> <td>0,002</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Vzorek	C	Mn	Si	P	S						Pozn.	/	3,63	0,38	3,1	0,065	0,002						
Vzorek	Zkuš. tyč	R _m MPa	R _{p0,2} Re MPa	A %	Z %	Zkuš. tyč	KC J/cm ²	KCU J/cm ²	Tvrd. HB																																																																	
Y1	8A	602	424	15		8A	88		207																																																																	
	8B	566	396	13		8B	69,9		209																																																																	
422306		≥ 600	≥ 370	≥ 3			≥ 35		190-270																																																																	
422305		≥ 500	≥ 320	≥ 7			≥ 50		170-190																																																																	
Vzorek	C	Mn	Si	P	S						Pozn.																																																															
/	3,63	0,38	3,1	0,065	0,002																																																																					
III. Ostatní zkoušky-nedestruktivní-homogenita-vady																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Vzorek</th> <th>Rychlost v / 1/s</th> <th>zvuku v / m/s</th> <th>Modul E / GPa</th> <th>Zbytk.mag. M</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y1</td> <td>0,952</td> <td>5648</td> <td>166</td> <td>19,2</td> <td>V_h ≥ 5550</td> </tr> <tr> <td>VI</td> <td>0,9259</td> <td>5490</td> <td></td> <td></td> <td>V_h ≥ 5400</td> </tr> <tr> <td>VII</td> <td>0,919</td> <td>5449</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>422305</td> <td></td> <td></td> <td>≥ 160</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Vzorek	Rychlost v / 1/s	zvuku v / m/s	Modul E / GPa	Zbytk.mag. M		Y1	0,952	5648	166	19,2	V _h ≥ 5550	VI	0,9259	5490			V _h ≥ 5400	VII	0,919	5449				422305			≥ 160			IV. Metalografický rozbor																																											
Vzorek	Rychlost v / 1/s	zvuku v / m/s	Modul E / GPa	Zbytk.mag. M																																																																						
Y1	0,952	5648	166	19,2	V _h ≥ 5550																																																																					
VI	0,9259	5490			V _h ≥ 5400																																																																					
VII	0,919	5449																																																																								
422305			≥ 160																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Vzorek</th> <th>Perlit</th> <th>Cementit</th> <th>Grafit</th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8B</td> <td>< P10</td> <td>0</td> <td>0,06-0,10%</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>/</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Vzorek	Perlit	Cementit	Grafit				8B	< P10	0	0,06-0,10%				/							V. Závěr																																																				
Vzorek	Perlit	Cementit	Grafit																																																																							
8B	< P10	0	0,06-0,10%																																																																							
/																																																																										
vyhovuje 42 2305 nevyhovuje Vypracoval : <i>[Signature]</i> <i>Ing. B. Škrábek, et al.</i> podpis - razítko																																																																										



DOM TECHNIKY ZSVTS BRATISLAVA

4. MEDZINÁRODNÁ ŠKOLA DEFEKTOSKOPIE

BRATISLAVA 213101/91

s přesností $\pm 5\%$. Nastavitelné zesílení činí 20 až 70 dB s krokem 1 dB. Měřené parametry lze zobrazovat jednak v číselném tvaru, ale také v grafickém tvaru (způsoby: - bod přípojnice, sinusově, - paměťové a bodové), což následně přispívá ke snadné klasifikovatelnosti získaných závad.

Postup měření (porovnávací metoda)

Do středu jednoho ze snímačů (referenční) se zavede referenční nezávadný díl. Do středu druhého snímače (měřicí) se zavade druhý díl, přitom polohy umístění součástí ve snímačích musí být identické. Následně se vykoná vyrovnání na slabé zesílení, tzn. na způsob bod-přípojnice. Je potřebné dovést bod do středu ohniskové destičky, nebo do libovolného bodu, který byl zvolen jako referenční. Dále je potřeba do měřicího snímače zavádět další součásti. Přitom poloha bodu v poměru k referenčnímu nezávadnému dílu. Pokud rozlišovací schopnost není dostatečná, je potřebné zvýšit rozsah měření.

2. Závěr

Z praktického provozního nasazení uvedeného měřicího přístroje se ukazuje, že také tento druh měřicího přístroje vede stávajících měřicích přístrojů, např. zn. Vitometer 5022 fy. Karl Deutsch aj., může úspěšně přispět ke zvýšení tolik potřebné kvality strojírenské výroby, a to především v plně automatizovaných provozech.

Literatura

- /1/ MANDÁK, J. a kol.: Využití elektroinduktivní metody ke zkvalitnění jakosti součástí speciální výroby. Sborník VVTŠ Lipt. Mikuláš, č. 2, 1985
- /2/ Firoční prospekt měřicího přístroje EC 5000 MES Alcatel, Francie 1989

D. SKRDEK, J. WEISS
ČSFR

PŘÍSPĚVEK NEDESTRUKTIVNÍ KONTROLY K ZVYŠOVÁNÍ JAKOSTI ODLITKŮ Z TVÁRNÉ LITINY

Tvárná litina úspěšně nahrazuje litou ocel, v některých případech lze odlitky z tvárné litiny nahradit i ocelové výkovky. Tvárná litina obsahuje grafit vyloučený ve tvaru kuliček, které oslabují okolní "ocelovou" kovovou hmotu podstatně méně jak lupínky grafitu šedé litiny.

Ekonomické přínosy, které plynou z nižší energetické náročnosti výroby a nižší hmotnosti odlitků, z lepší obrobiteľnosti, jsou však podmíněny přesnějším chemickým složením a dávkováním surovin, přesným dodržováním metalurgického postupu výroby tvárné litiny, zejména ve fázi modifikace (legování hořčíkem). Proto snad také podíl tvárné litiny ze slévarenských slitin železa je v hospodářsky vyspělých zemích (např. GNR, Japonsko) mnohonásobně vyšší než v zemích střední a východní Evropy.

K spolehlivé a efektivní výrobě tvárné litiny tak vede jen dokonalý systém kontroly, v kterém významnou roli mají nedestruktivní postupy a to od fáze přípravy tekutého kovu až po ověřování jakosti odlitků z reklamací.

Kontrola tekuté litiny

Téma metod ke kontrole tekuté litiny, zejména operace modifikace, je na samostatnou přednášku. V kratosti se zmíníme o dvou u nás běžně aplikovatelných, ale dosud nedostatečně využívaných metodách.

Rychle a bez speciálního vybavení se o výsledku modifikace dozvíme ultrazvukovou rychlostkovou /1/. Tavič odlije ihned po modifikaci vzorkovací těleso - viz obr. 1, které po 3 min. tuhnutí zakalí do vody. Pak se mezi čely tělesa změní posuvným měřítkem vzdálenost L a ultrazvukovým tloušťkoměrem L_u . Rychlost zvuku v_L v m/s:

$$v_L = 5930 \cdot \frac{L}{L_u}$$

Při martenzitické kovové hmotě tvárné litiny je kritická hodnota $v_L = 5400$ m/s pro určitý rozsah chemického složení litiny.

Celá kontrolní operace netrvá déle jak 3 min. Tím předejdeme ekonomickým ztrátám. Lze ještě upravit složení litiny.

Okamžité výsledky dává metoda, při které se sledují průběhy střídavé elektrické vodivosti během tuhnutí odlitku - vzorkovacího tělesa - ve tvaru sekundárního závitu transformátoru /3/. Princip metody a typické průběhy vodivosti předkládá obr. 2. Zařízení vyvinulo a vyrábí přístrojové oddělení SVÚM.

V slévárenské praxi se však obvykle kev odlíje bez zkoušení do forem a čeká se až na výsledek metalografického rozboru. Pokud se nemodifikuje v pánvi, ale modifikátor se vkládá před litím přímo do formy, je třeba kontrolovat každý odlitek; nelze uvedenou metodu uplatnit.

Kontrola odlitků

Expedované odlitky musí odpovídat TPP (technickým předjímáním podmínek) mezi slévárnou a odběratelem. Mají být značeny podle taveb. Ke každé tavně se přilévají zkušební Y-bloky, z kterých se obrobí zkušební tyče pro stanovení pevnosti v tahu R_m , tvrdosti HB aj. mech. vlastností a pro určení struktury. Nedestruktivními metodami můžeme strukturněmechanické vlastnosti přímo na Y-blocích nepřímo změřit s dostatečnou přesností /14/. Podstatné se tak zproduktivní práce provozních laboratorů. Tímto měřením samozřejmě nelze zcela nahradit klasické mechanické zkoušky, které jsou stále pro TPP určující, ale umožní podstatně snížit jejich množství při velkém množství denních taveb.

Impulzní odrazovou ultrazvukovou metodou lze zadaným způsobem změřit na Y-bloku rychlost zvuku. Konkrétní hodnotě této rychlosti v_L je přiřazen určitý tvar či podíl dvou tvarů grafitu v litině (kulíkovitý, červíkovitý, lupínkový) /6/.

Pokud tvar grafitu vyhovuje, tak měřením zbytkového magnetizmu přílohou sondou se stanoví přístroji řady Remag podíl perlitu ve struktuře a tím i HB a R_m tvárné litiny /7/. Měření lze provádět přes iací kůru na otryskaném povrchu.

Na sériově vyráběných odlitcích je nanovysvětleno měření tvrdosti u důležitých položek.

V hromadné a velkosériové výrobě se ke kontrole tvaru grafitu uplatňují ve vyspělých zemích výhradně akustické metody.

Odlitek se při zkoušce rezezní úderem nebo akustickým generátorem o proměnlivé frekvenci. Zvukový analyzátor pak změří rezonanční kmitočet a útlum odlitku. Tyto veličiny jednoznačně charakterizují tvar a podíl urč. tvaru grafitu ve struktuře litiny odlitku, pokud se neliší tvarem a hmotností (více jak $\pm 3\%$). Touto metodou se např. zavádí kontrola výfukových potrubí vozů Favorit /13/.

Měření rychlosti zvuku k hodnocení grafitu v litině se používá při proměřování velkých odlitků nebo při kusové, malosériové výrobě odlitků.

Nedestruktivní testování struktury se v podmínkách čs. výroby prakticky na rozdíl od hospodářsky vyspělých zemí nerozšířilo. Pronikání zahraničního kapitálu a licencí však tento stav mění.

V současnosti se rozvíjí způsoby více-parametrové magnetické analýzy /8/ při měření litinových vzorků. Tato měření jsou schopna současně vyhodnotit char. grafitu i základní kovové hmoty (např. množství perlitu).

Vizuální stoprocentní kontrola odlitků na slévárenské tvarové vnější vady se provádí v každé slévárně. Tyto vady jsou standardizovány a jejich výskyt je vymezen TPP. Rovněž vnitřní vady (homogenita) jsou standardizovány a jejich vymezení v TPP úzce souvisí s velikostí ceny odlitků. Rozznáváme čtyři stupně kvantitativní velikosti vad. Jejich hodnocení podle radiogramů /10/ nebo ultrazvukových ech /12/ u silnostěnných odlitků vyžaduje zkušenost. Pokud vady nevystupují po obrobení na povrch, není jejich vliv na dynamickou pevnost odlitku podstatný. Proto se odběratelé snaží vystačit s 3. nebo 4. st. homogenity. Je problematické kontrolovat 100 % odlitků na vnitřní vady při větších sériích. 100 % odlitků umožní zkontrolovat hodnocení podle normy /11/. Má praktický význam, neboť kritériem homogenity je množství vad vystupujících na obrobených plochách (jsou nebezpečnější jak vnitřní vady).

Závěr

Nedestruktivní kontrola odlitků je v ČSFR zaměřena především na kontrolu vnitřní homogenity radioskopicky nebo ultrazvukem; je předmětem standardizace.

Nedestruktivní diagnostika strukturněmechanických vlastností odlitků z tvárné

litiny ve výrobních podmínkách není dosta-
tečně rozšířena. Přitom se pro tuto diag-
nostiku přístroje dají koupit i v tuzemsku.
Přístroje Hemag 3 řízené mikroprocesorem
vyrábí SVÚM Brno. Ultrazvukové tloušťkoměry
lze objednat na katedře fyziky EF ČVUT Pra-
ha, SVÚS Praha aj.

Pro více zájemců lze vyrobit mikropro-
cesorem řízený UZ tloušťkoměr /4/ spojený
s elektronickým posuvným měřítkem /5/
k přímému určení rychlosti zvuku nebo gra-
fitu litiny.

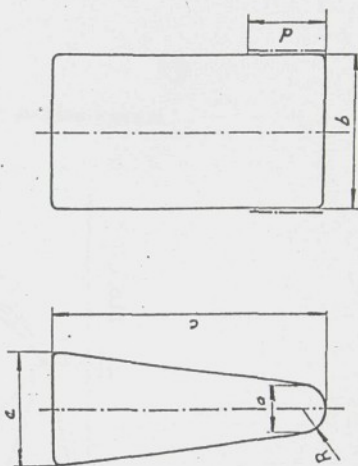
Mikropočítačem řízený přístroj SYLIT
/9/ umožňuje navíc hodnocení kovové hmoty
metodou zbytkového magnozitu (při současném
měření grafitu ultrazvukem). Opakovanou vý-
robu zajišťí SVÚM Brno.

Literatura

- /1/ SKRBEK, B.: Vzorovací těleso, A0
č. 256324 z 30. 12. 1987
- /2/ PICÁLEK, J., TRČKA, J.: Zjišťování tva-
ru grafitu na základě měření relativní
tepelné vodivosti litiny, II. metalur-
gické symposium, DT ZSVTS, Žilina 1990
- /3/ SYVOBODA, A., ŠEŠTÁKOVÁ, E.: Operativní
kontrola modifikace litiny transforma-
torovou metodou. Slévárnictví 1990,
č. 3, s. 103-105
- /4/ BÁLEK, R., VALENTA, J.: Zařízení pro
přímé stanovení rychlosti zvuku v od-
lících z grafitických litin, řešení
TÚ10-2/87 LIAZ
- /5/ DĚDEK, B.: Posuvné měřítko s digitálním
výstupem, řešení TÚ10-13/88 LIAZ
- /6/ SKRBEK, B., DECHNÝ, L., MEŠKO, J.:
Ultrazvuková diagnostika účinku modifi-
kátoru, konference Učkovadla a předslit-
tiny, DT ČSVTS Žilina 1988
- /7/ Výzkum a vývoj metody příložených sníma-
čů pro kontrolu strukturálních vlastností
rozměrných odlitků, záv. zpráva úkolu
P14-123-204/04-E04, SVÚM Brno
- /8/ HENRYON, VIAN, DURUPT: Caractéristique
des paramètres structuraux de la fonte
à graphite sphéroïdal par méthode du
traitement microprocesseur des mesura-
ges magnétiques, Fonderie, Nr. 51, 1986,
s. 15-19
- /9/ RYŠAVÝ, R.: Přídavné zařízení pro kom-
pletaci systému SYLIT, technická doku-
mentace, SVÚM, Brno 1990
- /10/ PN 03 6301: Hodnocení jakosti odlitků
z oceli a tvárné litiny podle radiogra-
mů, Brno "Slatina"
- /11/ PN 42 0016: Hodnocení odlitků z tvárné
litiny vizuální kontrolou na obroběné

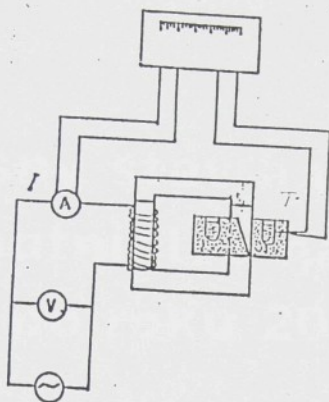
ploše, MŽ Olomouc

- /12/ MDS 8/88: Směrnice "Ultrazvuková kon-
trola odlitků z nelegované tvárné li-
tiny", ČKD Praha
- /13/ HOLMGREN, M.: Rezonanční testování při
kontrolě struktury litiny. 53 světový
alévárenský kongres, Praha 1986
- /14/ SKRBEK, B.: Nedestruktivní materiálo-
vá diagnostika litinových odlitků.
Kandidátská disertační práce, Jablo-
nec 1988



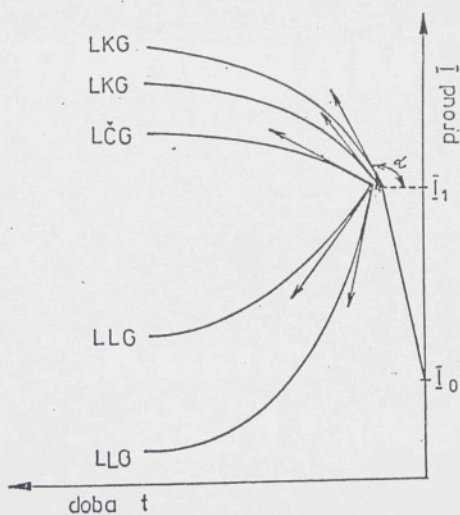
VZÁJEMNĚ ROVNODĚLNÉ PLOCHY /BEZ ÚKOSU/

Obr. 1
Vzorovací těleso pro ultrazvukovou rychlo-
zkoušku litin



Obr. 2A

Princip měření el. odporu v průběhu tuhnutí transformátorovou metodou



Obr. 2B

Typické průběhy závislosti $I = f(t)$ protuhňující vzorky z tvárné litiny - LKG, litiny s červíkovitým grafitem LČG a šedé litiny - LLG

Hutnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach
Pobočka Slovenskej hutníckej spoločnosti pri HF

organizujú

konferenciu a zjazd absolventov

Súčasný stav a prognózy rozvoja hutníctva na Slovensku po roku 2000

pri príležitosti 45. výročia založenia Hutníckej fakulty
Technickej univerzity v Košiciach



PROGRAM

Košice

21. – 23. 1. 1997



Miesto konania poslucháreň ZP – 2

Predsedenstvo

Prof. Ing. Viktor Zábavník, CSc.
Doc. Ing. Jozef Billy, CSc.

- 8:50 Longauerová M., Fújda M.: Vplyv prímiesí na vlastnosti plynu-
le odlievaných brám
- 9:00 Mišičko R.: Primárna štruktúra plynu odlievaných brám
- 9:10 Výrostková A., Janovec J., Škultéty, Šmejkal V.: Deformač-
ne indukovaná precipitácia AlN v hliníkom ukladných oce-
liach vyrábaných v EOP
- 9:20 Valas J., Zela L.: Metodický prístup k riešeniu kvality výroby hlu-
bokotlačných oceľí v podmienkach valcovania za studena
- 9:30 Billy J., Šimčák F., Štefan B.: Parametre ovplyvňujúce lisova-
teľnosť karoseriových plechov
- 9:40 Horňák P., Zrník J., Kováč F., Nižník Š.: Textúra a subštruk-
túra Si oceľí s orientovaným zrním
- 9:50 László T., Šimon A., Vesel I.: Súčasný stav vývoja nízko-
legovaných oceľí so zvýšenou odolnosťou voči atmosférickej
korózii vo VŠZ a. s. Košice
- 10:00 Skrbek B.: Kvalita železných materiálov ve vzťahu k spoleh-
livosti motoru
- 10:10 Zábavník V., Horňák P.: Niektoré poznatky o vlastnostiach nít-
ridovaných vrstiev návarov nástrojov pre prácu za tepla
- 10:20 Jankura D.: Štruktúra a odolnosť návarov proti opotrebeniu
- 10:30 Tuleja S., Kocich J., Ševčíková J.: Atmosférická korózia oceľí
- 10:40 Ševčíková J., Kocich J., Titková K.: Potenciometrické sledo-
vanie atmosférickej korózie oceľí
- 10:50 Kocich J.: Významná úloha zinku pri ochrane proti korózii

11:00 – 11:30 Prestávka – občerstvenie

Predsedenstvo

Prof. Ing. Jozef Zrník, CSc.
Doc. Ing. Pavel Hroch, CSc.

- 11:30 Lukáč I., Hroch P.: Nové zliatiny na báze Cu s vysokou elek-
trickou vodivosťou a mechanickou obrobitelnosťou
- 11:40 Jakubeczyová D., Fáberová M., Miškovíčová M.: Progresívne
technológie PM pri výrobe vysokokvalitných rezných materiálov
- 11:50 Pokusová M., Podhorský Š., Poláček L.: Elektromagnetické
ovplyvnenie procesu tuhnutia technicky čistého hliníka
- 12:00 Zrník J., Horňák P., Vrchovinský V.: Stabilita štruktúry
Ni-superzliatiny v podmienkach tepelnej únavy
- 12:10 Šupík V., Paľček P.: Amplitúdová závislosť vnútorného tlmenia
v kompozitnom materiáli Al–Al₂O₃
- 12:20 Kurša M., Drapala J., Hyspecká L.: Štruktúra a vlastnosti
intermetalické sloučeniny Ni₃Al
- 12:30 Solyom A.: Rýchlochlodené mikrokryštalické zliatiny na báze
Fe 6,5% Si
- 12:40 Miškul J.: Porušovanie FeNiB, NiP amorfnej dvojvrstvej
pásky
- 12:50 Mieres M.: Safargam NG2 – Silitina pro dentální amalgam bez
fáze
- 13:00 Mašlejová A., Jusko P., Kmec G.: Modelovanie korózneho
opotrebenia žiarobetonov
- 13:10 Pešek L.: Katedra náuky o materiáloch na Hutníckej fakulte TU
v Košiciach
- 13:20 Ukončenie zasadania

KVALITA MATERIÁLU SOUČÁSTÍ VE VZTAHU KE SPOLEHLIVOSTI MOTORU

Skrbek Brětislav

Vyvoj motorů, ŠKODA LIAZ a. s., Jablonec nad Nisou

Abstrakt

Na základě praktických zkušeností jsou stručně uvedeny kritické materiálové parametry polotvarů součástí které souvisí s dostatečnou spolehlivostí vznětového motoru špičkových užitných parametrů. Probrány jsou některé odlitky. Upozornění na dodavatele.

1. Úvod

Vznětový motor se skládá ze stovek součástí, mezi kterými podstatnou roli mají kovové díly vyrobené z polotvarů od hutí a slévaren.

Spolehlivost motoru vyjádřená životností v statisících ujetých km (pokud slouží ve vozidle) nebo tisíce hodin provozu (pokud pracuje ve stacionárním stroji) nezávisí jen na perfektním provedení opracování a montáže, nýbrž také na optimálních strukturálních mechanických vlastnostech a vadách polotvaru jednotlivých dílů. Jejich specifikaci a přípustnou toleranci musí obsahovat výkres nebo TPP (technické přejímací podmínky).

Nové typy motorů splňují přísnější ekologické a výkonové požadavky. Velká část dílů se rozměrově dědí (minimalizace nákladů na zavedení do výroby). Na základě výpočtů a praktických zkušeností se však optimálně změnil požadavky na materiál, zintenzivnil se kontrolní činnost a TPP.

V tomto příspěvku právě uvádím stručně některé související příklady změn požadavků na materiál konkrétních litych dílů. Výpis všech dílů (tyče, výkovky ap.) by nepřipustně překročil mezní rozsah příspěvku.

2. Blok válců

Bloky válců tvoří hlavní nosnou součást motoru. Odlitek bloku (o hmotnosti cca 350kg) řadového přeplňovaného šestiválce chlazeného vodou ŠKODA LIAZ o obsahu válců 12 litrů a výkonu až

300kW je relativně tenkostěnný (7 až 20mm) se složitými krystalizačními poměry při tuhnutí ve formě [1]. Proto na mechanické vlastnosti jednotlivých partií nelze usuzovat z materiálového listu příslušné normy (42 2425 / šedá perlitická litina) nebo přilité zkušební tyče. Běžné kontrolní místo kvality litiny bloku na desce sezení hlav válců se ukázalo jako nedostatečné. Provozní deformace tvaru bloku mesouvisela s kvalitou této partie [2]. Bylo nutno vyvinout a nasadit nedestruktivní zmapování struktury části produkce bloků. Jako strukturně nejcitlivější na odchylky v metalurgii litiny se projevíly vnitřní namáhané meziválcové přepážky. Jejich vlastnosti souvisely s deformacemi, ale i se surovinovými vstupy a nekázni ve slévárně.

Aplikovali jsme kombinovanou kontrolní metodu ultrazvukovým tloušťkoměrem (k stanovení charakteristik grafitu / modulu pružnosti E) a bodového magnetického pólu přístrojem DOMENA 2 (ELKOSO s. r. o. Brno / k stanovení vlastností matrice, tzn. obsahu feritu a tvrdosti) Veličiny stanovené oběma metodami pak sloužily k výpočtu pevnosti R_m litiny v přepážkách.

Na výkrese bloku válců bylo nutno předepsat mezní vlastnosti litiny pro vnitřní přepážky (ferit max. 20%, $R_m > 250 \text{ MPa}$). Nakonec jsme byli nuceni předejít kolísání mechanických vlastností v přepážkách zavedením nízkého legování CuCrNi.

3. Ostatní odlitky

Hlavy válců se odlévají rovněž z šedé litiny 42 2425. Odlitek je však kompaktnější. U dvouválcové hlavy nebylo nutno přistoupit k legování. To však bylo nutno zavést u podstatně složitější sestívalcové hlavy motoru E III.

Víka ložisek klikového hřídele jsou poměrně silnostěnné (40 mm) odlitky ze šedé litiny. Dosud se vystačilo s prostým měřením tvrdosti [3]. Stálost uložení klikového hřídele však nezávísí na povrchové tvrdosti, nýbrž na tuhosti průřezu vika. Měřitkem tuhosti je modul pružnosti E. Kritickým parametrem na výkrese vik se tedy stala hodnota $E > 120 \text{ GPa}$. Kontrola E se jednoduše provádí ultrazvukovým tloušťkoměrem s grafickým displejem T-SCOPE DL (TSI SYSTEM s. r. o., Brno) [4].

Vložené válce z nízkolegované šedé litiny se odlévají odstředivě do skořepin. Namáhány jsou pulzy ze spalovacího prostoru a korozně iniciovanou kavitací z "vodní" strany chlazení. Kritickým parametrem pro tato namáhání se stal vrubový účinek grafitu a únavová pevnost matrice. Zlepšení podmínilo předepsání o stupeň jemnějšího grafitu G1A přechodem na lití do kokil a změnou očkování. Perspektivně by se uplatnila LČG s bainitickou matricí. LKG nelze na vložené válce uplatnit pro špatné kluzné vlastnosti v dvojici s pístem.

Oběžné kolo vodního čerpadla je tenkostěnný odlitek (2,5 mm - 5 mm) ze šedé litiny namáháný na ohyb (lopatky) a kavitací. Běžně se odlévalo z nízkojakostní litiny nebo ze zabělené litiny s řiháním na rozpad cementitu (feritická matrice). Dosáhnout dnešní požadavku - $R_m > 250 \text{ MPa}$ bez zakalek v lopatkách se daří slévárnám obtížně. V tomto směru nejlépe obstála slévárna TAZ Trnava.

Vyšší teploty výfukových plynů (až 700°C) nutí aplikovat místo šedé litiny na výfuková potrubí feritickou litinu s kuličkovým grafitem (LKG).

Zdvihátka ventilů ve tvaru hříbku se odlévají ze šedé litiny funkční plochou na kovovou desku k získání bílé zakalky. Vačky více zakřivené působí vyšší kontaktní pulzy na zdvihátka. Požadavek na homogenní zákalku 3,5 až 6 mm není pro slévárnu snadný. Protože zavedení 100% kontroly hloubky zákalek není s polehlivě řešitelné, provádíme náhradu jistým ale dražším řešením. Ocelová zdvihátka s pájenou destičkou SK plátku. Ultrazvuková kontrola pájení je snadno proveditelná [6]. Mezní nespojení má průměr 2 mm.

Píst je lity a vytvrzený ze slitiny AlSiMgCu . Zvýšené mechanické a tepelné namáhání se neprojevovalo zvýšením potřeby kvalitnějšího materiálu, ale potřebou odstranění vrubového a tepelněizolačního vlivu vnitřních vad (nečistot), které souvisely s nedokonalým zaléváním nosiče pístního kroužku z litiny typu NIREZIST. Pleny oxidů se vyskytovaly několik desetin mm za rozhraním litina/Al slitina. Slévárna musí aplikovat ultrazvukovou kontrolu oblasti nosiče pístního kroužku. Byla specifikována mezní velikost vady

Literatura

- [1] Exner, Čech, Rusin: O některých fyzikálních vlastnostech dynamicky namáhaných automobilních odlitků ze šedé litiny, 40. světový slévarenský kongres, Chicago 4/1982.
- [2] Skrbek B.: Statistická provozní kontrola materiálu blok; válc; kombinovsnou nedestruktivní metodou, IV. mezinárodní metalurgické szmposium, Rajecké Teplice 6/96.
- [3] Skrbek B.: Vztah rychlosti zvuku, tloušťky stěn a drsnosti obrobených ploch litinových odlitků, DEFECTOSKOPIE '93, Tabor 11/93.
- [4] Skrbek, Keller L.: Zkoušení odlitků z litiny ultrazvukovým tloušťkoměrem s grafickým displejem, Bulletin NDT ČR 3/94.
- [5] Skrbek B.: Vložené válce motorů LIAZ - životnost, interní zpráva ŠKODA LIAZ, č. 96030206.
- [6] Regazzo R., Regazzová M.: Ultrazvuková kontrola kvality pájení talířových zdvihátek ventilů, Zvaranie 2/91.

Československá společnost pro nedestruktivní testování
Firma Meetings and Courses České Budějovice

DEFEKTOSKOPIE 91



říjen 1991

ZLÍN

Popsané přístroje představují z hlediska výhodnocování cích metod pružný systém, umožňující přizpůsobit celkové řešení požadovaným zkušební úlohám. Podle náročnosti zadání je možné volit vhodné metody zpracování měřicích dat a výkonnost použitého řídicího počítače.

Přístroje typu MELVIS jsou určeny zejména pro průmyslovou kontrolu strukturně mechanického stavu materiálu v libovolné formě polotovaru nebo výrobků. Zvolená koncepce obvodového řešení umožňuje připojit několik jednotek MELVIS k jednomu nadřazenému počítači. Tak lze zajistit současně zkoušení tvarově složitých součástí v několika oblastech nebo řízení několika zkušebních úloh z jednoho ovládacího místa.

Přístroj typu MELHYS je orientován zejména pro využití při laboratorním výzkumu a hodnocení vlastností kovových materiálů. Jeho výhodou je zejména velká citlivost na mikroskopické změny v pohybu a zakotvení dislokací v materiálu. Další vývoj tohoto přístroje bude zejména v oblasti rozpoznávacích metod, aby bylo možné zajistit automatické stanovení změn ve strukturně mechanickém stavu materiálu.

LITERATURA

[1] Chytrý, I., Keller, L.: Nedestruktivní kontrola polotovarů elektromagnetickým strukturoskopem MELVIS. In: Sborník Defektoskopie '90, DT ČSVTS, Ostrava 1990, str. 208 - 215.

[2] Keller, L., Staněk, P., Bogr, J.: Nondestructive multiparameter determination of metallic materials structural mechanic state. In: Proc. 12th WCNDT, ed. J. Boogaard and G. M. van Dijk, Elsevier, Amsterdam 1989, str. 1462 - 1467.

[3] Keller, L., Staněk, P.: Způsob nedestruktivního víceparametrového zjišťování strukturně mechanického stavu kovových materiálů a zařízení k provádění tohoto způsobu. ČS pat. přihl. PV 2477-89, DE Pat. Appl. 40 11 588.7, GB Pat. Appl. 9008783.4.

[4] Lutz, H., Sy, D.: Integration of mathematical-statistical evaluation methods in automatic quality control leads to new application areas of magneto-inductive tests. In: Proc. 12th WCNDT, ed. J. Boogaard and G. M. van Dijk, Elsevier, Amsterdam 1989, str. 1324 - 1327.

KONTROLA ZDVÍHÁTEK VENTILŮ POLÉVACÍ METODOU S IMPULSNÍ MAGNETIZACÍ

Ing. Břetislav Skrbek, ČSC
Ing. Petr Polojník
LIAZ s.p. Jablonec n/N

Hospodářské přeměny současně doby v našem státě provádí těž odbovová krize automobilového průmyslu. Ve výrobě nákladních automobilů proto nyní v datě větších míře je třeba dbát mimo jiné i na spolehlivost a kvalitu jednotlivých dílů.

Z průzkumu provedeného v opravách motorů LIAZ vyplývá např. potřeba radikálně zvýšit spolehlivost zdvihátek ventilů. Kromě jiných opatření /např. úpravy chem. složení opraty ONA 302205, zavedení iontové nitrace/ byla od počátku roku 1991 zavedena stoprocentní kontrola funkce plochy talířků zdvihátek ventilů na povrchové vady. Způsob kontroly, popis zařízení a rozbor jeho půlročního provozního nasazení jsou náplní tohoto příspěvku.

Zdvihátka ventilů /obr. 1/

Zdvihátka ventilů jsou důležitými součástmi rozvodu vzduchových motorů LIAZ. Převádí rotační pohyb vaček vačkového hřídele na posuvný pohyb ventilů. Každý motor obsahuje je dvanáct zdvihátek. Čárová kontaktní plocha a adhezivní těsnění je mezi vačkou a čelní plochou talířku zdvihátka. Právě tyto kontaktní plochy jsou kritickými místy obou součástí.

Material zdvihátek je speciální šedá litina dle ONA 3022005.

Chemické složení :

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
3,40-3,73	1,70	0,80	0,15	max.	0,25	0,40
2,00	1,00	0,20	0,05	0,45	0,60	

Čelní plochu talířku zdvihátka tvoří bílá litina,

která vzniká litím zdvihátek na kovovou desku, o předepsané tvrdosti 50 - 57 HRC. Nesmí obsahovat strukturační a povrchové vady.

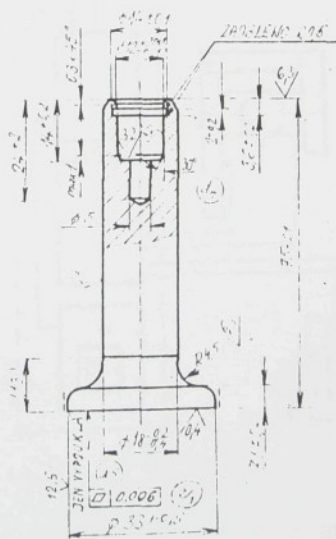
Vačkový hřidel dle ČSN 302220 se vyrábí z zhlíkové

oceli 12051.3 o chem. složení :

C	Si	Mn	P	S
0,48-0,55	0,2-0,35	0,6-0,85		max. 0,035

Vačky /sací/ a výfukové/ a čepy ložísek vačkového hřídele se indukčně povrchově kalí do hloubky 1-3 mm na tvrdost 60 ± 2 HRC a kontrolují na povrchové vady klasickou magnetickou polévací metodou s černou indikační tekutinou.

Kromě materiálových nehomogenit plynoucích ze slévárenské výroby mohou se vyskytovat na čelní ploše zavíhaček praskliny. Potenciálním nebezpečím jsou talové prnutí, která vznikají bílou krystalizací litiny /ledeburitu/ a technologická nekážení při broušení čelních ploch. Tyto praskliny nejsou obvykle prostým okem pozorovatelné.



obr. 1 : Zdvihátko ventilu

Zkušební metoda

Ke kontrole železných ploch "kalířků" zdvihátek na povrchové vady bylo přistoupeno až po ověření několika metod. Hlavní byla dostatečná citlivost a produktivita /při plné výrobě 1500 až 2000 zdvihátek denně/.

Použití např. elektroinduktivní metody by umožňovalo plnou automatizaci kontrolní operace. Dostatečná citlivost této jinak osvědčené metody /na ocelích/ byla rušena hrubou slusovacítou strukturou bílé litiny. Nebylo dosaženo spolehlivých indikací vad.

Kapilární metoda při využití tužských prostředků /INDIKAL/ nevykazovala dostatečnou citlivost. Metoda zneisťuje prostředí.

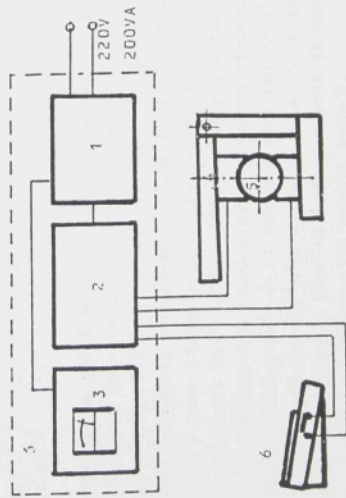
Dostatečnou citlivost ukázala magnetická polévaci metoda s fluorescenční indikační tekutinou. Strádivá magnetizace vyžadovala pozorování každého zdvihadla zvlášť. Zbytečně ne zahrňoval zdvihadla působící stejnosměrná magnetizace. Komerčně vyráběná zařízení jsou drahá.

Hakonec byl uplatněn vlastní způsob magnetické polévací metody, který využívá poměrně vysoké hladiny intenzity remanentního magnetického pole bílé litiny /cementitu Fe_3C /.
Základní úkony kontroly :

- impulzí magnetizace jednotlivých čistých zdvínátek
- palety 35 ks zdvínátek se ponoří do lázně s fluor.
- indukční tekutinou
- čistěná vyhodnocuje pod osvětlovací lampou současně celou paletu zdvínátek
- demagnetizace se děje tepelným zpracováním, neboť při iontonitridaci, která je finální operací, se překračuje Curieho bod.

Zařízení

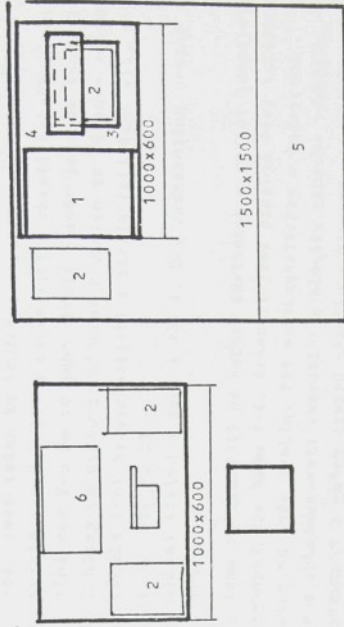
Blokové schéma přístroje pro impulzní magnetizaci zdvihátek 5 předkládá obr. 2. Sestává z : kondenzátorového zdroje 1 proudových impulzů o bezpečnostním napětí, spínací jednotky /tristupňové spínání/2 , kterou obsluhuje ovládacím kontaktem 6 , indikace správné magnetizace 3 , magnetizačního upínacího přípravku 4 . Intenzita impulzů je nastavitelná. Tvar upínacích čelistí směřuje proudové toky zdvihátek tak, aby byly indikovány praskliny všech směrů. V současné době je připravován upínací přípravek s automatickým spínáním proudového impulzu po vyvolání nezbytné upínací síly /vyvozené na magnetovanou součást. Je tím eliminováno především nebezpečí předčasného senutí impulzu obsluhou, které působí opaky. Obsluha při práci sedí u pracovního stolu.



Obr. 2.

Celkový přehled o pracovišti je na obr. 3. Namátecí vana 1 obsahuje 50 l. indikační tekutiny. Paletu se zdvihátek 2 na podstavci a odkpávací vaně 3 pozoruje obsluha ve stoje.

Osvětlovací těleso /s dvěma výbojkami UVK 125-2/ 4 stejně jako zatemňovací box 5 je vlastní konstrukce. Box má zabudováno nuceně odvětrání. Skládá se z kostry a speciální textilie /pohodlná manipulace, otvírání/. Celková plocha pracoviště je cca 4,5 m². Magnetizační pracoviště je ozn. 6 .



Obr. 3.

Pravý

Kontrola zdvihátek popsanou metodou je zařazena jako výrobní operace mezi dokončovací broušení a iontoteriací. Podrobná operační návodka obsahuje čtyři listy popisu přípravy, kontroly práce a popis jednotlivých úkonů s časovým harmonogramem. Při předvádění metody zkontrolovala jedna osoba za 4 hod. 1500 ks zdvihátek ventilů i s přestávkou.

Během provozu od ledna 1991 se podíl zdvihátek s kladnou indikací pohyboval v několika desetících procenta. Na těchto zdvihátkách se vyskytovaly buď jednotlivě krátké /do 5 mm délky/ nebo dlouhé poměrně rovné praskliny nebo

siř typických brusných trhlín.

Přehled o tomto stavu předkládá tabulka 1. Obsluha denně zapisuje výsledky do kontrolní knihy. Může operativně zasahovat do výroby pro zvýšení kvality. Celkem bylo za polovinu roku 1991 zkontrolováno asi 120 tis. ks zdvihátek ventilů.

Tabulka 1.

másic celkem /mm/	Podíl prasklin v %			brusné celkem
	výřazeno dlouhé	krátké	brusné	
1	0,52	44	41	15
2	0,56	25	73	2
3	0,69	41	55	4
4	0,67	2	74	18
5	0,62	32	57	5
6	0,64	32	65	3
$\bar{x}$	0,62	31	61	2
S	6,5-10 ⁻²	13	12,5	6,9

Plouhé praskliny je ještě možno třídit na tečné, zakřivené, procházející celým povrchem.

Metoda je tak citlivá, že zviditelňuje při dobrém namagnetování zdvihátka rastrování /hrubě obráběné kovové desky, na které jsou zdhátka lity, se odráží ve struktuře a magn. vlastnostech bílé litiny/ čelní plochy zdvihátek. Odhalena je každá povrchová vada. Neodpovědnou otázkou je, do jaké míry praskliny ovlivňují spolehlivost zdvihátek ventilů. Vyřazená zdvihátka byla proto po třech od každého druhu praskliny společně s dobrými kusy nasazena do motorové zkoušky na brzdovém stanovišti vývoje motorů.

Po asi 600 hod. provozu /t.j. cca 30 tis. km/ jsme provedli přibližné hodnocení jakosti plochy talířků. Celkově došlo k zviditelnění /rozšíření/ prasklin /obr.4/ v některých případech k jejich rozvětvení. Kritické rozvětvení bylo shledáno zejména u dlouhých prasklin /01/ a u

brusných nástalo počáteční vylanování povrchu /02/. K havarijnímu stavu /rotální destrukci zdvihátka/ motoru zatím nedošlo. Ve zkoušce se pokračuje.

Souvislost struktury a vad

Jak je uvedeno v předchozích kapitolách, jsou jako vadná vyřazována zdvihátka s vadami, které lze rozdělit do několika skupin.

1. Dlouhé rovné trhliny nezasahující až k okraji talířku - směr jako tečna ke kružnici soustředné s talířkem.
2. Krátké rovné trhliny nesaahující k okraji talířku, umístěné cca 2-5 mm od jeho okraje - směr jako ve skup. 1.
3. Trhliny ve tvaru soustředné kružnice se středem zdvihátka.
4. Dlouhé trhliny vycházející z okraje talířku - viz. obr. č. 4, vz. č. 01.
5. Síťaví trhlín - obr. 4 vz. č. 02. Jednoznačně brusné trhliny.

My jsme se zaměřili na rozbor zdvihátek s vadami identifikovanými dle bodu 1-4. Provedli jsme podélné řezu talířkem kolmo na směr trhlín. Při metalografickém vyhodnocení jsme vyhodnocovali charakter a hloubku zákalky zdvihátka, vyloučení prvních útvarů grafitu v zákalce, hloubku a charakter trhlín.

Nejprve jsme u všech vzorků kontrolovali tvrdost funkčního povrchu metodou Hrc se zaměřením na okolí trhlín. Předpis je 50-57 Hrc. Tvrdosti všech vzorků se pohybují v rozsahu 52-57 Hrc, přičemž na jednotlivých zdvihátkách jsou maximálně zjistitelné rozdíly 3 Hrc bez vlivu umístění trhlíny. Tento rozptyl je dán přítomností grafitu v zákalce.

Skupina 1

Sledována 3 zdvihátka. U dvou je výskyt prvních útvarů grafitu v hloubce 0,6 resp. 0,9 mm. Přičemž větší množství grafitu je od hloubky 1,4 mm. Hloubka zákalky u těchto vzorků je 3,5 mm. U třetího vzorku je výskyt ztluků grafitu již od funkčního povrchu, hloubka zákalky je 2,4 mm.

U prvních dvou vzorků je hl. trhlina 0,7 resp. 0,9 mm, u třetího vzorku 0,5 mm, t.j. prakticky do dříku. Ve všech případech trhlina sledují hranice zrn. U dvou zdvihátek byly zjištěny ještě další trhliny hluboké kolem 0,5 mm, které nebyly identifikovány při kontrole. Pravděpodobně vznikly až při dělení zdvihátka vlivem prnutí mezi vrstvou bílé litiny a jádrem.

Skupina 2.

Sledována tři zdvihátka. U jednoho vzorku je bodový grafit vyloučen již od funkčního povrchu, u dalších dvou od hloubky 1,2-1,4 mm. Zákalka u prvního vzorku je 2,8 mm, u druhých dvou cca 3,7 mm. U vzorku s grafitem na funkčním povrchu je trhlina hluboká 0,4 mm a je velmi tenká - prakticky neexistující. U zbylých dvou vzorků je hrubá trhlina dlouhá 1,6 resp. 2,8 mm. V jejím okolí je výrazně odlišná struktura - větší mn. grafitu a perlitu - a chybí prakticky cementit. V těchto případech se jedná o trhliny vzniklé při lití.

Skupina 3.

Vybráno pouze jedno zdvihátko. Grafit sdílí 0,3 mm, hloubka zákalky 2,7 mm. Trhlina jde po hranicích zrn do hloubky 2,0 mm.

Skupina 4.

Vybráno rovněž jedno zdvihátko. Grafit již od funkčního povrchu, hl. zákalky 2,5 mm, trhlina je značně rozvětvená, jde po hranicích zrn do hloubky 3,8 mm. Vliv jednotlivých trhlín na provoz vyhodnotíme až po ukončení jízdní zkoušky - viz. předchozí kapitola.

Závěr

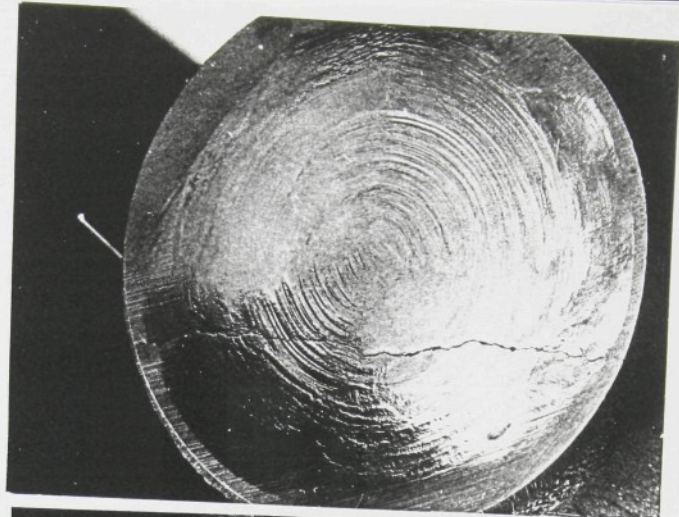
Příspěvek přibližuje problematiku jakosti zdvihátek ventilů vznětových motorů LIAZ a možnosti kontroly povrchových vad.

Uplatnění magnetické polévací metody s fluorescenční indikací tekutinou a impulzní proudovou magnetizací umožňuje vysokou produktivitu 100% kontroly při hromadné výrobě zdvihátek.

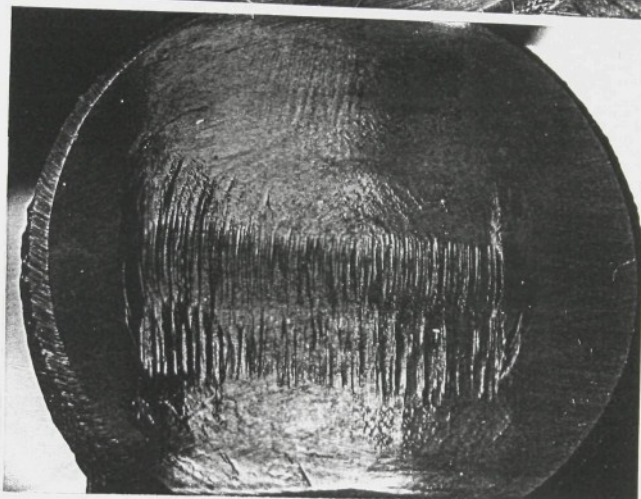
Míru nebezpečí nalezených vad prokazuje provozní zkouška zdvihátek s typickými nálezy prasklin.

Kontrolní zařízení s velmi malou spotřebou elektrické energie bylo navrženo a zhotoveno v LIAZ za minimální náklady /ve srovnání s možným dovozem/.

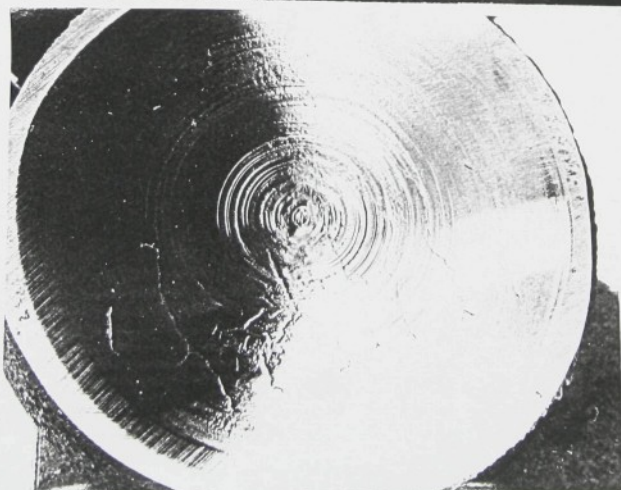
Opekovanou výrobu zařízení pro celé kontrolní pracoviště by bylo příspůsobeno podle kontrolovaných součástí /menší součást z magneticky "tvrdého" materiálu/ jsme schopni dodat i se zavedením technologie do tří měsíců.



D1



K2



B2

Obr. 4. Typické tvary prasklin zviditelněné provozem zdvihátek v motoru.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

**HABILITAČNÍ PRÁCE S KOMENTÁŘEM**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

PROBLÉMY APLIKACE GRAFITICKÝCH LITIN U VZNĚTOVÝCH MOTORŮ
A NÁKLADNÍCH AUTOMOBILŮ

Habilitační práce s komentářem

Obor strojírenská technologie 23-07-8



Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Březen 2000

PŘÍLOHA

II. SVAZEK

Kopie interních inženýrských prací [20 až 25].

LIAZ, státní podnik
odbor vývoje materiálu a metalurgie

Výzkumná zpráva:

Statistická kontrola materiálu
bloků motorů M 1A

č. 147 - 3 - Sk / 89

Úkol RVT : H-05-124-886

Vývoj a osvojení komplexní
nedestruktivní materiálové
diagnostiky litinových
odlitéků v podmínkách LIAZ

Hlavní řešitel: Ing. Břetislav S k r b e k , CSc.

Vedoucí odboru: Vladimír P t á č e k

V Jablonci n.N. - červen 1989



1. Úvod

Blok válců tvoří základní nosnou součást motorů vyráběných v s. p. LIAZ. Je to typický složitý, relativně tenkostěnný odlitek, se složitými krystalizačními poměry při tuhnutí ve formě [1]. Proto na mechanické vlastnosti jednotlivých partií odlitku bloku nelze usuzovat na základě tloušťky stěny a z tabulek příslušných materiálových listů ČSN 42 2420.

Surovinové vstupy, ale i metalurgické úkony při výrobě litiny a zpracování odlitků mají přirozený rozptyl svých parametrů. Současný výskyt více nepříznivých odchylek může působit extrémní vybočení materiálové jakosti odlitku.

Užitné vlastnosti motorů LIAZ a zejména jejich životnost mají výkyvy. Závisí na mnoha faktorech, mezi kterými určitou roli hraje i kvalita materiálu litinových odlitků [7]. V tomto směru byl postaven i požadavek OŘJ podniku LIAZ na kontrolu 100 ks odlitků bloků motorů z listopadu 1988.

Cílem této zprávy je proto rozbor materiálové kvality /zejména jejich extrémních poloh/ výroby odlitků bloků motorů na bázi nepřímého nedestruktivního měření.



1. 1. Použité symboly

A		směrnice přímky
C _{eq}		uhlíkový ekvivalent měřený termometricky
E ₀	[GPa]	počáteční modul pružnosti měřený ultrazvukovou impulzní metodou [3]
HB	[N/mm ²]	tvrdost měřená podle Brinella
H ₀	[A/m]	intenzita magnetického pole okolí
H _r	[A/m]	intenzita magnetického pole na povrchu součásti
I	[A/m]	magnetická polarizace
K	[1]	koefficient korelace
L	[mm]	rozměr změřený posuvným měřítkem
L _u	[mm]	rozměr změřený ultrazvukem
M	[1]	intenzita zbytkového magnetického pole na povrchu odlitku, vyjádřená dílky přístroje Remag
M ₁	[1]	intenzita zbytk. mag. pole, změřená na povrchu přepážky, který je blíž 1. válci
M ₂	[1]	intenzita na protilehlém povrchu přepážky/stěny/
M _s	[1]	intenzita remanentního magnetizmu korigovaná na tloušťku stěny L odlitku
N	[1]	demagnetizační činitel
R _m	[MPa]	pevnost v tahu vypočtená
S _x		směrodatná odchylka veličiny x
v _L	[m/s]	podélná rychlost šíření zvuku
v _r	[1]	relativní rychlost
x		střední hodnota veličiny x
Z	[mm]	výška zákalky klínkové zkoušky
α		úhel mezi osou souboru a izopevnostní čarou
ρ	[g/cm ³]	měrná hmotnost
μ		Poassonovo číslo, permeabilita



2. Současný stav poznatků :

Funkčnost bloku válců dává svým tvarovým řešením konstruktér při respektování technologických specifík šedé litiny. Materiálové požadavky a místo kontroly předepíše na výkrese. Tyto požadavky /TP, ČSN/ jsou idealizované z pohledu platnosti v celém objemu odlitku.

Znalosti o rozložení strukturněmechanických vlastností v současnosti vyráběných blocích válců jsou nedostatečné.

Hodnoty R_m a HB dle ČSN platí pro volně zchladlé litinové odlitky s minimální průtočností kovu.

2.1. Výkres a ČSN :

Blok válců sériově vyráběných motorů LIAZ má číslo výkresu 442 1 1002 013 5 a modelu M 3341. Síla stěny přepážek válců 8^{+1} mm, výměníku 8 mm a přepážek ložisek 8^{+1} mm.

Směrné chemické složení :

C	Mn	Si	P _{max.}	S _{max}	
3,2-3,5	0,5-0,9	1,7-2,3	0,3	0,12	[%]

Tvrdost 170 - 230 HB měřena dle příslušné ČSN v místě dosedací plochy hlav mezi 3. a 4. válcem u 5% odlitků. Předepsaná jakost šedé litiny ČSN 422420. Podle této normy hodnota R_m souvisí s tloušťkou stěny L odlitku :

[mm] L	4-8	8-15	15-30	30-45	45-60	80-120	tyč Ø 30
[MPa] $R_m >$	250	230	200	165	145	120	200
HB	200-	180-	160-	150-	140-	130-	160-
	260	240	220	210	200	190	220

2.2. Strukturněmechanické vlastnosti ve stěnách bloků válců :

Skutečné vlastnosti materiálu v odlitku byly naposledy zjištěny v rámci oborového úkolu OC 551M před deseti a více lety [8]. Jsou ovlivňovány jednak celkovou konstrukční koncepcí odlitku, která dává hydraulické poměry při plnění dutin v různých částech odlitku a charakter teplotního pole při tuhnutí a chladnutí a pak metalurgickými poměry při výrobě /suroviny, chem. složení, úprava taveniny, odlévání, žhání, vlastnosti forem a jader, tavící agregát/. Konkrétní souvislosti lze odvodit z [8] [2].

Blok válců je odléván na ležato s vtoky, které ústí v partii hlavové dosedací plochy. Vnitřními přepážkami proudí kov 24-30 s. Naposledy se zaplní tekutým kovem stěna výměníku oleje



a příslušná část dosedací plochy vany. [1].

Zákonitou rozdílností hodnot R_m podle své polohy ve formě, vůči vtokové soustavě a průtočnosti průřezů stěn odlitku potvrdily výsledky z [8]. Vnější tenké stěny $L = 7$ dosahovaly až $R_m 240 \text{ MPa}$, zatímco R_m motorových přepážek byly zpravidla nižší jak standardní hodnota $R_m = 200 \text{ MPa}$ /tvrdost i jen 140 HB/. Metalografický rozbor ukázal na výskyt většího množství grafitu E a D s větším množstvím feritu v okolí grafitových růžic.

Za posledních deset let však došlo ve výrobě k řadě pokrokových změn - formovací linka Gustav Zimmermann - očkování s gramodem, aj., které by měly zvýšit R_m kritických míst a zrovnoměrnit celkové rozložení hodnot R_m v bloku.

Současně ale vzrostly výkonové parametry motorů a tím i namáhání odlitků.

Destruktivní ověření rozložení R_m nebylo provedeno, ačkoliv to řešení řady problémů /např. propadání místků/ vyžadovalo. Nebyly vytvořeny podmínky pro zřízení pracoviště /nebo výpomoc/s vhodným obráběcím strojem na dělení velkých odlitků.

V dosud publikovaných pracech o kontrole odlitků bloků LIAZ nebyly uvažovány kombinované a subjektivní vlivy na materiálovou jakost /extrémy v dlouhodobé sériové výrobě a jejich souvislost.

2.3. Nedestruktivní diagnostika lokálních partií :

Destruktivní stanovení mechanických vlastností by bylo sice jednoznačné, ale velmi nákladné a pro kontrolu 100 bloků kapacitně nevládnutelné. Donedávna nebylo možno určovat strukturněmechanické vlastnosti jinými způsoby, zvláště ve vnitřních partiích odlitků. Úkoly RVT odboru VMM LIAZ [5,4,6] zejména disertační práce ing. B. Skrbka [3] obhájená 21. 11. 1988 přivedly do fáze praktického využití nedestruktivní způsob stanovení strukturněmechanických vlastností lokálních partií litinových odlitků.

2.3.1. Princip měření [3]

Vnitřní stavba litin je charakteristická kovovou maticí /ferit, perlit/ a v ní vyloučeným grafitem. Podle tvaru grafitu se dělí litiny na jednotlivé druhy /šedá, s červíkovitým grafitem, temperovaná, tvárná/. K hodnocení grafitické části struktury se používají ultrazvukové nedestruktivní metody. Kovová matrice se nejlépe charakterizuje měřením magnetických vlastností. Při měření rychlosti zvuku je nutno znát skutečný rozměr L a zdánlivou tloušťku



/rozměr/ L_u změřenou ultrazvukovým tloušťkoměrem seřazeným na rychlost zvuku v_{Lo} 45930 m/s/.

$$v_L = \frac{L}{L_u} \cdot v_{Lo} \quad \text{[m/s]} \quad /1/$$

S rychlostí zvuku úzce souvisí počáteční modul pružnosti

$$E_0 = v_L^2 \cdot \frac{1+\mu \cdot /1-2\mu/}{1-\mu} = /k \cdot v_L/^2 \quad \text{[GPa]} \quad /2/$$

Pro litinu vyráběnou v LIAZ 04 byl experimentálně určen výraz :

$$E_0 = /437,79 \cdot \frac{L}{L_u} /^2 \quad \text{[GPa]} \quad /3/$$

E_0 měřený ostatními metodami je u šedé litiny vždy menší. Do zkoumaného materiálu vysílá sonda ultrazvukového přístroje impulzy nosné frekvence /řádově jednotky MHz/. Tyto se odráží od protilehlého povrchu stěny odlitku. Z časového intervalu mezi vysíláním a odraženým /přijímaným/ impulsem se určí L_u . Čím více grafit narušuje kompaktnost základní matrice /lupinkový víc jak červíkovitý grafit/, tím více se prodlužuje dráha ultrazvukových vln, snižuje se hodnota v_L a zvětšuje se zdánlivá tloušťka L_u .

Základní kovová hmota běžných litin je feromagnetická.

Magnetické tvrdé strukturní fáze /cementit Fe_3C , martenzit/ mají vysokou k remanentní polarizaci /drží magnetizmus po zmagnetování/. Intenzita magnetického pole H_r na povrchu odlitku po zmagnetování a ukončení magnetizačního impulzu :

$$H_r = H_0 - \left(\frac{N \cdot I}{\mu} \right) \quad \text{[A/m]} \quad /4/$$

Demagnetizační činitel N závisí na morfologii strukturní fáze /perlitu/ i na geometrii nejbližšího okolí měřeného místa /tloušťka odlitku/. Charakter základní kovové hmoty v lokálním místě odlitku i přes lící kůru nejlépe určí stejnoměrná metoda magnetického bodového pólu /přístroje řady Remag - SVÚM Brno/. Hodnota M výchylky indikačního měřidla /displeje/ přístroje Remag 1 č.v. 1177 souvisí s H_r lineárním vztahem :

$$H_r = 6,5 \cdot M - 32 \quad \text{[A/m]} \quad /5/$$

/při nastavení citlivosti 1 a magnetizace 10 a seřazení dle etalonů/. Při praktickém měření se provede úkon demagnetizace a získá se hodnota M_{i1} . Po zavedení magnetizačního stejnosměrného impulzu do materiálu se odečte hodnota M_{i2} . Pro materiálovou diagnostiku se používají : rozdíl :

$$M_i = M_{i2} - M_{i1} \quad /1/ \quad /6/$$

Tímto úkonem se totiž eliminuje vliv intenzity magnetického pole okolí H_0 /viz. vztah /4//.



Mezi tvrdostí HB a hodnotou M_i byl potvrzen u litin lineární vztah :

$$HB = A \cdot M_i + B \quad /7/$$

Měření rychlosti zvuku v_L v kombinaci s měřením zbytkového magnetizmu M , případně tvrdosti HB vykazuje u šedých litin vždy těsnější magnetický vztah k pevnosti v tahu $R_m = f / v_L$, $M /$ než vztahy s jednou proměnou $R_m = f / v_L$, $R_m = f / M$, $R_m = f / HB$.

Při měření na tenkých stěnách odlitků $L \leq 12$ nutno hodnotu M_i korigovat podle tloušťky stěny L na hodnotu M_S :

$$M_S = \frac{M_i}{C \cdot L^{-D} + 1} \quad /8/$$

A.....D = konstanty

3. Vlastní měření a výsledky :

Bloky byly měřeny v prostoru vstupního dopravníku mechaniky IV /před 1. obráběcí operací/.

3.1. Místa měření :

Místa měření na odlitku bloku válců byla volena s ohledem na : 1. konstrukční a provozní důležitost /krit. namáhání, deformace/ výkres

2. konstrukční koncepcí odlitku /slévarenská technologie/

3. dostupnost sond kontrolních přístrojů /přístrojová dispozice/.

Polohu míst měření znázorňuje obr. 1. Dosedací plocha hlav válců měřena Remagem a Poldi kladívkem v místě předepsaném výkresem po ohrubování licí kůry. Toto místo představuje poměrně silnostěnnou partii s větším průtokem kovu. Měření ultrazvukem lze provádět mezi rovnoběžnými částmi stěn. Takové místo v celé této partii není. Bylo by vhodné vytvořit na odlitku technologickou kontrolní plošku /alespoň Ø 20/.

Ultrazvukem byl proto nouzově proměřován můstek mezi válci $/L = 14 \text{ mm}/$. Protože jde o dvě vyduté plochy, usazovala se mezi sondou a povrchem vývrtu silná kontaktní $/\sim 0,4 \text{ mm}/$ vrstva vazebného média /indulony/, které má $v_L = 1600 \text{ m/s}$. Přes provedenou korekci na vydutost bylo měření této partie ultrazvukem méně spolehlivé /značný optický rozptyl energie ultrazvukového svazku/.

Přepážky válců byly proměřovány asi 25 mm pod horním nákrůžkem vložených válců těsně vedle švu dělicího jádro. Tyto přepážky mají důležitou nosnou funkci a vyznačují se značnou průtočností kovu. Může docházet k sekundárnímu vyžehání již ztuhlých přepážek teplem akumulovaným jádrem.



Protože se přepážky plní ve svislé poloze, dají se předpokládat rozdíly v mech. vlastnostech i v samotné přepážce [2].

Přepážky ložisek představují značně namáhanou partii odlitku s určitou průtočností kovu. Proměřována je partie s rovnoběžnými plochami těsně pod těsníci kroužky vložených válců.

Dosedací stěna vany bloku v měřeném místě pod 4. válcem představuje vnější stěnu bloku poměrně brzy zaplněnou kovem s nižší průtočností kovu. Měřené místo pod 2. válcem na vanové ploše je zaplněno kovem prakticky naposledy z celého odlitku.

Stěna výměníku tepla oleje je oddělena od tělesa odlitku velkoplošným jádrem, které může působit větší rozptyl tloušťky stěny výměníku. Kovem se zaplňuje naposledy a s malou průtočností, představuje vnější stěnu s krystalizačními poměry, které se nejvíce blíží samostatně lité desce.

Denně bylo změřeno 4-6 odlitků s pokud možno rovnoměrným odstupem výrobních čísel. Zvolené množství 100 bloků válců umožňuje jednoduché vyhodnocení sloupcových diagramů /rozložení četností/. Představuje asi 2-3% celkové produkce bloků za dané období.

Poloha bloků válců na válečkovém dopravníku dovozovala měřit pouze stěny přepážek válců a stěnu výměníku. Několik vybraných bloků bylo jeřábem vytaženo z dopravníku a obráceno, aby jsme mohli proměřit i přepážky ložisek a vanovou plochu.

3.2. Použité metody a přístroje:

Rychlost zvuku, respektivě zdánlivá tloušťka L_u měřena ultrazvukovým tloušťkoměrem polské výroby LC 545 s tříapůlmístným displejem na výstup. Pracuje impulzní odrazovou metodou s dvojitou sondou 4 LDF 10 při kmitočtu 4 MHz /viz. obr. 2/.

Seřizovací ocelový etalon má $v_L = 5930$ m/s.

Měření se provádělo přes lící kůru v místech bez zjevných ostrých nerovností na jemně otryskaném povrchu odlitku.

Intenzita zbytkového magnetického pole H_r vyjádřena hodnotou M měřena přístrojem Remag 1 v.č. 1177 - výroba SVÚM Brno. Remag 1 byl dodatečně vybaven pamětovým operačním zesilovačem a číselovým výstupem dle ZN 10 - 022/85 LIAZ pro přímé odečítání hodnoty M_i dle /6/ - obr. 3. Měřeno přes lící kůru na rovinných plochách s konstantním režimem : citlivost $C = 1$, magnetizace $M = 10$.

Tvrdost na výkresem předepsaném místě měřena soupravou Poldikladívka na ohrubovaném povrchu /výsledek se může odchýlovat



hodnotou od výsledku měření na lici kůře - kontrola v LIAZ 04/.

Rozměry tloušťky stěn jsme měřili běžnými posuvnými měřítky s upravenými čelistmi nebo nástavci na čelistech /obr. 4/.

Každá přepážka byla Remagem proměřena z obou stran. Nejlepší se provádí měření ultrazvukem, pak posuvným měřítkem a nakonec Remagem. Stopa ultrazvukové sondy /indulona/ totiž jednoznačně určuje místo měření.

Předběžně zaznamenané hodnoty M_i , L , Lu byly zpracovány mikropočítačem s využitím výrazů /3/ a

$$M_s = M \frac{11}{81 \cdot L^{-2,91} + 1} \quad /9/$$

$$HB = 2,57 \cdot M_s + 98,1 \quad /10/$$

$$R_m = 10^{1,6673} \cdot M_s^{0,5808} \cdot /L/Lu/^{2,932} \quad [MPa] \quad /11/$$

kteří byly získány experimentálně v práci [3]. Výsledky měření jednotlivých odlitků obsahují protokoly vytištěné tiskárnou mikropočítače. Jejich identifikace je podle výrobních čísel bloků. Výrazy /10/, /11/ platí s 80% pravděpodobností. Byly získány ze zkoušek na zvlášť litých plochých tyčích a jen naněkolika výřezech z přepážek a výměníku bloku /dobrá shoda R_m skut. s R_m vypočt./.

Proto v závěrech nutno uvažovat více se vzájemnými úrovněmi mechan. vlastností než s jejich absolutními hodnotami.

Hodnota M_s charakterizuje v základní h kovové hmotě litiny množství a morfologii perlitu. Pro feritickou šedou litinu $M_s = 15 + 20$ a perlitickou $M_s \sim 50$.

Modul pružnosti E_0 měřený ultrazvukem popisuje tvar a rozložení grafitu. Max. hodnoty pro šedé litiny $E_0 = 140-150$ GPa. Vyšší hodnoty svědčí o větším výskytu volného cementitu ve struktuře nebo o výskytu kompaktních forem grafitu /červíkovitý až kuličkovitý/.

4. Vlastnosti odlitků bloků válců /předpecí PIKS odstaveno/:

Předmětem měření strukturně mechanických vlastností je soubor 100 odlitků válců v intervalu výrobních čísel 30845/88 až 1400/89. Tyto bloky byly odlévány z litiny, která nemohla být homogenizována ve velkoobjemovém předpecí PIKS. Předpecí závodu LIAZ 04 v této době přezdívali. Časový interval měření je 25.11.88 - 13.1.89 a výrobních čísel 33902/88 až 738/89.



4.1. Přehled výsledků :

Tato kapitola obsahuje statisticky zpracovaná data /zapsaná v jednotlivých protokolech bloků/.

4.1.1. Tloušťky stěn :

V tabulce č. 1 je obsaženo statistické shrnutí výsledků měření tlouštěk stěn všech přepážek a výměníků /v místě měření R_m a v místě minimální tloušťky stěny na celé ploše výměníku/.

Tab. č. 1.

Přepážky válců	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	Pozn.
$\bar{L}$ /mm/	8,3	8,6	8,8	8,6	8,5	
S_L /mm/	0,29	0,25	0,23	0,24	0,25	
L min.	7,5	7,4	7,7	7,5	7,4	č.33423
L max.	9	9,05	9,2	9,1	9,15	H-88

Výměník tepla	místo měření R_m	min. L výměníku
$\bar{L}$ /mm/	7,8	6,9
S_L /mm/	0,3/blok	0,64 blok
L min.	7 31808 H/88	5,4 33921/88
L max.	8,4 33841/88	8,35 31609/88

Názornou představu o rozložení tlouštěk stěn přepážek předkládá obr. 4-1A ÷ E a stěn výměníku oleje obr. 4-2A,B.

Křivky rozložení mají vesměs pozvolný růst četnosti v oblasti nižších tlouštěk $L < \bar{L}$ a strmý pokles rozložení vyšších hodnot tlouštěk $L > \bar{L}$. Do většiny sloupcovitých diagramů jsou zakresleny křivky normálního rozdělení.

4.1.2. Tvrdost měřená ve výkresu předepsaném místě :

Výsledky těchto měření neobsahují protokoly tištěné mikro-počítačem, ale zvláštní tabulka č. 2. Hodnoty HB jsou kombinovány měřením Poldi kladivkem a výpočtem z hodnot M. Místky mezi válci 3-4 nebylo možno v některých případech ultrazvukem prozářit /nižší jakost litiny/. Hodnoty E_0 i vypočtené hodnoty R_m ze vztahu $R_m = 10^{1,525} \cdot L/Lu^{2,606} \cdot M^{0,636}$ [MPa] /4.1./ převzatého z /3/ jsou z důvodů popsaných v kap. 3.1. málo přesné a jen orientační. Sloupcový diagram hodnot tvrdosti měřených v místě předepsaném výkresem předkládá obr. 4-3. Požadované min. tvrdosti 170 HB nedosahuje asi 10% bloků.



Křivka rozložení je asymetrická s pozvolným nárůstem od nízkých hodnot HB.

tab. 3.

	HB	M	Rm /MPa/
$\bar{x}$	180	43,8	182
Sx	12,5	2,7	19,3
x max.	205	50,3	221
	32139/88	33921/88	33197
x min.	133	33	122
	31288H/88	31288H/88	33423H/88
n	100	100	81

Tabulka 3: statisticky zpracované výsledky měření na dosedací ploše hlav válců. Vztah mezi tvrdostí HB měřenou poldikladívkem a údajem Remagu M na obrobené ploše v místě předepsaném výkresem :

$$HB = 3,92 M + 8,7$$

$$K = 0,804$$

$$/4.2./$$

4.1.3. Vypočtená pevnost Rm a tvrdost :

Číselné hodnoty Rm jednotlivých přepážek a stěn výměníků i průměrné hodnoty za jednotlivé bloky obsahují tištěné protokoly /1 - 100/. Výpočty se prováděly dle výrazů /9/, /11/. Sloupcové diagramy rozlišení Rm jednotlivých přepážek - obr. 4 - 4A-E. Celková Rm přepážek - obr. 4-4 F. Rozložení Rm stěn výměníků - obr. 4-5. Vypočtená tvrdost HB z hodnot Ms dle /10/ odpovídá reálnější strukturnímu podílu feritu a perlitu v základní kovové hmotě nežli skutečné velikosti tvrdosti HB - obr. 4-6.

A vypočtená tvrdost všech přepážek válců

B vypočtená tvrdost stěny výměníku

tab. 4 Mechanické vlastnosti přepážek a výměníků :



LIAZ, oborový podnik, Jablonec n.N.

Odbor výv. materiálu a metalurgie

147-3-Sk/89
Zpráva
čísloList 11.
číslo

přepážky	1/2	2/3	3/4	4/5	5/6	průměr	výměník
$\overline{R_m}$	172	175	178	175	180	176	209
S_R	32	32	32	33	34	32	24
$\% / R_m \geq 200$	26	27	35	30	37	30	80
$R_m \text{ min.}$				/33423H/88/		114	131
$R_m \text{ max.}$				/33198/88/		238	316
							/31499H/88/
$\overline{HB} / \overline{M_s} /$						194 /37,3/	214
S_{HB}						16,4	11,2
$HB \text{ min.} / M_s \text{ min.} /$				/33423H/88/		163 /25,3/	164
$HB \text{ max.} / M_s \text{ max.} /$				/33703H/88/		229 /50,9/	236
							/32901/88/

4.2. Diskuse výsledků :

Uvádí a rozebírá všechny nové poznatky z kterých vyplynou nové skutečnosti a souvislosti pro výrobu /slévárnu/ i pro vývojovou konstrukci,

4.2.1. Charakteristika souboru z hlediska požadavků výkresu :

Síla přepážek válců prakticky ve všech případech vyhovovala. Krajní přepážky /1/2 a 5/6/ jsou o 0,3 - 0,5 mm v průměru tenší než přepážka /3/4/ $L = 8,8$ mm. Směrodatná odchylka 0,25 mm není velká. Výskyt "tenkých" přepážek /7,4-7,7 mm/ byl ojedinělý a to u bloku 33423H/88, který vynikal rovněž minimálními hodnotami mechanických vlastností. Křivka rozložení četnosti tloušťek přepážek je nesymetrická /neodpovídá zcela normálnímu rozložení/. Tloušťka stěny výměníku oleje v místě měření R_m vyhovovala ve všech měřených případech. Zato minimální tloušťka stěny celé velké plochy vnější stěny výměníku ve svém průměru $L = 6,9$ mm/ nedosahuje tolerančního pásu 8 ± 1 mm /obr. 4-2A/. Směrodatná odchylka 0,64 mm je více než dvojnásobná jak v místě měření R_m . Tloušťky 7 mm nedosahuje 45% měřených bloků. Příčinou velkého rozptylu tloušťky je velká plocha vodorovně uloženého /při lití/ jádra výměníku.

Hodnota tvrdosti změřená na dosedací ploše hlav mezi 3. a 4. válcem je dosud jediným předepsaným kritériem pro hodnocení materiálové jakosti odlitků bloků válců. Její střední hodnota 180 HB leží při dolní hranici tolerance 170-230 HB. Přesto vlivem nízké hodnoty směrodatné odchylky lze považovat za nevyhovující



jen asi 10% odlitků /obr. 4-3/. Extrém tvoří blok 31288H/88 s tvrdostí pouhých 133 HB!

Nízký rozptyl struktury základní kovové hmoty litiny v hlavové ploše dokresluje hodnota $M = 43,8$ s rozptylem jen 2,7. Pro nedestruktivní měření a tím i hodnocení pevnosti R_m této partie odlitku bude nuto vytvořit rovnoběžné technologické plošky. Pak bude možno provádět objektivní nedestruktivní pozorování výskytu strukturněmechanických vlastností v desce hlavové plochy s tenkými stěnami bloku válců.

Množství feritu ve struktuře přepážek válců vyjádřené vypočtenými hodnotami tvrdosti HB má větší rozsah jak v desce hlav /porovnej tabl. 3 a 4/. Zodpovědně lze odhadnout rozsah mezi extrémy /bloky 33423H/88 a 33703H/88/ asi 70-0% feritu v základní kovové hmotě litiny přepážek válců. Převážně feritická struktura je nevyhovující.

Vypočtené hodnoty HB spadají většinou do tolerance 180 - 240 HB /až na 14% případů/, ale vypočtené hodnoty R_m svým rozsahem překrývají více jak dvě jakostní třídy šedých litin! Proto je třeba materiál odlitků hodnotit veličinou, která zahrnuje vliv základní kovové hmoty i grafitu, jednoduše měřitelnou a co nejvíce se blíží skutečné pevnosti R_m .

Hladina pevností v přepážkách je o 33 MPa nižší jak ve stěně výměníku. Tato skutečnost vyplývá z podmínek krystalizace a chladnutí daných partií - viz. kap. 2.2. Rozložení R_m přepážek je ploché s velkými rozptylem, kdežto rozložení R_m výměníku má ostré maximum s celkově malým rozptylem, ačkoliv je u přepážek podstatně menší vliv subjektivní chyby měření /průměr z 5ti měření/ jak u stěny výměníku /jedno měření z jedné strany stěny/. Relativní rozptyl $\frac{S_R}{R_m}$ je podstatně nižší jak u přepážek $\frac{S_R}{R_m} = 0,115$ $\frac{S_R}{R_m} = 0,182$

Pevnosti a směrodatné odchylky R_m jednotlivých přepážek jsou si velmi blízké /tab. 4/. Mezi nejnižší R_m 1/2 přepážky a nejvyšší 5/6 přepážky je rozdíl 8 MPa. Výsledky tohoto výzkumu potvrzují i po deseti letech /obor.úk. OC 551M/ na možnost výskytu dostatečně pevných vnějších stěn odlitku bloku válců a současně motorových přepážek s podstatně nižší pevností jak standartní hodnota $R_m = 200$ MPa /viz. kap. 2.2./.



4.2.2. Dvourozměrné vyjádření struktury:

Na obr. 4. - 7. jsou vyneseny v souřadnicích /Ms, Eo/ výsledky průměrných hodnot přepážek válců a hodnoty změřené na stěnách výměníků /100 ks bloků/ - označeny zeleně. V rovině jsou zakresleny izopevnostní čáry rovnice /11/.

Množiny koncových bodů strukturních "vektorů" /Ms, Eo/ výměníků a přepážek válců mají odlišný tvar, který specifikují statistické veličiny v tabulce na obr. 4.-7. Extrémním polohám bodů jsou přiřazeny výrobní čísla bloků.

Osa štíhlé množiny /vysoká hodnota K/ bodů přepážek válců je téměř kolmá na tečnu k izopevnostní čáře / $\alpha = 92^\circ$ /. V takovém případě se výrobní rozptyl /nerovnoměrnost/ v množství feritu a množství morfologii grafitu projeví maximálními rozdíly v Rm stěn odlitků.

Množina zelených bodů /stěny výměníků/ nemá výrazný směr uspořádání /hodnota $K \rightarrow 0$ /. Rozptyl množství feritu v základní kovové hmotě je menší než u přepážek / $S_{MV} < S_{MP}$ /, ale rozptyl grafitické části struktury je stejný / $S_{EV} \approx S_{EP} \approx 7\%$ /. Rozptyl zde ale výrazně zvětšuje extrémní polohy struktury výměníků s vysokou hodnotou Eo /blok 31499H/ a nebo extrémní hodnotou Ms /blok 31961H/. Vysoká hodnota Eo /160 GPa/ souvisí pravděpodobně s vysokým obsahem volného cementitu ve struktuře. Nízké hodnoty M výměníku, nižší než v přepážkách téhož bloku, by mohly souviset s vyžháním /přehřátím/ bloku, při jeho předehřevu před opravami navařováním. Ze vzájemné polohy středních množin vyplývá, že rozdíl v Rm výměníku a přepážek je dán především rozdílem množství feritu ve struktuře a méně různou morfologií grafitu. U přepážek válců jsou extrémně nízké hodnoty Ms /malé množství perlitu/ vždy spojeny s extrémně nízkými hodnotami Eo /nepříznivá morfologie grafitu/. Na nízké úrovni R_m se tak podílí většinou metalurgické zpracování a chem. složení kovu před odlitím.

Další upřesnění souvislostí nedestruktivně měřených veličin a strukturněmechanických vlastností /upřesnění plochy izopevnostních čar ap./ umožní destruktivní zkoušky přepážek a výměníků bloků s extrémními vlastnostmi, které byly /č. 33423H, 31288H, 30947H/ vyzetkovány a uskladněny.

Na obr. 4.-8. je porovnávána jejich struktura s dalšími odlitky bloků po provozu /č. 13/88/ z nízkolegované litiny M 2.4 - 3/87/ a se zhoršenou obrobiteľností /16487/88/.



Uvedené bloky válců byly změřeny ve všech kontrolních místech dle kap. 3.1 a obr. 1. Číselné výsledky obsahují protokoly z počítače.

Vnější stěny odlitků bloků válců mají vždy vyšší pevnost R_m . U odlitků s nejnižší hladinou R_m v přepážkách tento rozdíl činí jednu jakostní třídu šedé litiny /50 MPa/. Vyjimku tvoří blok 16487/88 vyřazený na obrábění lince pro zhoršenou obrobiteľnost. Nejvyšších hodnot R_m zde dosahují přepážky ložisek. Extrémní poloha struktury výměníku souvisí asi s vysokým obsahem volného α cementitu. Výskyt volného cementitu ve stěně výměníku lze očekávat i u bloku 30947H/88 /lze potlačit vhodným očkovaním a chem. složením/.

Směrnice os množin strukturních vektorů má jen malý rozdílový úhel α / od směrnice tečny izopevnostní čáry bloku

Blok :	3/87	16487	13/83	33423	31288	30947
$10^2 \cdot S_R / R_m$	3,4	15,7	11	19,4	14,9	18,6
α	18	90	76	68	112	60

jen u bloku z nízkolegované šedé litiny. Ostatní bloky mají tento úhel značně větší - nevýhodnější /viz. tab. č. 5/. Rozptyl S_m , S_E strukturních vlastností jsou u nízkolegovaného bloku podstatně nižší. Celkově pak vychází poměrný rozptyl pevnosti R_m bloku 3/87 více jak pětikrát menší jak u bloku sériově vyráběných. Jednoznačně kvantitativní závěry o účinnosti legování na příznivé strukturní vlastnosti bloku bude možno ale učinit až po proměření většího množství bloků M 2.4.

Z obr. 4.-8. rovněž plyne, že na velkém rozptylu R_m se podílí rozptyl především obsahu feritu ve struktuře bloků 31288H a 30937H/mimo výměník/ / $A > 1$ viz. obr. 8.-4./ . Blok 33423H s nejnižší hladinou R_m má v vysoký rozptyl obsahu feritu i morfologie grafitu / E_o / - přepážky ložisek.

4.2.3. Časová posloupnost materiálové kvality odlitků bloků válců :

Odlitky bloků válců se označují výrobním číslem a letopočtem výroby. Doplňujícím údajem je písmeno H, které označuje určitou směnu ve výrobě /LIAZ 04/.

Odlitky směny H se vyznačují v průměru o 12 MPa nižší hodnotou pevnosti při prakticky stejném rozptylu. Z obr. 4.-7. plyne že většina odlitků s nejnižší hladinou R_m v přepážkách přísluší směně H. Rovněž extrémní polohy struktury výměníku přísluší odlitkům s označením H.



Dle kontrolních záznamů ve slévárně LIAZ se na výrobě odlitků bloků /tavírna/ podílely ale tři směny :

směna	ks	Rm /MPa/	S _R	S/R
H	57	169,5	30,8	0,18
T	29	181,6	32,7	0,18
W	14	186,5	31,9	0,17

Při téměř stejném λ rozptylu pevností dosahuje nejvyšších průměrných hodnot pevnosti v přepážkách válců směna ozn. W.

Představa o časové posloupnosti /vývoji/ materiálové kvality odlitků bloků dává obr. 4.-9. Počáteční fáze výroby s odstaveným předpecím se vyznačuje podprůměrnou úrovní Rm. Ve výrobě bylo nutno zvládnout základní metalurgický postup přípravy litiny, což se patrně projevilo nízkou kvalitou materiálu. Při celkem nízké hladině obsahu perlitu ve struktuře přepážek kolísala morfologie grafitu. Výrobní čísla > 32000 bloků dosahují nadprůměrných hodnot ovšem se značným rozptylem - široký pás výskytu Rm. Interval výrobních čísel 33500 až 34050 je spojen se stabilně nadprůměrnou úrovní Rm přepážek. Poslední období r. 1988 je char. poklesem úrovně Rm k průměru a zvětšení rozptylu. Po nové m roce 1989 má úroveň Rm nadprůměrnou hodnotu, až na dva odlitky 663 a 669 z 9.1.

Pro výrobní praxi zpětnou vazbu k výrobě důležité je promítnout uvedenou posloupnost do denního rozpisu výroby bloků /obr. 4.-9./ . Přes náhodný výběr odlitků se podařilo několikrát změřit 3 až 5 bloků z jedné směny. V těchto případech byly na obr. 4-9 naměřené hodnoty propojeny čarou. Rovněž se podařilo změřit několik bloků odlitých jako první, nebo poslední ve směně /dni/. Blok zakreslený v poloze 30000 může ležet v toleranci 30000 - 30099 /označen otazníkem/, neboť jeho poslední dvě místa nebyla čitelná.

Z osmi směn ozn. H mají čtyři monotónně klesající hladinu Rm /viz. obr. 4-9, dny 21.11, 1.12, 2.12, 9.1./ s rozdílem až 75 MPa. Ve zbývajících dnech je průběh Rm střídavý /např. 8.12./. Kolísání kvality může být rychlé. Např. bloky 653H a 663H byly odlitky během půlhodiny /9.1. - 11.40, 12.10 - tab. 2/. Pokles Rm v přepážkách o 61 MPa zde souvisí i s růstem Ceq z 3,82 na 4,08 a obsahu Si z 1,85 na 2,24. Na Rm výměníku se tato změna projevila nepodstatně /viz. tab. 7/. 17.12. byly zachyceny 3 bloky s vysokou pevností přepážek a jeden s nižší, přitom Ceq měly všechny velmi blízké hodnoty. Interval odlití mezi bloky 33670 a 33618 byl 15 min. při rozdílu Rm 48 MPa /viz. tab. 7/.



Bloky 34166, 34313, 119 byly vždy odlity jako první v ranní směně W. Pevnosti 122, 126 a 114 MPa však také znamenaly minimální hodnoty bloků směn s ozn. W. Vysoký Ceq a nejvyšší obsah Si char. blok č. 34166. Blok 119/89 měl $R_m = 189$. Blok odlitý jako poslední ve směně - odpolední byl změřen pouze jeden - č. 32497H, $R_m = 164$. Blok odlitý jako předposlední v dopolední směně 32852 měl podprůměrnou hodnotu pevnosti v přepážkách /147 MPa/.

Výskyt většího množství bloků s nízkou hladinou R_m přep. můžeme předpokládat v intervalech mezi výrobními čísly kontrolovaných odlitků z 21.11, 1.12, 9.1. /663 - 669/.

4.2.4. Chemické složení a materiálová jakost :

Vybraný soubor odlitků bloků s nízkou, vysokou hladinou R_m v přepážkách a odlitky jinak zajímavé jsou charakterizovány v tab. 7 chemickým složením a výškou zákalky klínkové zkoušky. Údaje převzaty z kontrolních záznamů závodu 04.

Již první pohled na hodnoty Ceq a R_m přepážek ukazuje, že přepážkám s nízkou hladinou R_m přísluší $Ceq > 4$. Tzn. vysoký obsah C a Si /zde je překročenahorní mez Si u bloku 32821 a 34166/. Nejvyšší hladině R_m přepážek přísluší nižší Ceq a maximální obsahy Mn. Extrémně nízký Ceq /obsah Si = 1,40%/ vysvětluje výskyt volného cementitu ve stěně výměníku bloku 16477. Chemické složení ale nevysvětluje extrémně vysokou pevnost výměníku 31499H a naopak její nejnížší hodnotu bloku 31961H /zde je dominující feritická základní kovová hmota - viz. obr. 4-7/. Ceq totiž reprezentuje hlavně množství grafitu ve struktuře. Pro bloky motorů je doporučeno tolerance Ceq = 3,98.- 3,82. Bloky 32761 a 33599, 30902 a 33020, 31499H a 33921 mají rozdílný jakostní poměr C/Si 1,7 a 1,94, mají střední hodnoty Ceq = 3,94 a nepřilíživě rozdílné obsahy prvků, avšak podstatně rozdílné hodnoty R_m /viz. obr. 4-10/. Ačkoliv ze statistického rozboru - tab. č. 7 - vyplývá závislost /bez č. 16487/.
 $R_{mp} = 2203 - 515,3 Ceq$ $K = -0,817 /4.3/$

je z jejího grafického vyjádření a předešlého porovnání bloků se stejným Ceq zřejmý vliv dalších faktorů na velikost R_m v přepážkách bloků / R_{mp} /, např. teplot lité a očkování, suroviny aj..



Regresní analýza dalších vztahů /započten i blok 16487/

$R_{mv} = f /CE/$	$K = -0,67$
$R_{mp} = f /CE/$	$K = -0,8$
$R_{mp} = f /Z/$	$K = 0,64$
$R_{mv} = f /Z/$	$K = 0,43$
$HB = f /CE/$	$K = -0,712$
$HB = f /Z/$	$K = 0,24$
$E_o = f /CE/$	$K = -0,82$

ukazuje na menší vliv Ceq na pevnost ve výměníku R_{mv} a tvrdost ve výkresem předepsaném místě. Souvislost mezi mech. vlast. v odlitku a výškou zákalky daného souboru je slabá /zvláště k HB /. Logicky nejtěsnější závislost je mezi CE a E_o , protože obě veličiny nejvíce souvisí s množstvím grafitu v litině.

4.3. Shrnutí:

Nedestruktivní kontrola materiálové jakosti 100 ks odlitků bloků motorů prováděná během metalurgické výroby bez indukčního velkoobjemového předpecí PIKS umožnilo formulovat tyto základní poznatky:

Výskyt odlitků s nízkou hladinou R_m v přepážkách válců souvisí nejen s vysokými hodnotami uhlíkového ekvivalentu $/Ceq > 4/$, ale i s ostatními podmínkami metalurgické výroby /příprava kovu/ zejména při $Ceq \leq 4$.

V rámci sledovaného souboru odlitků kolísaly hodnoty R_m přepážek válců v rozsahu více jak dvou jakostních tříd šedé litiny $/100 MPa/$.

Pevnost vnější stěny odlitku /výměník/ může být zejména u odlitků s nízkou hladinou R_m přepážek vyšší i o více než o jakostní třídu šedé litiny jak v přepážce válců. Z hodnot tvrdosti HB změřené na výkresem předepsaném místě nelze spolehlivě usuzovat na kolísání strukturněmechanických vlastností ve stěnách odlitků /zejména vnitřních/.

Výskyt odlitků s extrémně nízkou hladinou R_m v přepážkách může mimo jiné také souviset s počátečním údobím výroby bez předpecí a s prvními a posledními bloky odlitými v pracovních dnech.

Rozdíly mezi pevnostmi jednotlivých přepážek válců jsou minimální.

Rozptyl strukturněmechanických vlastností vnitřních stěn /přepážek/ odlitků je vyšší /zejména v základní kovové hmotě/ jako rozptyl vlastností stěn výměníku /souboru 100 bloků/.



Měření tloušťky stěn přepážek byly vždy v toleranci předepsané výkresem. Minimální tloušťka stěn výměníků většinou nedosahovala 7 mm/ vždy ale > 5,5 mm/.

Na základě dříve uvedených poznatků doporučujeme :

Na výkrese bloku motorů předepsat v přepážkách válců místo pro nedestruktivní hodnocení jakosti materiálu ultrazvukovým tloušťkoměrem, Remagem.

Praktické používání nedestruktivní kontroly materiálu bloků v kontrole kvality litiny /bloků/ v provozu LIAZ 040. Za tím účelem bude doplněna návodka operace 04 - 9 - 23 "Zkouška vlastností materiálu v odlitku metodou měření remanentní magnetizace" a nové poznatky a vypracována návodka na "Zkoušení vlastností materiálu v odlitku měřením rychlosti zvuku ultrazvukovým tloušťkoměrem".

Nedestruktivní kontrolu zaměřit na odlitky odlité z litiny, která překročila hodnotu C_{eq} dovolenou horní hranicí $/ > 4/$, na odlitky lité v počátečním období odstávky předpecí. Statistická kontrola se může v počátečním období provádět jen ultrazvukem nebo Remagem. Hodnoty E_0 a M_s až na výjimky poměrně dobře korelují s R_m stěn odlitků v litém stavu.

Umožnit rozřezání bloků vyřazených pro nízké mechan. vlastnosti, blok M 2.4, aby bylo možno ze získaných trhacích tyčí upřesnit výrazy /10/, /11/ pro nedestruktivní stanovení R_m , HB /práce v dílně vývoje motorů, nebo pracoviště v záv. 04/.

Provést rovnocenné měření na stejně četném souboru odlitků bloků během provozu předpecí PIKS.

Uskutečnit brzdovou zkoušku motoru s blokem s extrémně nízkou hladinou R_m v přepážkách válců. Bude možno kvantifikovat vliv na užité vlastnosti motoru a posoudit oprávněnost zvyšování jakosti materiálu a jeho nedestruktivní kontroly.

D. Holč.

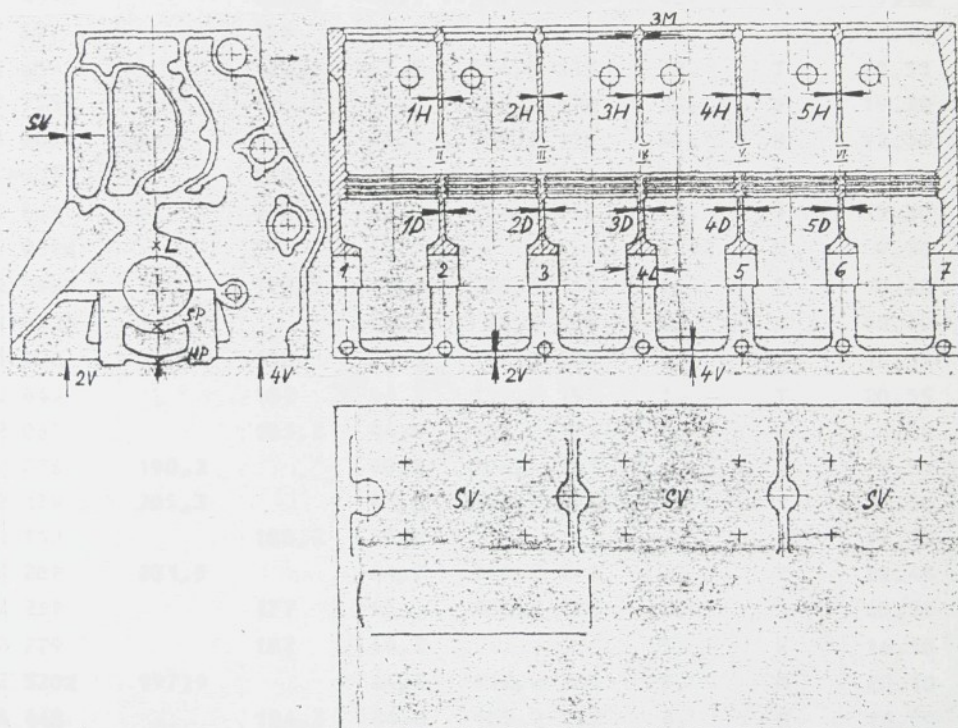


Literatura

- [11] LIAZ 04: Zpráva o průběhu řešení technologie velkosériové výroby bloků válců o váze do 400 kg za rok 1977, oborový úkol OC 406, Liberec 1978
- [12] Šlajs Jan: Studie utváření mech. vlastností nelegované šedé litiny v tenkostěnných odlitcích při různých podmínkách plnění dutiny formy, záv. práce postgraduálního studia na VUT Brno
- [13] Skrbek Břetislav: Nedestruktivní materiálová diagnostika litinových odlitků, kandidátská disertační práce, Jablonec 88
- [14] Skrbek: Kontrola odlitků motorů LIAZ ze šedé litiny při-
strojem Remag 1, zpráva 144-3-Sk/84 LIAZ
- [15] Skrbek: Nedestruktivní určování pevnostních vlastností slo-
žitých odlitků, záv. zpráva úkolu M1-1-85/C LIAZ
- [16] Nedestruktivní stanovení dynamických vlastností litin,
záv. zpráva úkolu M1-1-87/a
- [17] Jindra Pavel: Práce na řešení úkolu „Propadání můstků
motoru M1" č. 43/87, dílčí zpráva za r. 1987
- [18] Exner, Linka, Čech: Výzkum a vývoj vlastností šedých litin
pro dynamicky namáhané automobilní odlitky, oborový úkol
ČAZ č. OC 551M, závěrečná zpráva prosinec 1980
- [19] Skrbek, Lajtkep: Přípravek na pevnostní zkoušku litiny,
řešení TÚ 10-33/86 s. p. LIAZ

MÍSTA NEDESTRUKTIVNÍ KONTROLY MATERIÁLU BLOKŮ MOTORŮ LIAZ

- BLOK M.
1 - 5H Horní přepážky
1 - 5D Dolní ložiskové přepážky
1 - 5M Můstky mezi válci
1 - 7L Ložiska klikového hřídele
SV Stěna výměníku tepla oleje, hledání nejslabší stěny
2, 4 V Vanová plocha
- VÍKO L.
1 - 7SP Spodní pásnice víka ložiska
1 - 7HP Horní pásnice víka ložiska



Tab. 2 Měření na dosedací ploše hlav válců po hrubování v záv.04

č.bloku	HB Poldi	HB výpočet	M Remag	E _o GPa	R _m MPa	Den	Směna	Čas
30 902/88		175,7	42,6			21.11.	H	16.30
30 933	154,6		36,8			21.	H	20.10
30 947H	152,6		39,4			21.	H	21.30
31 020		164,7	39,8	104,4	158	22.	H	17.50
31 066	175		43,6	103	165	23.	T	8.35
31 101		187	45,6	97,7	158	23.	T	12.25
31 153H		172	41,6	103	160	23.	H	19.30
31 235		163	39,3			24.	T	12.40
31 288H	133		33			24.	H	18.40
31 356	153		41,8	121,4	199	25.	T	10.00
31 463H	166,7		40,6	105,2	162	25.	H	20.00
31 409H		181,5	44,1	115,1	192	28.	H	9.40
31 577		188	45,8			28.	T	17.20
31 609		172,6	41,8	114,8	185	28.	T	20.55
31 753		196,5	47,9	103,5	176	29.	T	19.30
31 808H	186		46,5	115,7	199	30.	H	12.30
31N837		180	43,8	116,3	193	30.	T	15.35
31 864		180	43,8	106,6	173	30.	T	19.30
31 931H		177	43			1.12	H	9.20
31 946H		172,5	41,8	106,4	167	1.	H	10.20
31 961H	165,7		42,2	98,3	152	1.	H	12.20
31 992		180	43,8	119,3	200	1.	T	15.15
32 049		182	44,3	115,7	193	1.	T	20.55
32 068		181,2	44,0	107	174	2.	H	8.00
32 076	190,2		40,8	104,4	161	2.	H	8.55
32 139	205,3		47,8	102,7	174	2.	T	15.50
32 157		188,2	45,8			2.	T	17.05
32 207	201,5		44,7	114,2	191	2.	T	20.45
32 239		177	43	108,1	174	5.	T	10.25
32 279		182	46,2			5.	H	16.10
32 320H	197,9		44,3	112,2	186	5.	H	20.10
34 448		184,3	44,8	105,2	172	6.	H	16.50
32 497H	176,1		42,3			6.	H	21.20
32 534	179,2		45,5	118,7	203	7.	W	10.40
32 598H		172	43,7	103,8	166	7.	H	18.40
32 583H	190,7		46,8	114,5	198	7.	H	15.30
32 623H		183	44,5	103,5	168	7.	H	20.20
32 633H	165		36,2	96,6	134	7.	H	21.00

Pokračování tab. 2.

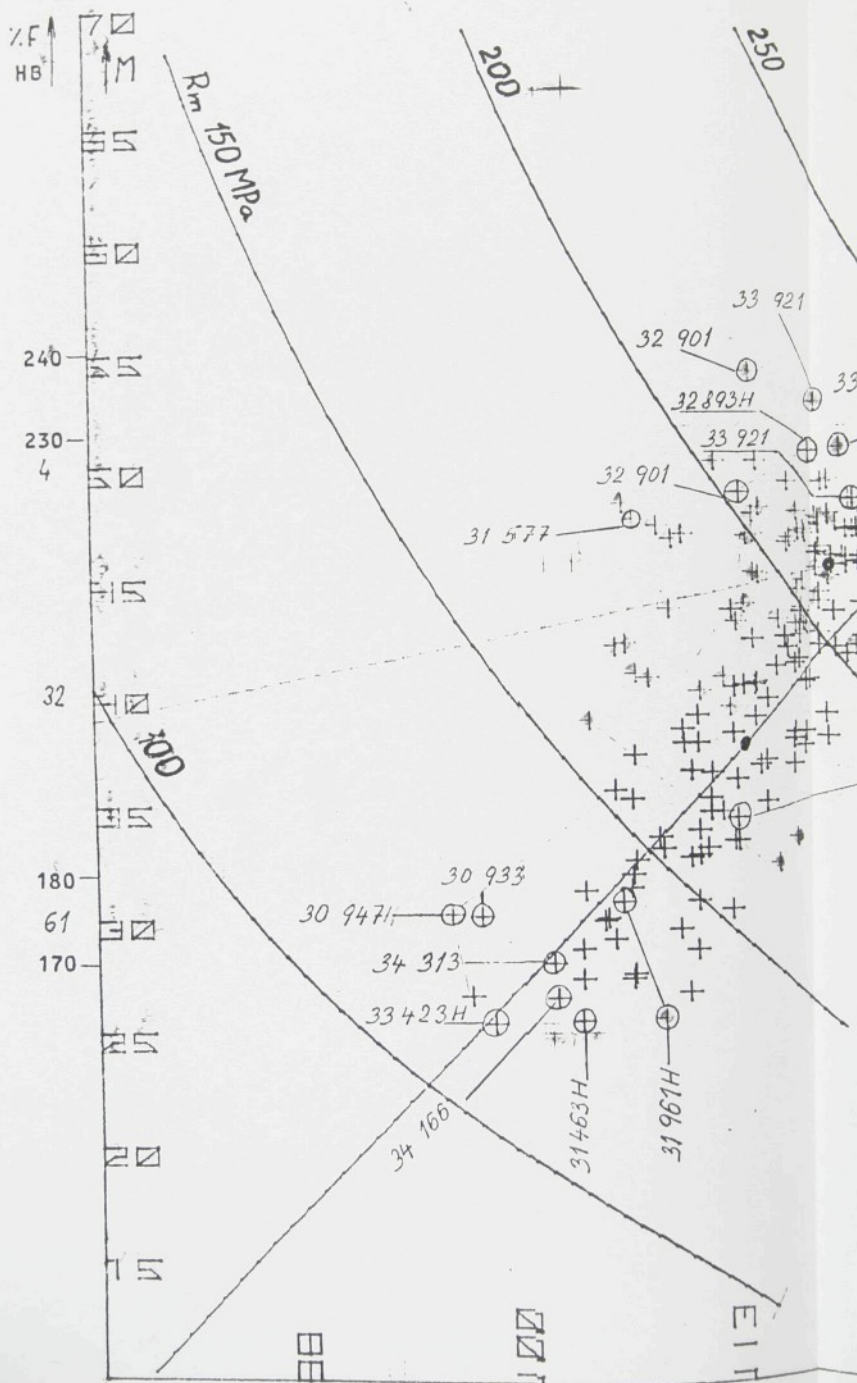
32 707H		179	43,5	101,9	162	8.	H	15.15
32 735H		189	46			8.	H	17.30
32 745H		181	44	120	203	8.	H	19.00
32 761H		174	42,2	104,4	164	8.	H	20.05
32 778H		178	43,2	105,5	169	8.	H	20.10
32 821	159,4		40,3			9.	T	11.00
32 852		184	44,8			9.	T	14.00
32 895H	192,8		47,5			9.	H	19,35
32 901	199		48,5			9.	H	20.05
32 942H	179,2		43,5	103,3	165	12.	H	9.50
32 952H	184,4		43,3	119,6	199	13.	H	9.20
32 985H		185	45	114,5	193	13.	H	9.50
33 00xx	188,6		44,5	103,8	168		W	
33 018H		192,5	46,9	114,3	197	13.	H	13.10
33 020H		185	44,9	125,4	217	13.	H	13.55
33 071		185	45			13.	T	20.30
33 112H		184	44,8	125,6	224,3	14.	H	9.10
33 197		184	44,8	127,6	221	14.	T	17.20
33 224	193,3		49,3			14.	T	20.00
33 272H	153,2		43,4			15.	H	9.05
33 328H		187	45,5	105,8	175	15.	H	14,15
33 389		189	46	112,5	190,9	15.	T	19.35
33 423H	146,9		38,3	86,3	122	16.	H	8.40
33 509	188,6		43,8	125,8	214	16.	T	15.50
33 599	187,6		45,4	110,9	186	17.	W	1.35
33 670		185	45	125,7	218	17.	T	7.25
33 678		171,8	41,6	120	195	17.	T	7.40
33 703	200		37,6	110,7	191	17.	T	10.10
33 723		187	45,5	111,9	188	17.	T	12.05
33 786		182	44	116	193	19.	W	14.00
33 809		198,5	48,4	110,7	193	19.	H	16,15
33 841		192	46,8	121,4	213	19.	H	19.40
33 882		186	45,2	112,8	189	20.	T	9.10
33 921	200		50,3	108,1	192	20.	T	13.20
33 935H		188	45,8	112,2	190	20.	H	15.00
33 942H		186	45,2	120,5	207	20.	H	15.20
33 961		185	45	105,2	173	20.	H	17.10
34 045		187	45,4	125,7	219	21.	W	9.50
34 109		178,4	43,3	99,1	156	21.	H	16.20
34 166	158,4		41,5	106,4	166	22.	W	7.20

Pokračování tabulky 2

34 203	188,6		45,2	113	190	22,12.	W	11.50
34 267H		182	44,2	109,8	180	22.	H	17.05
34 313	176,1		41,7	103,3	160	23.	W	7.10
34 413H	169,8		43,6	113,9	188	23.	H	17.20
34 581H		183	44,4	112,2	186	28.	H	7.30
34 629H		175,3	42,4	122,4	203	28.	H	11.00
34 843		186	45,2	106,6	176	29.	T	20.15
34 934		187,5	45,6	102,7	169	30.	T	16.45
15 1989		190	46,2	113	193	2.1.89	W	10.35
119		174	43,5	110,4	180	3.	W	7.30
181H		174	42,2	113	182	3.	H	16.40
249	194,8		44,2	112,2	184	4.	W	11.45
341H		172	41,6	99,1	152	4.	H	20.20
419	200		49	108,4	189	5.	W	14.00
447H		174	42,2	120	196	5.	H	19.30
484		178	43,1	110,4	179	6.	W	8.50
585H		178	43,3	116	191	6.	H	19.00
592		175	42,5	110	177	6.	H	19.50
653H	188,6		40,3	114,5	180	9.	H	11.40
663H	176		40,7	110,4	172	9.	H	12.10
669H	164		39,2	97,7	144	9.	H	12.50
738	180,3		42,9	113,3	184	9.	W	20.10

loku	klinek Z	C _{eq}	C	Mn	Si	P	S	Přepážky Rm	Výměník Rm
702	5	3,93	3,47	0,71	1,68	0,128	0,086	137	197
733	4	4,08	<u>3,51</u>	0,76	1,86	0,151	0,078	124	168
747H	2	4,08	3,5	0,9	2,01	0,157	0,082	121	186
288H	6	4,03	3,46	0,66	1,9	0,138	0,07	131	168
463H	4	4,01	3,5	0,64	1,79	0,125	0,074	123	180
321	3	3,98	3,34	0,89	<u>2,35</u>	0,137	0,079	133	170
423H	2	4,13	3,48	0,77	2,28	0,164	0,087	114	157
166	2	4,06	3,36	0,88	<u>2,4</u>	0,15	0,074	122	201
513	2	3,97	3,39	<u>0,91</u>	2,05	0,133	0,076	126	211
563H	3	4,07	3,42	0,75	2,24	0,125	0,075	128	191
569H	3	4,07	3,42	0,75	2,24	0,175	0,075	114	212
534	3	3,9	3,32	<u>0,95</u>	1,97	0,139	0,082	220	213
118H	5	3,94	3,36	0,8	1,7	0,162	0,071	231	243
120	3	3,93	3,39	0,8	<u>1,66</u>	0,180	0,074	225	242
197	12	3,78	3,28	0,9	1,72	0,146	0,083	238	214
570	6	3,77	3,28	<u>0,93</u>	1,89	0,146	0,083	231	247
703	7	3,76	3,22	<u>0,95</u>	1,76	0,144	0,086	235	226
721	7	3,93	3,35	<u>0,96</u>	1,99	0,147	0,074	222	227
15	5	3,89	3,36	<u>0,79</u>	1,98	0,134	0,074	216	242
592H	6	3,83	3,32	0,63	1,79	0,113	0,075	219	209
487	10	3,65	3,21	0,68	<u>1,4</u>	0,117	0,058	222	354
499H	4	3,94	3,42	0,68	1,76	0,123	0,081	165	316
761H	4	4,03	3,4	0,74	1,93	0,113	0,073	141	131
553H	5	3,82	3,26	0,74	1,85	0,125	0,084	189	221
578	5	3,80	3,24	<u>0,95</u>	1,96	0,142	0,083	183	237
761	4	3,93	3,34	0,8	1,96	0,127	0,094	144	188
599	5	3,92	3,41	0,87	1,76	0,144	0,077	211	230
149	6	3,78	3,25	0,8	1,81	0,125	0,08	210	221
745H	5	3,82	3,32	0,81	1,71	0,133	0,101	217	210
497	5	4,03	3,49	0,79	1,73	0,127	0,076	164	213

obr. 4 - 7



NEDESTRUKTIVNI MERENI BLOKU MOTORU

NAZEV MOTORU

33423H/88

datum: 28.12.1988 | Probeh km: 1km=0hod | blok c.odlitko:33423H/88

obeh hod: 1hod=50km | ic.motoru:1

vvozovatel: 1 | typ/proved.: 1

pamky: Odlito bez predpoci Pika.Mereno v zav. 91.V polozkach, kde schazi udati
uvyvedena 1.V radku prepazka c.2 jsou udaje namerene na stene vysece.

M E R E N I									
P R Y P O U T I T O U									
Prepazka	M1	M2	l	lu	Ns	Es*10 ³	Rm	HB	
c.			[mm]	[mm]		[MPa]	[MPa]		
1/2	30	30,7	8,45	11,8	28,1	98,3	118	165	
2/3	29,5	29	8,4	11,6	25,3	100,5	118	163	
3/4	28,9	28,2	8,7	12,4	24,8	94,3	106	162	
4/5	28,9	28,9	8,4	11,7	24,8	98,8	114	162	
5/6	31,6	27,6	8,45	11,8	25,5	98,3	114	164	
Prepazka	vana2	43,4	11,8	15,8	40,9	106,9	170,5		
lozisek	4	44,8	10	14	40,7	97,9	148		
c.	vymen.	47,4	7,5	10,2	38,5	103,5	157		
2	37,8	33,9	7,8	12	29,7	81	94	175	
3	35,2	32,5	7,4	11	27,3	86,7	99	168	
4	34,8	32,6	7,9	11,9	28,1	84,5	97	170	
5	35	34,3	7,75	10,8	28,7	98,7	123	172	
6	31,3	35,3	7,4	10,3	28,9	98,9	119	167	
Prumerne hodnoty prepazek valcu:					25,3	98	114	163	
Prumerne hodnoty prepazek lozisek:					28,1	90	106	170	

s: M1...mereni remagem z jedne strany

M2...mereni remagem z druhe strany

l...tloustka steny merena posuv. meritkem

lu...tloustka namerena ultrazvukem

Ns...korigovany remanentni magnetismus

$M_s = M / (81 * 10^{-2} * 91 + 1)$ $M = (M1 + M2) / 2$

Es...pocatecni modul pruznosti $E_s = (1 / 10 * 457,79)^{-2}$

Rm...pevnost v tahu $R_m = 10^{-1} * 6673 * M_s * 0,5000 * (1 / 10)^{-2} * 932$

HB...tvrdost v Brinelech $H_B = 2,57 * N_s + 98,1$

LIAZ, státní podnik
odbor vývoje materiálu a metalurgie
Jablonec nadn Nisou

V ý z k u m n á z p r á v a

Statistická kontrola materiálu bloků motorů M 1 A

č. 176 - 4 - Sk/90

Úkol RVT : H 05 - 124 - 886 : Vývoj a osvojení komplexní nedestruk-
tivní materiálové diagnostiky litinových odlitků v podmínkách LIAZ.

Hlavní řešitel : Ing. Břetislav Skrbek, CSc

Vedoucí odboru : Ing. Jaroslav Exner, CSc

V Jablonci n/N duben 1990





O b s a h zprávy :

1. Úvod	1
1.1. Použité symboly	1A
1.2. Strukturně mechanické vlastnosti předepsané výkresem	2
2. Současný stav poznatků	2
2.1. Metalografický rozbor	3
2.2. Mechanické vlastnosti	4
2.3. Výsledky materiálového rozboru	4
3. Technika experimentu	5
3.1. Místa měření	5
3.2. Metody a přístroje	7
4. Vlastnosti odlitků bloků válců /předpecí PIKS v provozu/	
4.1. Přehled výsledků	9
4.1.1. Tloušťky stěn	9
4.1.2. Tvrdost měřená na výkresem předepsaném místě	9
4.1.3. Vypočtené hodnoty pevnosti v tahu R_m přepážek válců a stěny výměníku	11
4.2. Diskuse výsledků	12
4.2.1. Char. souborů 1 a 2 z hlediska předpisů na výkrese	12
4.2.2. Char. odlitků z nízkoleg. litiny z hlediska předpisu na výkrese	14
4.2.3. Dvourozměrné vyjádření struktury	16
4.2.4. Časová posloupnost materiálové kvality bloků válců	17
4.2.5. Chemické složení a materiálová jakost	18
5. Porovnání výsledků kontroly z období odstávky předpecí PIKS a z období běžné výroby	19
6. Závěry a návrhy na opatření	21
Příloha tabulek a obrázků	
Literatura	
Protokoly bloků	



1. Úvod :

Blok válců tvoří základní nosnou součást motorů vyráběných v s.p. LIAZ. Je to typický, složitý, relativně tenkostěnný odlitek se složitými krystalizačními poměry při tuhnutí ve formě. Proto na mechanické vlastnosti jednotlivých partií odlitku bloku nelze usuzovat na základě tloušťky stěny a z informativních hodnot tabulek příslušných materiálových listů ČSN 422420.

Tato zpráva obsahově navazuje na zprávu 147-3-Sk/89, která se zabývala rozбором materiálové kvality odlitků bloků motorů /na bázi nepřímého nedestruktivního měření/ odlitých během odstávky /opravy/ velkoobjemového předpecí PIKS ve slévárně LIAZ 04.

Nová zpráva předkládá rozbor materiálové kvality bloků motorů odlitých převážně ve třetím čtvrtletí roku 1989 za provozu předpecí PIKS.

Statě o současném stavu poznatků a o místech a principech měření jsou podstatně zkráceny, neboť by se se zprávou 147-3-Sk/90 opakovaly.

V rámci diskuse výsledků jsou uvedeny výsledky měření na souboru 5 odlitků bloků válců motoru M 3 a bloku M 1 A odlitého z nízkolegované šedé litiny.

Výsledky všech provedených měření neodpovídají vždy výkresovým požadavkům, protože bylo snahou podchytit případné odchylky vlastností i v jiných partiích než jsou výkresem stanoveny. Provedená měření tedy mají charakter statistického zhodnocení kvality bloků ve vazbě na běžně kontrolovatelné vlastnosti /tvrdost na výkresem stanoveném místě/ a hodnoty kvality litiny dle materiálového listu. Závěry této práce rozšiřují dosavadní znalosti o skutečné reprodukovatelnosti vlastností bloků při hromadné výrobě a doplňuje výsledky nedestruktivního hodnocení obdobných odlitků v rámci vývoje a ověřování obdobných odlitků pro vývoj motorů.

1.2. Výkresem předepsané strukturně mechanické vlastnosti

Číslo výkresu odlitku bloku válců : 442 1 1002 013 5

Materiál : ČSN 422420

Jednotlivé body podmínek stanovených výkresem, které se týkají materiálu :



1. Chemické složení : C Mn Si P S
 % : 3,2-3,5 0,5-0,9 1,7-2,3 ≤ 0,3 ≤ 0,12
3. Tvrdost 170 - 230 HB měřená dle ČSN 420371
Tvrdost měřena na 5% odlitků, zkouška pevnosti v tahu z každé
tavby, chemické složení 2x z tavby.
6. Odlitek řízeně chlazen ve formě po dobu 160 min. Při kratší době
chlazení žhání na odstranění pnutí.
9. Struktura : min. 80% perlitu, max. 15% feritu u stěn 6-15 mm,
v ostatních stěnách uvnitř odlitků je min. 65% P a max. 30% feritu.
Termární fosfid. eutektikum vyloučeno v jednotlivých útvarech
ve stěnách 6 - 16 mm. Tepelné uzly obsahují max. nesouvislé síťoví.
Opravy zavařováním za tepla povoleny ve vyznačených místech.

Blok motorů M 3 : č.v. 61 - 2 - 6130, mat. 422425, šedá
litina legovaná Cr 0,25 - 0,35 Cu 0,15 - 0,25 Ni 0,15 - 0,25.
Z podmínek na výkrese :

7. Zkoušky pevnosti, tvrdosti, struktury a remanentní magnetizace
provést na vnitřních přepážkách válců, ložiskových přepážkách
a vnějších stěnách kontrolního odlitku. Po destrukci, t.j. na 1
a každém 10 u prvních 100 kusů a dále na každém 50 kuse.
Přepážky válců $R_m > 200$ MPa, 180 - 230 HB, obsah feritu $\leq 20\%$
Přepážky ložisek $R_m > 220$ MPa, 180 - 230 HB, obsah feritu $\leq 20\%$
Tvrdost ve výkresem předepsaném místě /hlavová plocha/ :
180 - 240 HB

2. Současný stav poznatků :

Dosavadní stav poznatků /výťah ze zprávy 147-3-Sk/90/
o struktuře a mechanických vlastnostech čerpá ze zprávy [1], [2]
a [8] : Blok válců je odléván naležato s vtoky, které ústí v
partii hlavové posedací plochy. Vnitřními přepážkami proudí kov
24 - 30 s. Naposledy se naplní kovem stěna výměníku tepla oleje
a příslušná část dosedací plochy vany. Vnější tenké stěny dosa-
hovaly při $L = 7$ mm hodnot R_m až 240 MPa, zatímco R_m motorových
přepážek byly zpravidla nižší jak standartní hodnota R_m 200 MPa
/tvrdešť i jen 140 HB/. Vzorky pro zkoušky pevnosti v tahu byly
získány destruktivně z několika odlitků bloků válců.

Dosud nebyla provedena statistická kontrola mechan. vlast-
ností rozsáhlého souboru odlitků bloků vyrobených za normálních
výrobních podmínek, ačkoliv by to řešení některých problémů

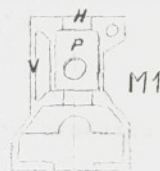
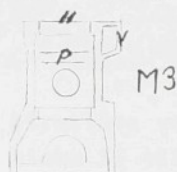


kvality motoru vyžadovalo.

Z provedeného nepřímého nedestruktivního měření mech. vlastností /soubor 100 odlitků/ bloků válců během odstávky předpeci PIKS ve slévárně LIAZ plynou střední hodnoty $\bar{R}_m$ v přepážkách válců 176 MPa s extrémy $R_m < 114, 238 >$ a hodnoty tvrdosti v místě měření, které předepisuje výkres $\overline{HB} = 180(133,$

205) Podle získaných hodnot nedestruktivního měření reprezentuje odlitek bloku 33423 H/88 dolní extrém strukturně mechanických vlastností a odlitek bloku M 3 /č.v. 61-2-6130, model M 3828, 1/89/ reprezentuje odlitek z nízkolegované šedé litiny - perspektivního materiálu pro bloky a hlavy nových typů motorů.

Vzorky bylo možno odebrat z odlitků pouze odvrtáním ruční vrtačkou. Proto byla velikost odebraných vzorků omezená:



2.1. Metalografický rozbor předkládá tabulka č. 1 :

Blok	M1A	M 33423 H/88	M 3	1/89
Místo	Grafit	Zákl.kov.hmota	Grafit	Zákl.kov.hmota
hlavová plocha H	GIA, vel. 250 μm náznyky rŮž. rozložení	30-40% feritu perlit lam. hrubý	GIA, vel. 125 μm meridendr. a rŮžic. rozložení	do 5% feritu perlit lam. stř. jemný
přepážky válců P	GI, max. 150 μm rŮžic. rozložení	ferit 85-95%	GIA, vel. 186 μm , meziden. přechlaz. grafit	perlit, v obl, meziden drit. G ferit do 10%
vnější stěna bloku V	GI, max. 87 μm meziden. a rŮžic. vylou- čení	perlit 100% lamelár., stř. jemný	GI, max. 186 μm rŮžice, mezidendr. vyloučení	perlit 100% lamelár., jemný



zvětšeno 100x

NITAL

Obr. 5 Struktura ve středu stěny prostoru výměníku oleje
bloku 33 423H/88

zvětšeno 100x



NITAL

Obr. 6 Struktura vnější stěny bloku motoru M3



zvětšeno 100x

NITAL

Obr.3 Struktura v přepážce 2/3 válce bloku 33 423H/88



zvětšeno 100x

NITAL

Obr. 4 Struktura v přepážce 2/3 válce bloku M3



zvětšeno 100x

NITAL

Obr. 1 Struktura v hlavové stěně bloku 33 423H/88



zvětšeno 100x

NITAL

Obr. 2 Struktura v hlavové stěně bloku M3



Licí kůra stěny výměníku motoru 33423 H je převážně feritická /do hl. 0,8 mm/ s drobným mezidendrit. usměrněným grafitem. Vnější stěna motoru M 3 má při povrchu jemnější a přechlazené formy grafitu, ale 100% obsah perlitu.

2.2. Mechanické vlastnosti :

Změřené a vypočítané hodnoty obsahuje tab. č. 2.

Mikroohybová zkouška provedena na speciálním přípravku [9].

Tvrdość HB 2,5/187,5 měřena ve středu stěny . Tabulka č. 2

místo	č.	průřez b x h /mm/	fp /1/	Roh /MPa/	Ms /1/	Eo /GPa/	Rm /MPa/	HB 2,5/187,
výměník	1	10,2x7,7	0,77	367	38,5	108,4	157	193
	2	10,2x7,2	0,32	323		109,5		193
přepážka	1	10,1x7,5	0,44	343	25,3	98,9	114	127
válců	2	10,2x7,5	0,48	333		100,6		119
vnější stěna	1	10,2x6,5	0,17	509	56,1	120,4	254	257
	2	10,2x6,7	0,14	497		122,7		257
	1	10,7x6,8			43,-	113,8	190	200

HB, Eo měřeno na vzorcích; Ms, Rm údaje z protokolu

nedestr. měření Roh pevnost v ohybu /MPa/

fp podíl pružně plastického nelineárního průhybu k
lineárnímu průhybu zkušební tyče.

Grafy ohybových zkoušek obsahuje příloha zprávy. Hodnoty Ms /intenzita zbytkového magnetizmu/ převzaty z protokolu o měření na příslušných blocích.

2.3. Výsledky materiálového rozboru : /reprezentují extrémy struktury/

Metalografický rozbor stanovil 85 - 90% podíl feritu ve struktuře litiny přepážek válců bloku válců 33423 H/88 a tak i těsnou souvislost mezi hodnotami Ms /hodnota intenzity zbytkového magnetizmu redukována na tloušťku stěny L/ a podílem feritu ve struktuře šedé litiny z produkce LIAZ 04 ve stěnách reálných odlitků : % F = 145 - 2,8 . Ms /1/

Dle výrazu /1/ pro přibližné stanovení %F, který byl experimentálně získán z měření v rámci [3], by byl vypočítaný obsah feritu ještě o 10% nižší.

Podíl v tvrdosti ve středu stěny ve struktuře přepážek válců



a stěny výměníků dosahuje opravdu u odlitku 33423 H/88 téměř dvou jakostních tříd šedé litiny. Pevnost v ohybu je však v těchto stěnách téměř stejná a odpovídá přibližně jakosti 422415. Na pevnosti v ohybu stěny výměníku má totiž nepříznivý vliv feritická lící kůra.

Statická pevnost v tahu R_m se feritickou lící kůrou tak nepříznivě neovlivní. Struktura i pevnost R_{m0} vnější stěny odlitku bloku M 3 odpovídá přibližně jakosti 422425.

5. Technika experimentu :

Odlitky bloků byly měřeny ve prostoru vstupního dopravníku provozu 4 před 1. obráběcí operací v závodě LIAZ 01.

Odlitky jsou ve stavu po ohrubování ve slévárně LIAZ 04.

5.1. Místa měření byla volena s ohledem na : konstrukční a provozní důležitost, slévářenskou koncepci odlitku, dostupnost měřících čidel /obr. 7/

- a/ dosedací plocha hlav válců mezi 3 a 4 válcem odpovídá místu předepsanému výkresem pro měření tvrdosti HB. Tvrdost je zde obvykle měřena dynamickou porovnávací metodou Poldi kladívkem. Další měření : intenzita zbytkového magnetismu M , informativní hodnota rychlosti zvuku v_L /měřeno mezi nerovnoběžnými plochami stěny/.
- b/ přepážky válců proměřovány asi 25 mm pod horním nákrůžkem vložených válců těsně vedle dělicí roviny jádra. Na pěti přepážkách postupně změřeny hodnoty M , L , Lu . Přepážky válců se vyznačují značnou průtočností tekutého kovu při odlévání /může dojít i ke sekundárnímu vyžehání již ztuhlých přepážek teplem akumulovanými jádry/ a mají důležitou nosnou funkci.
- c/ stěna výměníku tepla oleje je oddělena od tělesa odlitku velkoplošným jádrem, které může působit větší rozptyl tloušťky stěny /min. tloušťka měřena ultrazvukem/. Kovem se plní při odlévání naposledy. Změřeny hodnoty M , L , Lu .
- d/ přepážky ložisek proměřovány jen u vybraných odlitků. Proměřovaná partie se nachází těsně pod nálitky těsnících kroužků vložených válců. Představují značně namáhanou partii odlitku. Měřeny hodnoty M , L , Lu .

Místa nedestruktivní kontroly bloků válců motorů LIAZ:

1-5H přepážky válců /horní/

1-5D přepážky ložisek /dolní/

1-5M můstky mezi válci /dosedací plocha hlav válců/

1-7L ložisko klikového hřídele

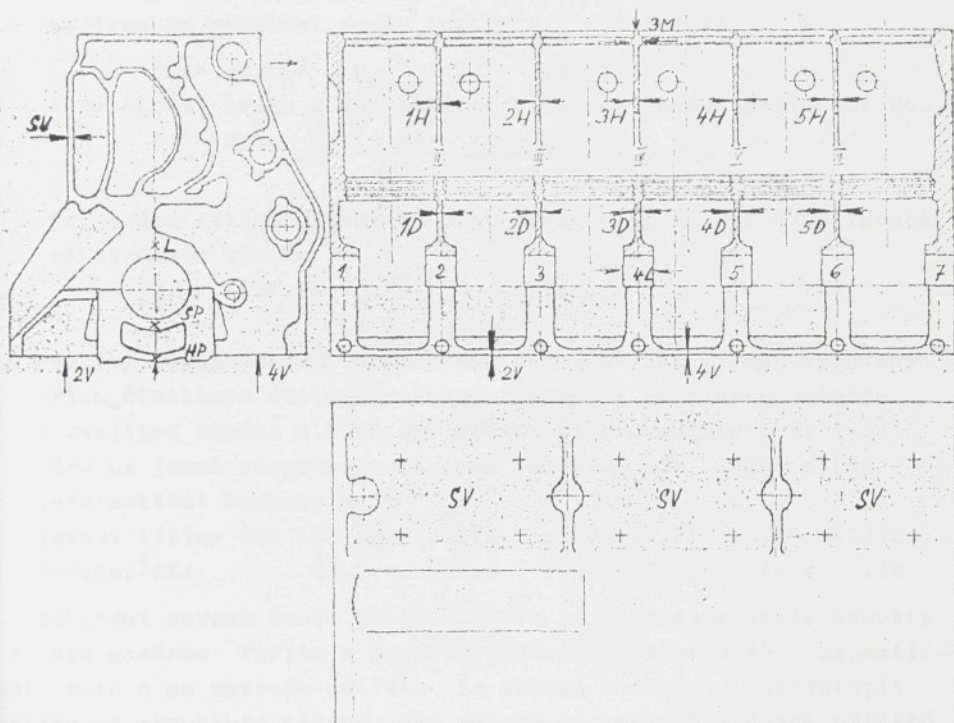
SV stěna výměníku tepla oleje

V vanová plocha

Místa kontroly vik ložisek

SP spodní pásnice

HP horní pásnice





e/ dosedací stěna vany na vačkové straně /měřeno pod 4 válcem/
a na výměňkové straně /měřeno pod 2 válcem, místa naposledy
zaplněna kovem při lití/. Proměřovány jen vybrané odlitky.

3.2. Metody a přístroje :

Podle tvaru, rozložení a množství grafitu ve struktuře litin se mění i rychlost šíření zvuku v_L [m/S]. Pro měření rychlosti zvuku je nutno znát skutečný rozměr /tloušťky stěny/ L a zdánlivý L_u změřený ultrazvukovým tloušťkoměrem, který je seřízen na rychlost zvuku oceli $v_{Lo} = 5930$ m/S.

$$v_L = L/L_u \cdot v_{Lo} \quad [m/S] \quad /2/$$

S rychlostí zvuku přímo souvisí počáteční modul pružnosti E_o .

$$E_o = v_L^2 \cdot \frac{1 + \mu / \cdot 1 - 2\mu /}{1 - \mu /} = 1/k \cdot v_L^2 \quad /3/$$

Pro šedou litinu vyráběnou v slévárně LIAZ 04 byl experimentálně stanoven výraz

$$E_o = 1437,79 \frac{L}{L_u} /^2 \quad [GPa] \quad /4/$$

Použitý ultrazvukový tloušťkoměr LC 545 polské výroby vybavený tříap_úlmístným dšplejem pracuje impulzní odrazovou metodou s dvojitou sondou o $\varnothing$ 16 mm. Měření se provádělo přes lici kůru na jemně otryskaném povrchu odlitku. ČSN uvádí pouze informativní hodnoty E_o :

Jakost litiny ČSN 422410	...15	...20	...25	...30	422305	
$E_o/GPa/^{+5\%}$	88,9	97,3	109,9	125,9	144,4	169

Základní kovová hmota běžných litin je feromagnetická, obvykle s různým poměrem feritu a perlitu. Intenzita zbytkového magnetického pole M na povrchu odlitku je úměrná množství a morfologii perlitu ve struktuře litiny. Při měření na tenkých stěnách odlitků nutno hodnoty M změřené na povrchu korigovat podle tloušťky stěny L . Pro přístroj Remag 1 v.č. 1177 byl stanoven korekční výraz

$$M_s = \frac{M}{81 \cdot L^{-2,91} + 1} \quad /5/$$

Sondou o $\varnothing$ 28 mm se měří přes lici kůru s pevně vestaveným pracovním režimem : citlivost $C = 1$, magnetizační proud $M_1 = 10A$.

Souvislost mezi M a standartními fyzikálními veličinami plyne z

$$\text{výrazů } /6/ \text{ a } /7/ : \quad H_r = 6,5 \cdot M - 32 \quad [A/m] \quad /6/$$

$$H_r = H_o - \frac{N \cdot I}{\mu} \quad [A/m] \quad /7/$$



Stěny proměřeny z obou stran.

Rozměry L měřeny posuvným měřítkem s nastavcí pro obkročná měření.

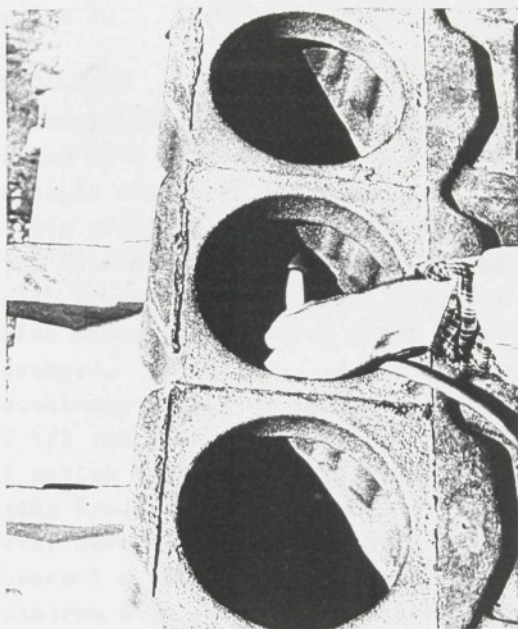
Výsledky měření v přepážkách a výměnících byly zpracovány mikropočítačem ve formě protokolů.

Výrazy pro výpočet HB a Rm :

$$HB = 2,57 \cdot Ms + 98 \quad /8/$$

$$Rm = 46,5 \cdot Ms^{0,5808} \cdot /L/Lu/^{2,932} \quad [MPa] \quad /9/$$

získány experimentálně v práci [3].



Obr. č. 8. Měření zbytkového magnetismu v přepážce válců
/blok M 2/.



4. Vlastnosti odlitků bloků válců /předpecí PIKS v provozu/

Předmětem měření je 1. soubor 101 odlitků bloků válců v intervalu výrobních čísel 15935/89 až 22349/89. Kontrolované množství tak představuje cca 1,5% produkce výroby z daného intervalu. 2. soubor 21 odlitků v.č. 23102H/88 až 30709/88 změřen před odstavením předpecí PIKS.

4.1. Přehled výsledků

Statisticky zpracovaná data změřená a vypočítaná obsahují tabulky 3 a 4.

4.1.1. Tloušťky stěn

Z příslušných sloupců tabulek 3 a 4 vyplývá, že nejsilnější přepážkou bývá střední - mezi 3 a 4. válcem. První, nejtěsnější přepážka je v průměru o 0,5 mm slabší.

Síla stěn přepážek je předepsána 8 mm a ve většině měřených blocích byla dodržena tolerance 8-9 mm.

Názornou představu o rozložení tlouštěk stěn jednotlivých přepážek podávají sloupcové grafy obr. 9A - E v příloze /1. soubor/.

Pod dovolenou mezi 8 mm se nachází pouze 9% hodnot v přepážce válců 1/2 /obr. 9A/. Grafy vesměs tvoří normální rozdělení. Strmý pokles vyšších hodnot tlouštěk v obr. 9E rozdělení má přepážka 5/6.

Tloušťky stěn výměníku oleje v ~~xxix~~ místě měření M, Lu jsou u souboru 1 v průměru o 0,7 mm svými hodnotami pod jmenovitým rozměrem 8 mm /obr. 10A/. Extrémně tenká minimální tloušťka celého výměníku 3,6 mm byla změřena na bloku 17645H/89. Rozložení min. tlouštěk stěn výměníku /obr. 10B/ má logicky největší rozptyl ze všech měřených tlouštěk stěn.

4.1.2. Tvrdost HB měřená ve výkresu předepsaném místě

Všechny odlitky byly v tomto místě proměřeny Remagem 1, u 41 odlitků souboru 1 změřena tvrdost též Poldi kladívkem.

Informativně byla změřena v_L a vypočten E_o . Ze vztahů [4.1] ze zprávy 147-3-Sk/89 vypočtena R_m . Hodnoty uvedených veličin obsahuje tabulka 5. Důvody, proč jsou hodnoty v_L , R_m jen orientační uvádí kap. 3.1. zprávy 147-3-Sk/89.



Tabulka č. 3

statistický rozbor měřených veličin souboru odlitků bloků litých
před odstavením předpecí PIKS v r. 1988, měřeno n = 21 odlitků

Číslo řepážky	Rm /MPa/ S _R		L /mm/ S _L		Ms /1/ S _M		Eo /GPa/ S _E		HB /MPa/ S _{HB}
1/2	201	29	8,26	0,25	40,9	6,8	118,7	6,1	
2/3	199	32	8,53	0,23	40,6	6,4	118,6	7,1	
3/4	200	28	8,72	0,18	41,2	6,3	118,8	6,3	
4/5	199	30	8,62	0,22	40,8	6,7	118,5	5,9	
5/6	207	32	8,56	0,26	41,9	7	120,8	6,5	
$\bar{x}$	201	30	8,54	0,23	41,1	6,4	119,1	5,6	203,7 16,5
min.v.č. bloku	137	24594 /88	7,63	29626 H	28	24954	107,2	24954	170
max.v.č. bloku	242	29626 H	9	23385	52,1	30709	128,1	29626	232
výměník	223	19,8	7,9	0,47	47,3	2,9	121,7	6,5	219,9 7,5
min.	191	30411H	7,15	5,9	41,5	30639	111,4	24954	205
max.	270	29626H	8,74	7,7	52,5	30709	132,8	29626	233
min. *			7,04	0,52					

min. tloušťka celé stěny výměníku oleje.

Tab. č. 4

statistický přehled měřených a vypočítaných veličin souboru
odlitků bloků z v.č. 15935-22349/89/za provozu předpecí PIKS/

n=101 odlitků	Rm	S _R	L	S _L	Ms	S _M	Eo	S _E	HB	S _{HB}
1/2	187	37	8,19	0,32	40	7,2	113,2	13,7	201	18,7
2/3	194	34	8,56	0,22	40,9	6,6	116	8	203	16,9
3/4	194	33	8,69	0,2	42	6,7	115,6	7,9	206	17,1
4/5	192	33	8,58	0,22	42	7	115,2	7,1	205	17,1
5/6	194	35	8,43	0,27	42,4	7,6	115,7	12,5	207	19,6
$\bar{x}$	192	34,8	8,49	0,25	41,5	7	115,1	9,8	204	17,9
min.v.č.bl.	113	19954	7,0	22116H	25,4	17625 H	95,2	22772 H	164	17625H
max.v.č.bl.	247	18109	9,1	18253	53,6	18471	127,3	18273H	236	18471
výměník x	204	25	7,31	0,4	48,1	3	113,1	8,2	221,5	7,8
min.v.č.	151	21772H	6,2	17781	41,6	19869H	93,3	17645H	205	
max.v.č.	299	18714H	8,2		55,1	16893	140,6	21928H	241	

in. tl. celé stěny výměníku : L = 6,08 S_L 0,65.min.L = 3,6/odl.
17645 H/.

tlavová plocha HB = 178 S_{HB} = 16,7 /Poldi kladívka/, vypočtená
S_{HB} = 183 S_{HB} = 9,1



střední hodnota tvrdosti změřená POLDI kladívkem 178 HB je při dolní hranici předepsané výkresové tolerance 170-230 HB. Názornou představu o rozložení měřených hodnot dává obr. 11 B v příloze.

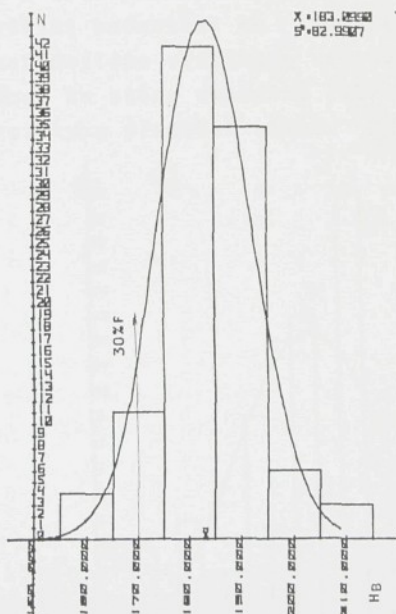
	R _m	S _R	HB	S _{HB}
Vypočítaná stř. hodnota : soubor 1 :	194	27	183	9,1
soubor 2 :	202	20	175	10

Použitím výrazu pro výpočet HB ve výkresem předepsaném místě ze zprávy 147-3-Sk/89 :

$$HB = 3,92 M + 8,7 \quad /10/$$

a výrazu /1/ lze vypočítat hodnotu 30% obsahu feritu odpovídající 170 HB vypočteným z M /viz. obr. 11A/.

Tato hodnota je ve shodě s výsledky materiálového šetření v LIAZ 04, na základě kterého byla hodnotě tvrdosti šedé litiny 170 HB přiřazen 30% obsah feritu ve struktuře.



Obr. 11A: Tvrdost HB mezi 3 a 4 válcem z hodnot M.



Hodnoty R_m hlavové partie byly vypočteny dle výrazu převzatého z /3/

$$R_m = 33,5 \cdot \sqrt{L/L_u}^{2,606} \cdot M^{0,636} \quad /11/$$

Vypočtená tvrdost HB souboru 2:

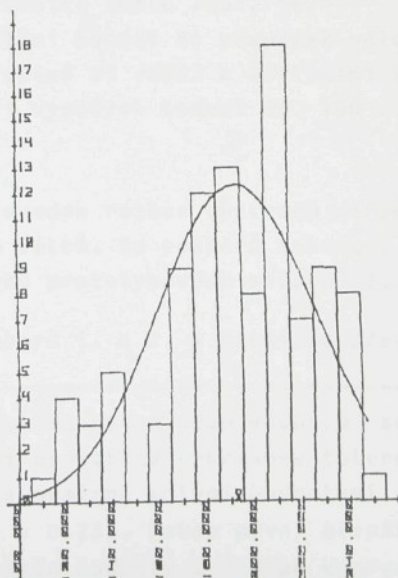
$$\overline{HB} = 175, S_{HB} = 10$$

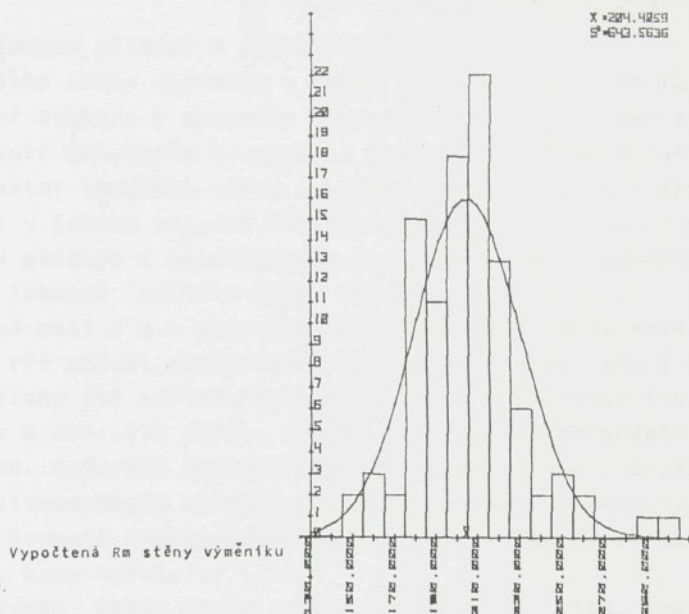
4.1.3. Vypočtené hodnoty pevnosti v tahu R_m přepážek válců a stěny výměníku

Číselné hodnoty R_m jednotlivých přepážek a stěny výměníku každého bloku stejně jako výchozích veličin souborů 1 a 2 obsahují protokoly v příloze. Souhrnné výsledky jsou v tabulkách 3 a 4. Střední hodnoty R_m jsou v jednotlivých přepážkách vyrovnané. Pouze 1 přep. 1 souboru má R_m o 5 MPa nižší. Sloupce diagramy v příloze /obr. 12A - E/ znázorňují rozložení hodnot R_m v jednotlivých přepážkách. Málo četný výskyt hodnot R_m přepážek 160 ± 10 MPa dělí soubor 1 na skupinu odlitků s velmi nízkými hodnotami R_m $\langle 110, 150 \rangle$ a skupinu s vyššími hodnotami R_m $\langle 170, 240 \rangle$ MPa. Tuto skutečnost nejlépe vystihuje výsledný diagram - obr. 12. Rozptyl hodnot R_m stěny výměníku /obr. 13/ je podstatně menší jak týž rozptyl u přepážek válců.

X = 192,625
S = 1877,464

Vypočtená R_m přepážek válců





Obr. č. 13:

Vypočítané hodnoty HB z hodnot Ms dle s jejich hodnotovým rozložením ukazují obr. 14A - E. Střední přepážka je průměrně o 5 HB tvrdší jak 1. přepážka. Tvar rozložení se blíží normálnímu jen s pozvolnějším poklesem k nižším hodnotám /viz. rozložení výsledných hodnot HB - obr. 15/. Velmi široké rozptylové pole hodnot HB charakterizuje stěnu výměníku tepla /obr. 16/.

Normální charakter rozložení hodnot Eo přepážek válců - obr. 17 ruší výskyt 4 hodnot ve skupině 95 /GPa/ a rozložení Eo výměníku naopak výskyt /obr. 18/ tří vysokých hodnot Eo > 130 /GPa/.

4.2. Diskuse výsledků

V této kapitole je proveden rozbor výsledků měření na 1. a 2. souboru odlitků bloků válců. Do rozboru zahrnuty i výsledky měření na skupině bloků prototypových motorů M3.

4.2.1. Charakteristika souborů 1. a 2. z hlediska předpisu na výkrese

Tloušťky stěn L přepážek válců obou souborů se nachází svými stř. hodnotami uprostřed výkresové tolerance /8,49 ; 8,54 mm/ s poměrně malými hodnotami směrodatných odchylek /S = 0,25 ; 0,23/. Pouze první přepážka v devíti procentech nedosahovala hodnoty L = 8 mm u prvního souboru



a v jednom případě u druhého souboru.

Tloušťka stěny výměníku v místě měření R_m /asi 40 mm od čela bloku/ souboru 2 vyhověla vždy toleranci 8 ± 1 mm. Ze souboru 1 tomuto požadavku nevyhovělo 14 odlitků. Nebezpečně tenká minimální tloušťka stěny výměníku $L = 3,6$ mm byla změřena pouze v jednom případě /hrubá chyba výstupní kontroly LIAZ 04/. Dosud platným a uplatňovaným kritériem pro hodnocení materiálové jakosti odlitků bloků válců je tvrdost 170 - 230 HB měřená mezi 3 a 4 válcem na dosedací ploše hlav Poldi kladivkem. Při měření zbytkového magnetizmu v tomto místě byly proměřeny jen odlitky vykazující malé nebo velké hodnoty M. Proto z obr. 11B plyne, že jen 10% odlitků nedosáhlo hranice 170 HB. Nejnižší hodnota 138 HB byla změřena u bloku 21987H89. Pro silnostěnnou obrobenou partii tak bylo potvrzeno, že vypočtené hodnotě 170 HB odpovídá cca 30% feritu ve struktuře /viz. kap. 4.1.2./.

Pro tenké stěny bloku dovoluje výkres max. 15%, resp. 30% feritu.

Těmto obsahům feritu lze pomocí výrazů /1/ a /6/ přiřadit odpovídající hodnoty tvrdosti 217 a 203 HB a odvodit výraz :
 $HB = 231 - 0,918 \cdot F$ /12/

Podle tohoto strukturního kritéria téměř polovina všech kontrolovaných odlitků obsahuje více jak 30% feritu ve struktuře přepážek válců /obr. 14,15/. Vnější stěna výměníku /max. 15% F/ strukturní podmínce vyhovuje z 83% /obr. 16/. Byly ale také vyrobeny odlitky s plně perlitickými přepážkami válců /10% a stěnou výměníku /40%/.

Pro pravděpodobnost vyjádřenou číslem Z střední hodnoty u veličiny celého výrobního intervalu /15935-22349/ platí
90%-99%-pravděpod. $\mu = \bar{x} \pm \frac{S_x}{\sqrt{n}} \cdot Z$ /13/

Odvozeno pak při 90% pravděpod. pro soubor 1 :

přepážky válců % F = $28,8 \pm 5,7$

a stěnu výměníku % F = $10,9 \pm 1,28$

Meze pevnosti v tahu R_m nejsou výkresem u bloků M1 speciálně předepsány. Pokud se ale budeme řídit materiálovým listem



ČSN 422420, tak slabším stěnám je přiřazena vyšší hodnota pevnosti R_m :

L	4 - 8	8 - 15	15 - 30	/mm/
R_m	250	230	200	/MPa/

Toto ale platí pro volně lité desky a nikoliv pro značně průtočné stěny bloku motoru. Větší rozptyl hodnot $R_m = 192 \pm 34,4$ / 201 ± 30 - soubor 2/ přepážek válců vůči $R_m = 204 \pm 25$ / $223 \pm 19,8$ / výměníku je dán především větším rozptylem %F zákla. kovové hmoty /obr. 15 a 16/ při podobných parametrech grafitické části struktury vyjádřené hodnotami E_o /obr. 17 a 18/.

Strukturní a hodnotové souvislosti zjištěné pro soubor 1 platí pro soubor 2 také, ačkoliv svojí četností není reprezentativní. Celkově je hladina zjištěných mech. vlastností bloků souboru 2 vyšší vůči souboru 1. Odlitek s velmi nízkou hodnotou v přepážkách byl v souboru 2 pouze jeden /24594/88/, kdežto v souboru 1 tvoří celou skupinku 13ti odlitků : 17625H, 17645H, 17907, 18495, 18730H, 19954, 21380, 21614H, 21966H, 21772H, 21928H, 22116H, 22114H. Provedeme korelaci /lineární/ mezi hodnotami R_m přepážek a hodnotami HB /Poldi kladívko/, M , E_o , R_m změřenými a vypočítanými v místě předepsaném pro kontrolu tvrdosti /mezi 3. a 4. válcem dosedací plochy hlav/:

		četnost	M	E_o	R_m	HBp
koef.	K	N = 101	0,51	0,65	0,68	-
korelace		N = 41	0,56	0,71	0,8	0,72

Nízké hodnoty koeficientu K naznačují, že lze usuzovat na strukturně mechanické vlastnosti přepážek válců z měření na výkresem předepsaném místě.

1.2.2. Charakteristika odlitků bloků válců z nízkolegované litiny z hlediska předpisů na výkrese

V rámci pravidelné diagnostiky odlitků bloků válců pro vývojové motory byl proměřen soubor pěti odlitků M3 /ozn. 1-5/ a odlitek 12617H/86 M 1A litý běžnou výrobní technologií, ale z nízkolegované litiny. Protokoly s výsledky měření ve všech smluvních místech a/ - d/ /viz. kap. 3.1./ jsou v příloze.



Vypočtené hodnoty obsahuje tabulka č. 6:

č. bloku	přepážky valců			vnější stěny			přepážky ložisek		
12617H/86	219	120,8	221	256	126,6	277	243	122,9	252
1/89	215	114,6	201	242	123,8	254	233	120,8	235
2/89	219	116	209	259	116,8	249	241	115,8	230
3/89	212	118,4	208	258	139,7	322	232	120,8	235
4/89	214	122,2	219	261	118,8	257	243	122,1	250
5/89	221	125,3	236	259	120,8	262	235	112,6	214
HB	Eo	Rm		HB	Eo	Rm	HB	Eo	Rm

vana

HB	Eo	Rm
240	121	244
239	120,7	242
252	121,7	257
269	114,4	250
256	123	266
260	122,7	268

Z bloků 1/89 byly odebrány vzorky pro materiálový rozbor /kap. 2/.
Rovnoběžné plochy v hlavové partii /otvory válců/ bloků M3
umožnily objektivně změřit i tuto silnostěnnou partii odlitků -
tabulka č. 7 :

blok M 3 :	1	2	3	4	5
Rm	213	216	215	214	212
Eo	119,4	117,2	117,6	113,6	115,7
HB*	222	207	203	221	217

* - měřeno Poldi kladivkem

Pro objektivní nedestruktivní měření rychlosti zvuku /Eo/ a
tím i Rm hlavové partie odlitku bloku M 1A by bylo nutno vytvořit
rovnoběžné technologické plošky.

Odlitky z nízkolegované šedé litiny ve všech podmínkách ve
struktuře a mech. vl./viz. tab. 6, 7/výkresu /viz. kapitola 1/ vy-
vují. Rozdíl hodnot Rm mezi přepážkami válců a vnější stěnou bloku
/výměník/ tvoří prakticky 50 MPa /jedna jakostní třída/.

Pro objektivní posouzení příslušného vlivu legování na velikost
a hlavně snížení rozptylu mech. vlastností v přepážkách válců
by bylo nutno sledovat dostatečně četný soubor odlitků vyráběných



již výrobní technologií. O jakou hodnotu by se zvýšila R_m přepážek válců odlitků 17625H, 17645H 22116H, kdyby byly legovány?

Z rozsáhlého souboru 1 lze vybrat mnoho odlitků z nelegované šedé litiny se vzorovými mech. vlastnostmi. Za určitých výrobních podmínek lze tedy i z nelegované šedé litiny vyrábět velmi kvalitní odlitky, vyhovující materiálovým podmínkám výkresu odlitku i bloku motorů M 2, M3.

2.3. Dvourozměrné vyjádření struktury odlitků

Vektorové vyjádření struktury jednotlivých odlitků /hodnotami M_s a E_o / v přepážkách válců a výměníku umožňuje další hodnocení výsledků měření. V rovině $\langle M_s, E_o \rangle$ jsou zakresleny isopevnostní čáry $/R_m = \text{konst.}/$.

Na obr. 19 jsou zakresleny koncové body strukturních "vektorů" přepážek válců /modře/ a výměníku /zeleně/ odlitků /předpětí PIKS provozu, 3. čtvrtletí 1989/souboru 1. Body s extrémní polohou jsou značeny výrobními čísly bloků válců.

Množina bodů přepážek válců je velmi "štíhlá" s osou kolmou a isopevnostní čáry. V tomto případě rozptýl parametrů struktury litiny odlitků působí nejnejpříznivěji na rozptýl hodnot R_m .

Rozložení bodů množiny struktury výměníků je z tohoto pohledu příznivější.

Skupina odlitků s velmi nízkými hodnotami $R_m < 150$ v přepážkách a oddělenou polohu strukturních "vektorů". Každý z těchto odlitků má v přepážkách a výměníku blízké hodnoty E_o /tzn. blízkou morfologii grafitu ve struktuře/, ale výrazně odlišné hodnoty M_s /podstatný rozdíl v množství feritu ve struktuře/. Výjimku tvoří odlitky 21928 H a 8 714 H/89 svým extrémním rozdílem hodnot E_o mezi přepážkami a výměníkem. Vysoké E_o hodnoty E_o u šedé litiny může působit výskyt volného elementitu ve struktuře /očkování/.

Četný soubor odlitků s vysokými hodnotami $R_m > 200$ MPa ve stěnách vyniká malými rozdíly ve struktuře ^{přepážek} a výměníku, přičemž obvyklé hodnoty E_o v přepážkách jsou nepatrně vyšší.

Na obr. 21 je pozorována struktura odlitků z nelegované litiny s extrémními parametry základní kovové hmoty ve struktuře /perlit - ferit/ a odlitků z nízkolegované šedé litiny. Při prakticky stejných i nízkých hodnotách E_o /char. morfologii grafitu ve struktuře/ je možno i bez legování dosáhnout vysokých hodnot M_s . Průměru odlitky z nízkolegované litiny dosahují vyšších hodnot R_m jak odl. z nelegované litiny /porovnej obr. 19 a 21/.



4.2.4. Časová posloupnost materiálové kvality odlitků bloků válců

Ve slévárnách se zapisuje: čas odlití, výsledek chemického rozboru z pravidelně odebíraného vzorku litiny /nereprezentuje, přímo složení litiny bloku/, změřený "Ceq". Časový rozpis odlévání obsahuje tab. 5. Ve sloupci "směna" označuje první písmeno směnu ranní - R nebo odpolední - O. Další písmeno /B, Ž, M, V, K/ značí mistra formovny. Písmeno H na odlitku je obvykle přiřazováno urč. pracovní směně. Ve slévárně se pravidelně provádí rozměrová /mechanicky a ultrazvukem/ kontrola odlitků válců. Blok 21966H/89 /vypočt. Rm v přep. 144MPa/ byl rozměrově kontrolován ve slévárně i ultrazvuk. tloušťkoměrem. Pokud by se ultrazvukové kontroly rozměrů /sily stěn/ využilo ve slévárně i k materiálové diagnostice, nemohl by zmíněný odlitek být považován za vyhovující. Mimoto značné rozdíly v rychlosti zvuku ve stěnách těchto odlitků působí i významnou chybu při ultrazvukovém měření vlastních tloušťek stěn /při tomto měření se ve slévárně uvažuje rychlost zvuku $v_L = 4400$ m/s za konstantní v litině/.

Porovnání stř. hodnot Rm přepážek odlitků pro jednotlivé směny a skupiny pracovníků přináší tabulka č. 8:

směna	O	R	B	V	M	K/H/	Ž/H/
Rm	197	188	200	197	172	188	181
S _R	29	35,8	27,3	23,5	4,2	29,8	39
N	59	42	49	5	2	13	32

Z výsledků v tab. 8 plyne, že ranní směna vyrábí především s větším rozptylem mech. vlast. při nižší absol. hodnotě Rm bloků v přepážkách o 10 MPa. Četnost kontrolovaných odlitků je významná jen od označení B a Ž. Výsledky přiřazené ozn. H jsou nadprůměrné. Při podrobnějším pohledu do tab. 5 a protokolů je patrné, že většina odlitků s velmi nízkými hodnotami Rm v přepážkách přísluší ozn. Z /H/ stejně tak, jako několik odlitků s $Rm \geq 230$ MPa. Názorný pohled na



Časovou posloupnost hodnot R_m přepážek bloků dává obr. 22 a 23. Hodnoty, které přísluší jedné směně jsou spojeny plnou čarou. Ze šesti směn B, z kterých bylo změřeno tři a více bloků, má pět průběh hladiny R_m s max. uprostřed. Z množiny kontrolovaných odlitků jen č. 17221 byl odlit 26.6.89 jako poslední / $R_m = 191 \text{ MPa}$ /. Kolísání hladiny hodnot R_m může být během jedné směny náhle - viz. měření z 4.7. /B/, 15.8. /B/, až 90 MPa, 31.8. /Z/ až 95 MPa zde ale rozdíl 7 čísel je spojen s odstupen 25 h. Proto nelze ani spolehlivě uvažovat obalovou křivku časového průběhu R_m , z které by např. plynula výroba odlitků s nadprůměrnou hodnotou R_m v obdobích 5-10.7.89, 8-11.8.89 a podprůměrnou 31.8.-5.9.

4.2.5. Chemické složení a materiálová jakost

Pro vybraný soubor odlitků s extrémními hodnotami R_m /příp. Eo, HB/ v přepážkách bylo z dokladů slévárny v tabulce č. 9 vypsáno chem. složení, C_{eq} stanov; termickou analýzou a z hloubka zákalů z klínkové zkoušky.

Pro odlitky bloků motorů je ve slévárně předepsáno rozmezí uhlík. ekvivalentu $C_{eq} = 3,82 - 3,98$. Z 15ti odlitků, pro které $C_{eq} > 3,98$ je 10 s velmi nízkou hladinou hodnot R_m 150 MPa přepážek válců. Odlitky č. 17021, 17178 a 17206 však i při překročivé, nepříznivé hodnotě C_{eq} mají hodnoty R_m 210 MPa v přepážkách válců. Naopak odlitek 21320 ačkoliv $C_{eq} = 3,82$, tak $R_m = 124 \text{ MPa}$ min. hodnota $3,8 \leq C_{eq} \leq 3,82$ přísluší odlitkům 16893 / $R_m = 222$ / a 22210 / $R_m = 242$ /.

Proto předpokládaná poměrně těsná závislost R_m přep. $\approx f /C_{eq}/$ je spojena s nízkým koef. korelace $K = -0,577$. Pro stupeň eutektičnosti vypočítaný z chemického složení /obr. 24, 225/

$$Se = \frac{C \%}{4,28 - 0,33 /Si + P/} \quad /14/$$

$$R_m = f /Se/ \quad K = -0,628$$

Poměr C/Si netraje ve vztahu k R_m přepážek významnou roli. Obsah Mn je v poměrně nízké tolerančním pásu a extrémní obsahu Mn nesouvisí s extrémní strukturně mechan. vlastností. Z uvedeného soubodu vyplývá, že kromě základního chemického složení je významný vliv dalších faktorů /teplota liti, očkování, legury, suroviny, vysoká teplota předehřevu pro zavař/.



strukturně mechan. vlastností vnitřních partií odlitků bloků válců. Tyto vlivy však nelze zpětně kvantifikovat.

5. Porovnání výsledků kontroly z období odstávky předpecí PIKS
a z období běžné výroby

V tabulkách označme soubor odlitků, který byl předmětem hodnocení zprávy 147-3-Sk/89 číslem 0/odlívány během odstávky předpecí/. Tloušťky stěn L přepážek válců mají u všech souborů prakticky stejné vlastnosti a plně vyhovují výkresové dokumentaci :

řepážka	$L_{(mm)}^{1/2}$	S_L	$L_{(mm)}^{3/4}$	S_L	N
0	8,3	0,29	8,8	0,23	100
1	8,2	0,32	8,7	0,2	101
2	8,26	0,25	0,72	0,18	21

Zato u stěny výměníku došlo k průměrnému zeslabení stěny o 0,5mm.

výměník	L	S_L	Lmin	S_L	Lmin
0	7,8	0,3	6,9	0,64	5,4
1	7,3	0,4	6,1	0,65	3,6
2	7,9	0,47	7,04	0,52	5,9

kteé se promítalo i do hodnot mín. tlouštěk L min. v celé ploše výměníku.

tab. 9 změřená tvrdost vypočtené hodnoty

soubor	HB	S_{HB}	N	HB	S_{HB}	Rm	S_R	N
	Poldi klad.			Remag 1				
0	178,5	17,7	39	180	12,5	182	19,3	100
1	178	16,7	41	183	9,1	194	27	101
2	-	-	-	175	10	202	20	20

Tvrdost měřená Poldi kladívkem na výkresem předepsaném místě zůstala prakticky na stejné stří. hodnotě při dolní hranici předepsané výkresem. 10% odlitků nedosahovalo předepsané hodnoty 170 HB. Toto platí pro soubor 0 i 1. Nedestruktivní kontrola ale odhalila některé strukturní změny /v tab. 9/. Během odstávky předpecí se mírně zvětšil rozptyl obsahu feritu $/S_{HB}/$, snížila pevnost této partie odlitku /10-20 MPa/vlivem zhoršených strukturních vlastností grafitu $/E_{01}/$.



strukturní poměry ve stěnách odlitků vystihuje tab. 10:
přepážky válců

přepážky valcu							
	Rm	S _R	E ₀	S _E	HB	S _{HB}	
0	176	32	113	6,8	194	16,4	
1	192	34,4	115,1	9,8	204	17,9	
2	201	30	119,1	5,6	204	16,5	
výměník							
	Rm	S _R	E ₀	S _L	HB	S _{HB}	N
0	209	24	118,1	6,9	214	11,2	100
1	204	25	113,1	8,2	221	7,8	101
2	223	19,8	121	6,5	220	7,5	21

Během výroby v předpecím se zvýšila průměrně hodnota Rm v přepážkách o 16 - 25 MPa a to především zvýšením průměrného obsahu perlitu ve struktuře o 10% /výraz [10]/. V průměru se zmenšil rozdíl vlastností vnitřních a vnějších stěn /soubor 1/, ale zvětšil rozptyl E₀ tj. parametrů grafitu /S_E/ ve struktuře stěn. Z dvourozměrného vyjádření struktury souborů odlitků /obr. 4-7 zprávy 147/ je zřejmé, že množství odlitků s velmi nízkou hladinou Rm ≤ 150 MPa v přepážkách klesla na polovinu. Množství odlitků s "vyrovnanou" a kvalitní strukturou vnějších a vnitřních partií odlitku stoupl o 30% až 50%!

Zatímco u souboru 0 bylo možno stanovit příčinu nízké pevnosti přepážek ve většině případů překročením hodnoty Ceq />3,98/, což potvrdila i hodnota koef. korelace Rm = f /Ceq/ K = -0,817 je korelace mezi Ceq a Rm pro soubor 1 podstatně slabší /K = -0,577/. Do materiálové kvality odlitků začaly patrně více působit teplota ožkování, přehřátí při lití, předehřev při zavařování.

Z třech pracovních skupin /ozn. H, T, W/ tavírny /soubor 0/ měla jen směna H při stejných rozptylech Rm nižší průměrnou hodnotu Rm o 13 MPa. Na výrobě odlitků souboru 1 se výrazně podílely směny ozn. B a Ž, přičemž Ž /W/ dosáhla téměř 20 MPa nižších hodnot Rm v přepážkách válců při podstatně větším rozptylu /S_R/. Nižší mater. jakosti odlitků /tab. 8/ se dosahuje při ranní směně /ve srovnání s odpolední směnou/, to se týká především rozptylu parametrů struktury litiny. Během výroby odlitků souboru 0 i 1 jsou možná náhlá kolísání jakosti litiny /obr. 4-9, obr. 22/.

Velkoobjemové předpecí PIKS se ve slévárně LIAZ přispívá již několik let k zvýšení kapacity a jakosti litiny, která požadavkům kladeným na současné motory vyhovuje. I při výskytu zjištěných extrémů ve struktuře zejména vnitřních partií odlitků bloků válců,



ebyla prokázána destrukce bloku za normálního provozu v motoru za pos-
dních deset let. Musíme si uvědomit, že jakákoliv změna TP vedoucí
k zvýšení jakosti materiálu je spojena s drahými výrobními opatřeními.

6. Závěry a návrhy opatření

Srovnání strukt. mech. vl. souboru odl. bloků litých na běžného
provozu k souboru odl. bl. litých při odstávce předpecí :

- a/ výkresem předepsaných hodnot 170-230 HB tvrdosti /v místě předepsaném ke kontrole/ dosahovalo vždy 90% odlitků
- b/ výkresem předepsaného max. obsahu feritu /15%/ ve struktuře vnějších stěn dosahovalo během odstávky předpecí necelých 50% odlitků, kdežto za obvyklého provozu plných 83%. Výkresem předepsaného mx. obsahu 30% feritu ve struktuře vnitřních přepážek dosahovalo během odstávky předpecí přibližně jen 30% odlitků, kdežto za obvyklého provozu přes 50%.
- c/ nižší je rozdíl strukturně mechan. vlastností mezi vnějšími a vnitřními partiemi při zvýšení hladiny R_m přepážek válců odlitků bloků cca o 10-25% MPa.
- d/ o 20% se zvýšila četnost odlitků s velmi dobrými strukt.mech. vlastnostmi / $R_m \geq 200$ / v přepážkách válců /50%/ a na polovinu se snížila četnost odlitků s velmi nízkou hladinou $R_m \leq 150$ v přepážkách válců. Přesto jejich množství /13%/ je velké.
- e/ zeslabila se přímá souvislost chem. složení na mech.vlastnosti odlitku /zesílil se účinek ostatních souvislostí - např. lici a ořkovací teploty/
- f/ odlitky, kterým přísluší $Ceq \geq 4$, s vysokým obsahem feritu ve struktuře mají obvykle nízkou hladinu hodnot mechan. vlast. Bloky s tímto chem. složením již vlastně neodpovídají internímu předpisu TP LIAZ 04 na max. přípustnou hodnotu Ceq 3,98 při dodržení předepsaných licích a ořkovacích teplot
- g/ z hodnot mech.vl. naměřených na místě předepsaném výkresem pro měření tvrdosti nelze spolehlivě usuzovat na mech.vl. vnitřních přepážek
- h/ odlitky s velmi nízkou hladinou hodnot R_m v přepážkách jsou char. největším rozdílem mech. vl. mezi vnitřními a vnějšími stěnami bloku
- i/ odlitky s úrovní $R_m \geq 200$ MPa v přepážkách mají obvykle blízké hodnoty R_m ve vnější stěně i hlavové desce
- j/ rozptyl vl. vnitřních stěn je podstatně větší jak vnějších. Tento velký rozptyl je dán především rozptylem obsahu feritu.



Opatření

- 1/ Přesně dodržovat předpis TP na chemické složení lityny pro odlévání bloků válců s C_{eq} max. 3,98 včetně dodržování licích a očkovacích teplot.
- 2/ Předepsat v přepážkách válců místo pro nedestr.kontrolu jakosti materiálu přístrojem Remag nebo ultrazvukovým tloušťkoměrem. Provádět výběr jakostních odlitků pro vysoce namáhané přeplňované motory pokud k tomuto opatření povedou výsledky zkoušky dle bodu 6. Vypracovat návodku pro provádění opatření příp. statistické nedestr. kontroly a zaučit příslušné pracovníky TK LIAZ 04, 01.
- 3/ Zlepšit a vyrovnat kvalitu materiálu bloků vyráběných v jednotlivých pracov. kolektivech zvýšenou kontrolou.
- 4/ Vyvolat jednání pracovníků slévárny, konstrukce a OVMM o možnostech úpravy znění bodu 1 na výkresu bloku válců M 3 a uplatnit seriové zavedení nedestruktivních zkoušek.
- 5/ Umožnit rozřezání odlitků bloků s extrém. mech. vlast., aby bylo možno se získaných zkuš. vzorků určit skutečnou strukturu a mechan. vlast. a tím dále upřesňovat výrazy pro nedestr.stanovení R_m , HB, %F.
- 6/ Uskutečnit brzdovou zkoušku motoru s blokem válců s extrémně nízkou hladinou R_m . Bude možné kvantifikovat vliv materiálů na užité vlastn. motoru, posoudit oprávněnost zvyšování mat. a jeho kontroly /bloky jsou pro tento účel uschovány/
- 7/ V období odstávky předpečí je třeba věnovat vyšší pozornost příslušným metalurg. předpisům a na tuto přechodnou dobu zavést i za případné techn. a personál. pomoci OVMM zvýšení podílu kontrol. bloků válců /případně i dalších důležitých odlitků/.
- 8/ Na blocích válců motoru M 3 provést řadu ověřovacích destrukčních zkoušek a změřit špičková namáhání.



LIAZ, oborový podnik, Jablonec n.N.

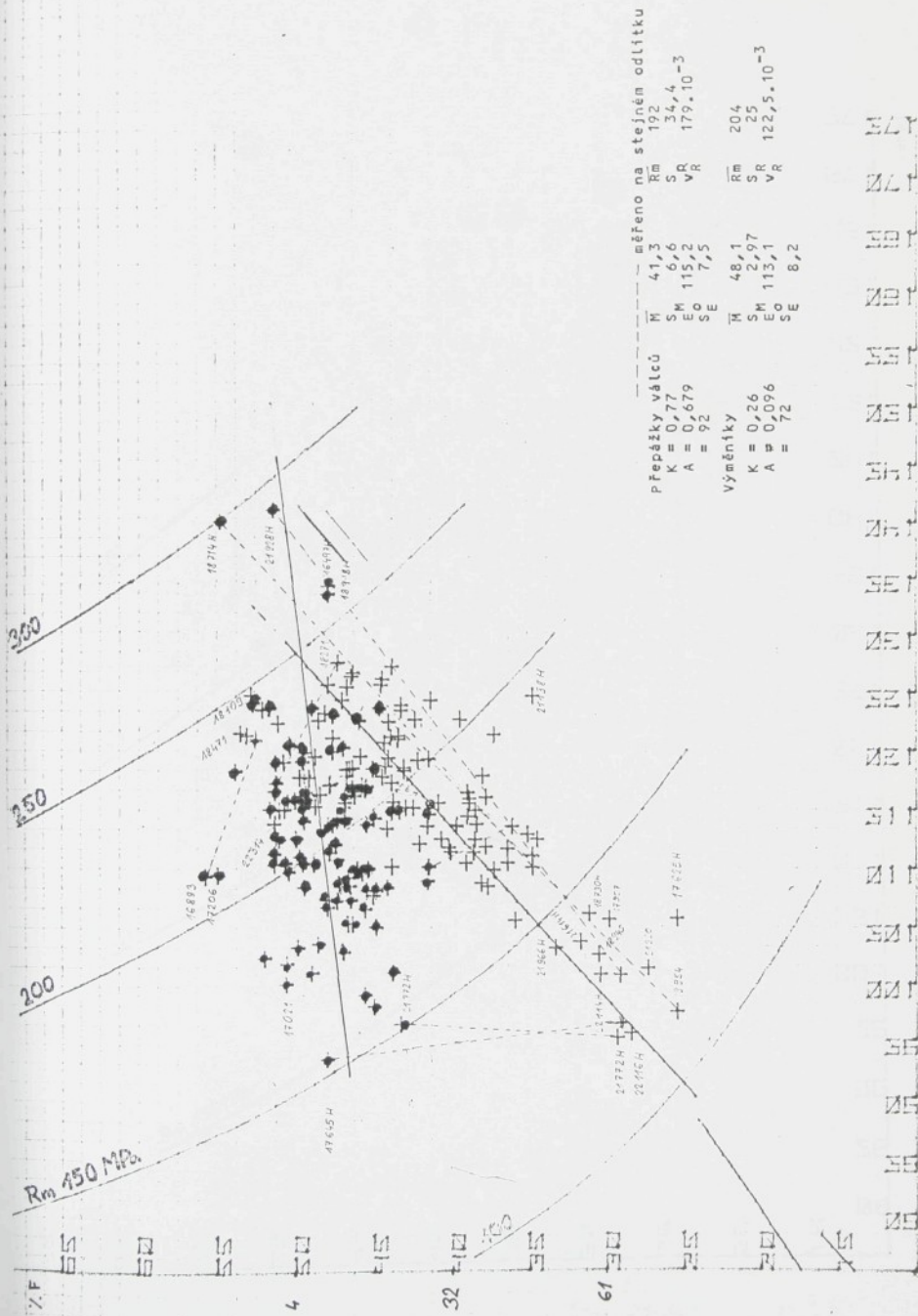
Odbor výv. materiálu a metalurgie

Zpráva
číslo 176-4-Sk/80

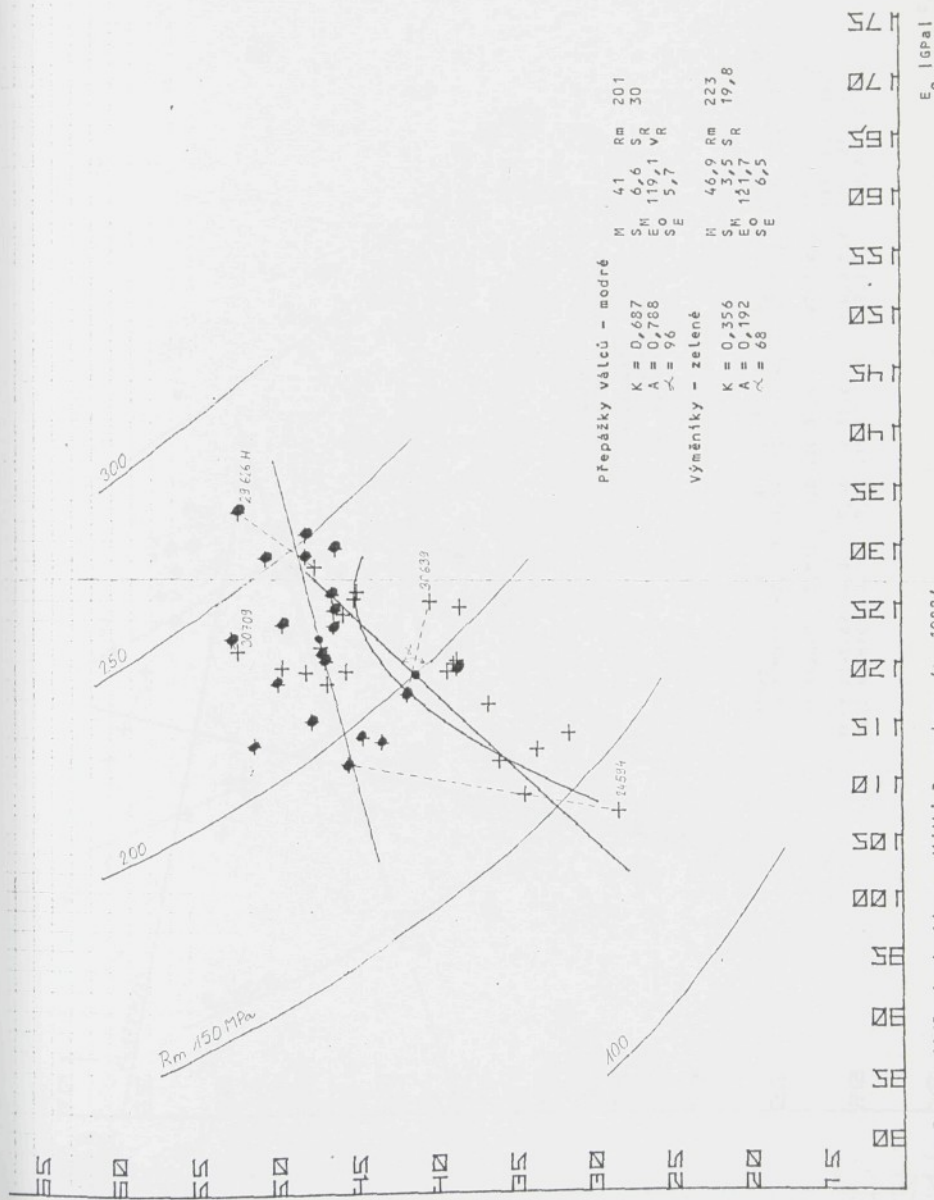
List
číslo

Literatura

- [11] LIAZ 04: Zpráva o průběhu řešení technologie velkosériové výroby bloků válců o váze do 400 kg za rok 1977, oborový úkol OC 406, Liberec 1978
- [12] Šlajs Jan: Studie utváření mech. vlastností nelegované šedé litiny v tenkostěnných odlitcích při různých podmínkách plnění dutiny formy, záv. práce postgraduálního studia na VUT Brno
- [13] Skrbek Břetislav: Nedestruktivní materiálová diagnostika litinových odlitků, kandidátská disertační práce, Jablonec 88
- [14] Skrbek: Kontrola odlitků motorů LIAZ ze šedé litiny přístrojem Remag 1, zpráva 144-3-Sk/84 LIAZ
- [15] Skrbek: Nedestruktivní určování pevnostních vlastností složitých odlitků, záv. zpráva úkolu M1-1-85/C LIAZ
- [16] Nedestruktivní stanovení dynamických vlastností litin, záv. zpráva úkolu M1-1-87/a
- [17] Jindra Pavel: Práce na řešení úkolu „Propadání můstků motoru M1“ č. 43/87, dílčí zpráva za r. 1987
- [18] Exner, Linka, Čech: Výzkum a vývoj vlastností šedých litin pro dynamicky namáhané automobilní odlitky, oborový úkol ČAZ č. OC 551M, závěrečná zpráva prosinec 1980
- [19] Skrbek, Lajtkep: Přípravek na pevnostní zkoušku litiny, řešení TÚ 10-33/86 s. p. LIAZ

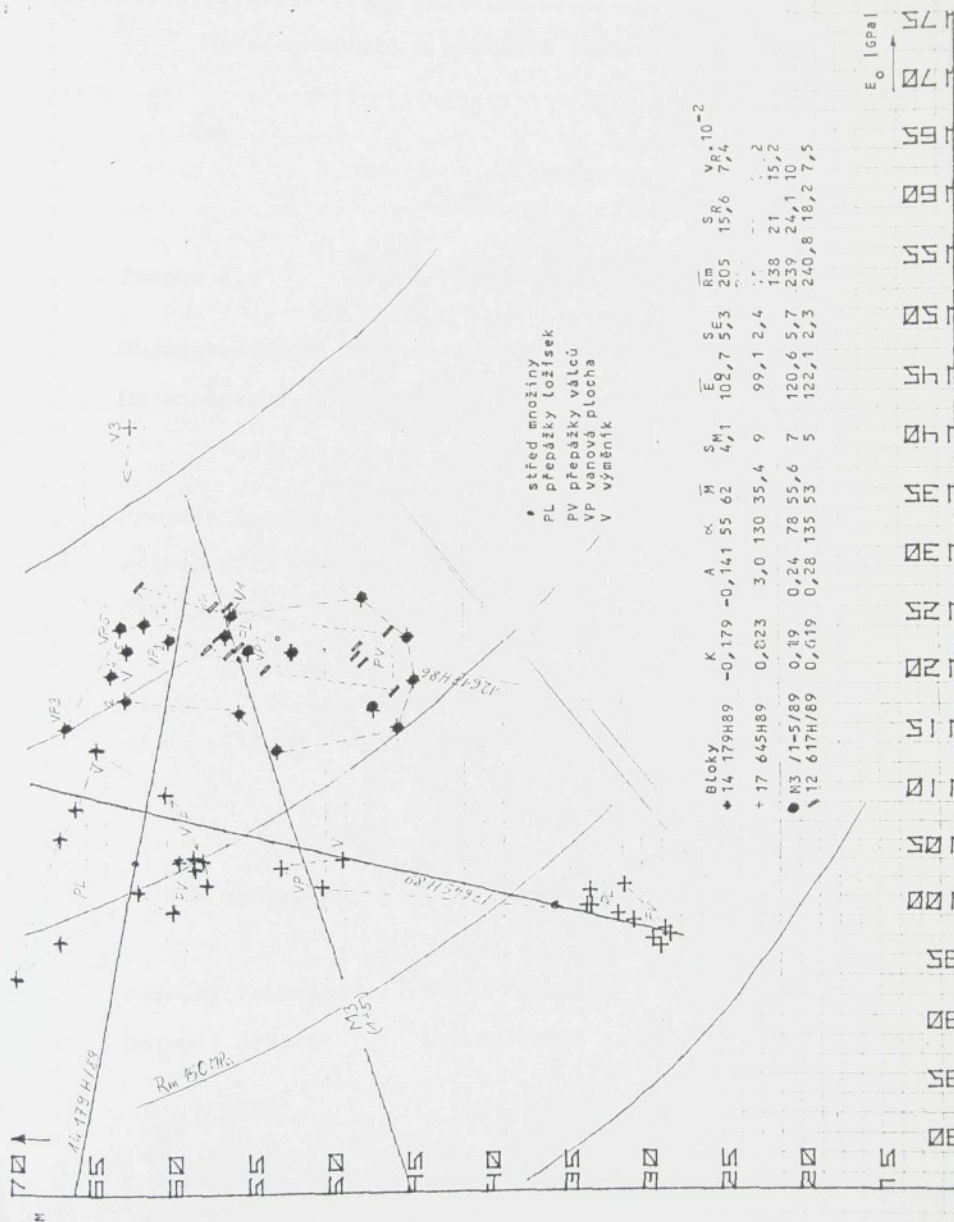


Obr. 19 Dvourozměrné vyjádření struktury 1. souboru odlišků



Obr. 20 Dvourozměrné vyjádření struktury odlišků 2. souboru /r. 1988/

E₀ 10Pal



Metalografická a chemická laboratoř

Zpráva č.: 201-06-B/92

Objednavatel: OŘJ

Objednávka č.: 683/88

Předmět zprávy: Bloky válců M 3341/II.

Výkres č.: 442 1 1002 013 5

Cíl zprávy: Kontrolní nález

Zprávu zpracoval: Ing. Skrbek, CSc.

Vedoucí laboratoře: Ing. Procházka

Vedoucí odboru: Ing. Volejník

V Jablonci nad Nisou dne: 24. 7. 1992

stran: 12

obrázků: 3

tabulek: 7

Úvod

Úkolem této zprávy je určit přehled kvality materiálu přepážek bloků válců M 3341/II, odlitých v roce 1992 ve slévárně Liberec pro LIAZ závod 01 Jablonec s ohledem na nutnost zavedení provozní kontroly a s ohledem na konstrukční úpravu partie přepážek válců (nákrůžky).

Zpráva obsahově navazuje na výsledky měření na blocích M 3341 zpráv 147-3-Sk/89 a 176-4-Sk/90, /1/, /2/.

Úkol vyplynul z porady ke kvalitě materiálu bloků válců z 20.12. 90 a z NZ 01-535/91.

Bylo prováděno pouze nedestruktivní měření rychlosti zvuku v nebo zbytkového magnetismu M příložnými sondami přístroje SYLIT v přepážkách válců.

Z dřívějších měření vyplývá, že tyto přepážky jsou kritické na výskyt nepříznivé struktury litiny. Vztah obsahu feritu F, modulu pružnosti E_0 , pevnosti v tahu R_m k nedestruktivně měřeným veličinám v, M byl stanoven a ověřen v předchozích zprávách.

1. Materiál bloků válců M 3341/II.

ČSN 42 2420 - nelegovaná šedá litina

Tvrdost 170-230 HB - měřena na dosedací ploše hlav válců dle

ČSN 42 0371

Obsah feritu F vnitřních stěn 6-15mm max. 30%

Chemické složení [%]

tab.č.1.

	C	Mn	Si	P	S
výkres	3,2-3,5	0,5-0,9	1,7-2,3	<0,3	<0,12
slévárna	3,25-3,45	0,65-0,9	1,7-2,2	<0,2	<0,12

Uhlíkový ekvivalent $CE=3,82-3,98$

$$CE = C + Si/4 + P/2$$

Současné požadavky slévárny na chem. složení jsou přísnější jak hodnoty na výkrese.

2. Technika experimentu

2.1. Nedestruktivní měření

Místo měření na přepážce válce bloku motoru je vyznačeno na výkrese. Nachází se mezi meziválcovým otvorem a nákrůžkem.

Zde má přepážka přibližně rovnoběžné povrchy vhodné pro nedestruktivní kontrolu.

Přístroj SYLIT řízený počítačem ZPS 3 - SAPI 1 umožňuje měřit rychlost zvuku, tloušťku stěny a zbytkový magnetismus příloženými sondami. Vypočítá pevnost měřené stěny odlitku.

Pro podchycení kvality materiálu bloku válců stačí měřit jen jednu veličinu. Proto u většiny odlitků byla měřena jen velikost zbytkového magnetismu M, nebo rychlost zvuku v.

3. Použité výpočtové vztahy:

Obsah feritu F ve stěně [%]

$$F = 145 - 2,42 M \quad /2/$$

Počáteční modul pružnosti [GPa]

$$E_0 = (L/L_u - 437,8)^2 \quad /3/$$

Relativní rychlost zvuku v_r [1]

$$v_r = L/L_u \quad /4/$$

L...tloušťka stěny měřená posuvným měřítkem

L_u ... " ultrazvukovým tloušťkoměrem seřízeným na standart $v_L = 5930$ m/s (ocel)

Pevnost v tahu [MPa]

$$R_m = 2,122 M^{0,463} v_r^{5,31} \quad /5/$$

Vztahy převzaty z (3).

2.2. Soubor měřených odlitků

Odlitky v.č. 1718/91 - 4161/91 byly proměřeny přímo ve slévárně /4/ v dílně apretace odlitků

Základní statistické údaje zprávy 201-6-B/92 čerpají hlavně z výsledků kontroly produkce za rok 1992. Měření bylo prováděno v závodě LIAZ 01 na vstupním válečkovém dopravníku, z kterého se odebírají bloky k prvním obráběcím operacím.

Množství měřených odlitků bloků válců za r.1991: 17

za r.1992: 87

Každý byl proměřen pokud možno ve všech pěti přepážkách válců.. Uvádím i výsledky měření na dvou blocích M 3341 a M 4103 M1.2C určených pro vývoj.

Každému odlitku je přiřazeno výrobní číslo, rok a písmeno, které přísluší urč. pracovnímu kolektivu ve slévárně (formovna, tavírna). Vzhledem k nepravidelné výrobě bloků válců, nebylo zajištěno rovnoměrné vzorkování kvality (v průběhu prvního pololetí r.1992).

3. Vlastnosti odlitků bloků válců

Záznamy měření ve formě výpisů tiskárny SYLIT a tabulky obsahuje příloha P1, P2, P3 a P4.

Vypočtené hodnoty obsahu feritu v přepážkách válců (stř. hodnoty), modulu pružnosti E_0 i pevnosti v tahu R_m (obsahuje tab.č.6.).

3.1. Tloušťky L přepážek v měřeném místě

Použity výsledky z přílohy P4.

tab.č.2.

Přepážka	1.	3.	5.	Průměr
L [mm]	9,37	9,45	9,5	9,42
$S_{L\ n-1}$	0,49	0,44	0,48	0,47
L min.	8,7	8,7	8,7	N=70
L max.	10,3	10,2	10,1	-

S_{n-1} ...rozptyl

L.....střední hodnoty L

3.2. Obsah feritu v přepážkách válců

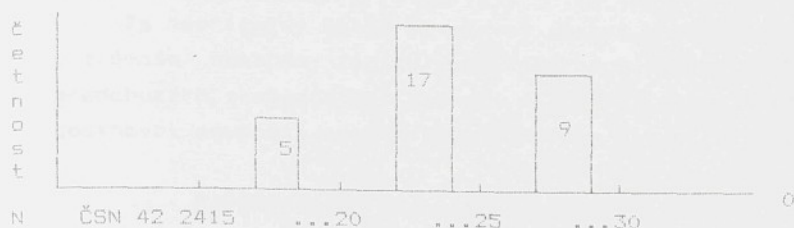
tab.č.3.

Bloky válců	Soubor četnost	Stř. obsah F [%]	Rozptyl $S_F\ n-1$	F max.	F min.
1991	13	41	18,4	75	15
1992	67	39,6	22,3	82	0

O rozložení hodnot M a F dává přehled sloupcový graf na obr.1. Nejde o typické normální rozložení. Velký podíl odlitků má zcela perlitickou ($F \rightarrow 0$) strukturu

3.3. Modul pružnosti E_0

ČSN udává informativní hodnoty E_0 jednotlivých jakostních tříd šedé litiny. Podle těchto hodnot byl roztržiděn soubor měřených odlitků (obr.2.).



Obr.2. Rozložení jakosti materiálu bloku válců podle hodnot E_0

Satistika E_0 : $\bar{x}=119,8$ [GPa]

S n=7,5 N=31

x max.=132

x min.=106

Hladina hodnot E_0 je poměrně vysoká - dobré očkování a nízké hodnoty CE litiny.

3.4. Bloky válců pro vývoj

- uvádím stř. hodnoty všech přepážek

tab.č.4.

Bloky válců M1.2C	Ferit [%]	E_0 [GPa]	Rm [MPa]
M 3341/90 č.4.	80	110,9	141
M 3341/90 č.1.	63	112,1	164
M 4103/92 č.8	38	122,7	232
M 4103/92 č.11	-	133,9	-

4. Rozbor změřených vlastností

4.1. Posouzení z hlediska předepsaných hodnot

Vnitřní stěny bloků válců by měly obsahovat max. 30% feritu. Přesně vzato 62,5% bloků válců má obsah feritů vyšší (r.1991 a 1992). Naopak asi 18% bloků válců (s minimálním obsahem feritu) lze strukturou přirovnat k nízkolegované šedé litině ČSN 42 2425. Obsahy feritu i do 60% se nemusí

projevit na podstatném snížení hodnot pevnosti R_m stěny, pokud je struktura litiny kompenzována vhodně vyloučeným grafitem (vysoké hodnoty E_0) - viz tab.č.6B. Z tohoto pohledu na strukturu vyhovuje 87% odlitků (vysoké hodnoty E_0) - obr.2.

Za nepříznivý nutno považovat výskyt bloků (10%) válců s extrémním obsahem feritu ve vnitřních stěnách $F \geq 70\%$. Po předchozích zkušenostech z prací /1/ a /2/ mohou takové stěny dosahovat pevnosti jen R_m 100-120 MPa - viz přibližný výraz

$$R_m = 234 - 1,66F \quad /6/$$

Zvláště bloky válců do motorů pro soutěžní vozy a vývojové zkoušky. Při větším zvýšení výkonu motoru se mohou porušit - viz zpráva /5/.

Z odstavce 3.4. plyne, že dva bloky válců M1.2C (určené údajně pro motory do soutěžných vozů) zcela nevyhovují!

4.2. Časová posloupnost materiálové kvality bloků válců

Časová posloupnost je na obr.3. vyjádřena řadou výrobních čísel bloků válců. Množství odlitků je za sledované období odlito velmi málo - série odlitků lity v krátkých časových intervalech a velkým vzájemným časovým odstupem.

Vývoj kvality popisuje pás o šířce cca 30% feritu mezi dvěma křivkami, které mají dvě výrazná minima v období 1.-10.2. 92 a 14.-25.5. 92. 30% feritu je asi pravděpodobný rozsah změny kvality materiálu během jedné směny ve slévárně.

Vývoj kvality interpretovaný výpočetním softwarem DR3 neposkytl dostatečnou názornost (přílohy P5)

Z období 15.1.-30.3. 92 bylo vzorkováno málo odlitků, proto pás kvality není zřetelný.

Pracovníci slévárny musí uvedený průběh (zvláště minima) kvality dát do souvislosti s materiálovými vstupy a metalurgickou výrobou. Bude tak možno předcházet extrémním poklesům kvality materiálu (bloků).

Výrazně příznivý "nespojité" extrém kvality byl zachycen 28.2. 1992.

4.3. Vliv chemického složení

Ze slévárny byly pro většinu kontrolovaných odlitek získány informace o chem. složení (tab.č.7.). Pouze minimum kvality 19,5. lze přiřadit max. hodnotu uhlíkového ekvivalentu. Hodnota 3,96 je ale ještě ve výrobní toleranci. Vzhledem k tomu, že se ve slévárně téměř výhradně odlévá sortiment odlitek z šedé litiny ČSN 42 2425 (CE(3,76;3,92)), lze vysvětlit častý výskyt nižších hodnot CE3,82. Chemické složení je vyhovující.

4.4. Rozložení kvality podle písmenného značení

V tabulce č.5. jsem přiřadil jednotlivým znakům za výrobním číslem stř. hodnoty kontrolovaných vlastností. Soubory nejsou zcela reprezentativní četností a časovým rozptylem. Tab.č.5. naznačuje na nejnižší kvalitu materiálu při značení I, H a nejvyšší při ozn. J, bez označení.

Posloupnost kvality z daného souboru měření.

%F...C → J(L) → (-) → T → O → F → U → V → H → I

E₀...F → Y → H

Nejvyšší rozptyl vlastností lze přiřadit značkám F a U.

tab.č.5.

Označení	bez	C	F	H	I	J	L	O	T	U	V
% feritu $\bar{x}$	30	2	37,1	49	67,2	28,2	20	34	32,5	38,8	45,3
S n-1	13,7	-	27	20,3	16,2	12,7	-	19,8	21,6	24,5	14
četnost	15	2	5	17	7	6	1	6	8	5	8

Označení	-	F	H	J	L	Y
E ₀ $\bar{x}$	132	121,3	117,3	119,4	120	120,7
Sn-1	-	9,2	10,4	-	2	6,9
četnost	1	5	10	1	3	7

5. Závěr

V rámci této zprávy byla nedestruktivně zkontrolována jakost materiálu 104 odlitek bloků válců motorů sériové produkce (M 3341/II.) a čtyři bloky válců M1.2.C. Hodnoty E₀

měřených odlitků jsou poměrně vysoké. Podobně jako v předchozích letech (zprávy /1/ a /2/) byla zjištěna asi 10% podíl odlitků bloků válců s velmi vysokým obsahem feritu (F170) v přepážkách válců, ale i 18% s jeho minimálním obsahem (F15), který odpovídá blokům válců z nízkolegované šedé litiny ČSN 42 2425.

Zesílení přepážek válců nákrůžkem se tedy výrazně neprojevila na zvýšení kvality jejich materiálu.

Proto i u současného bloků válců považují za nezbytné zavést 100% nedestruktivní kontrolu přepážek válců, která je technicky reálná.

Bezodkladně je třeba kontrolovat přepážky vývojových odlitků - příslušná změna na postupové a kontrolní kartě č.v. 61-0-0237 v příloze, kterou by měli pracovníci slévárny ve všech kolonkách vyplňovat, byla učiněna.

Byl zjištěn konkrétní průběh a šířka pásu kvality materiálu (30% feritu).

Závislost kvality nesouvisí tolik s chem. složením. Lze předpokládat těsnější závislost na písmenném označení, případně dalších, v této zprávě neurčitelných výrobních vlivech. Výběrovou kontrolou vzhledem k těmto vlivům by se získaly konkrétnější závislosti a možnosti k zvýšení kvality materiálu.

Literatura:

- /1/ Skrbek, B.: Statistická kontrola materiálů bloků motorů M1A, zpráva LIAZ č. 147-3-Sk/89 str. 10-250
- /2/ Skrbek, B.: Stat. kontrola mater. bloků motorů M1A, zpráva LIAZ č. 176-4-Sk/90 str. 10-250
- /3/ Skrbek, B.: Nedestruktivní materiálová diagnostika litinových odlitků, disertační práce Jablonec 1988
- /4/ Skrbek, Vodička: Měření strukturněmech. vlastností odlitků bloků válců, zpráva 78B-2-Sk/91
- /5/ Skrbek, B.: Blok válců M 3341/C, č. 1/88, zpráva 244-6-Sk/90 str. 10-250

Příloha P4 - měření na blocích válců ultrazvukem LC 545 C
[mm]

Přepážka válců výr.č.bloku	1		2		3	
	L	Lu	L	Lu	L	Lu
1992						
140 H	9,2	11,7	9,6	12,5	9,8	13,4
136 H	9	11,5	9,25	12,4	9,6	11,9
332 L	9	11,6	9,55	12		-
435 J	9,2	11,65	9,5	12,1		-
543 Y	9	12	9,2	12,1	9,6	12,6
499 H	9	11	9,4	12,4	8,95	12,2
504 H	8,9	11,7	9,4	12,5	9	12
523 H	8,8	11,4	8,8	11,8	8,8	11,7
524 H	8,7	11,5	8,7	11,9	8,7	11,7
229	10,05	12,9	9,8	12,9	10	12,05
244	9,2	11,8	9,3	11,65	9,2	11,73
404 Y	9	11,45	9	11,25	9,2	11,45
450 L	8,75	11,15	8,8	11,05	8,8	11,2
195 H	10	12	9,6	11,5	9,5	11,6
604 F	9,5	12,65	9,3	12,35	9,4	12,55
695 L	10,3	12,75	10	12,45	10	12,65
613 F	9,7	12,15	9,1	11,55	10	12,8
574	10	12,8	9,8	12,8	10	12,7
558	9,8	11,8	10,2	12,4	10	12,4
556	9,75	12,45	9,9	12,65	9,9	12,45
605	10,1	12,9	10,2	12,9	9,9	12,65
1991						
8260 Y	10	12,45	10,2	12,25		-
8492 Y	9,3	11,35	9,4	11,15		-
8737	8,8	10,6	8,9	10,6		-
9840 H	9,15	11,05	9,35	11,45		-
1992						
M 4103	9,5	11,6	8,5	10	8,9	10,6
M1.2.C						

Tabulka č.6.

Číslo bloku	Obsah feritu F [%]	Číslo bloku	Obsah feritu F [%]
1992		1992	
2005	18	2474 U	26
2067 J	8	2493 V	65
2103 J	31	2494 V	52
2163 T	4	2499 V	50
2168 T	7	2503 V	47
2175 V	30	2507 V	47
2204 O	1	2525 O	59
2218 O	33	2548 I	75
2257 U	3	2555 I	82
2302 T	14	2565 I	76
2333 -	23	2576 I	60
2343 J	28	2578 I	62
2367 J	47	2631 V	50
2383	21	2632 V	53
2375 F	14	2653 H	56
?	16	2684 H	78
2394	48	2695 O	25
2402 H	46	2730 O	43
2427 H	40	2772 J	23
2429 H	53	2778 J	32
2467 U	68	2850 U	42

Tabulka č.6A. Vypočtené vlastnosti bloků válců

Výrobní číslo	Obsah feritu	Modul pružnosti
1991	F [%]	E ₀ [GPa]
1778	35	
3723	35	
3897	15	
3926 H	55	
3937 H	70	
3975 -	45	
4118 H	45	
4125 H	40	
4135 H	75	
4161 -	15	
4769 T	30	
6199	25	
6281 T	48	
8260 Y		132,6
8492 Y		128,6
8737		132
9840 H		131,4
1992		
136 H		116,6
140 H		111,5
195 H		131,5
212H	0	
229		126
244		118,7
332 L		118,4
404 Y		121,4
435 J		119,4
450 L		119,3
499 H		108,9
504 H		109
523 H		109,7
524 H		106
543 Y		110

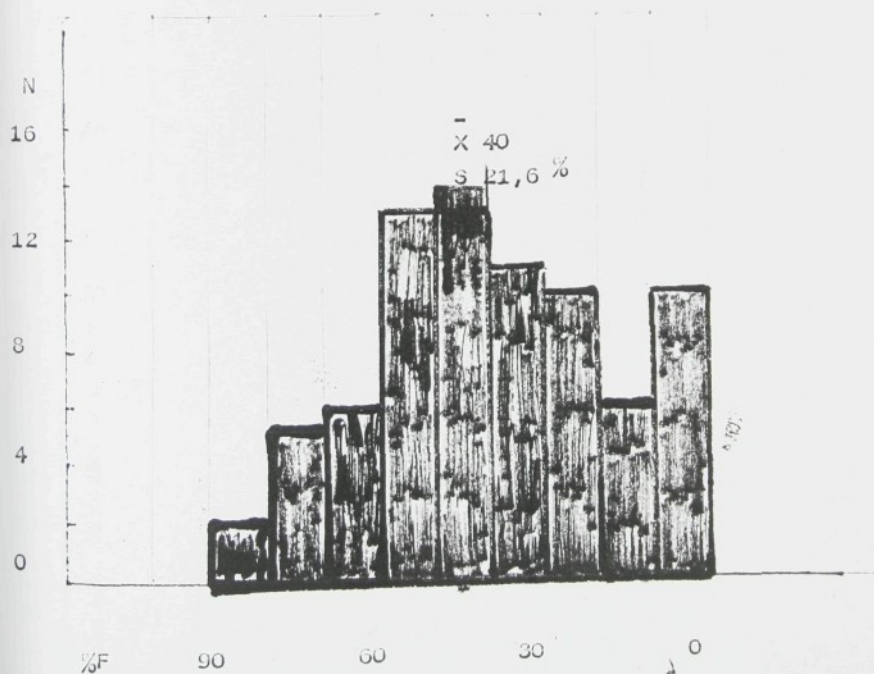
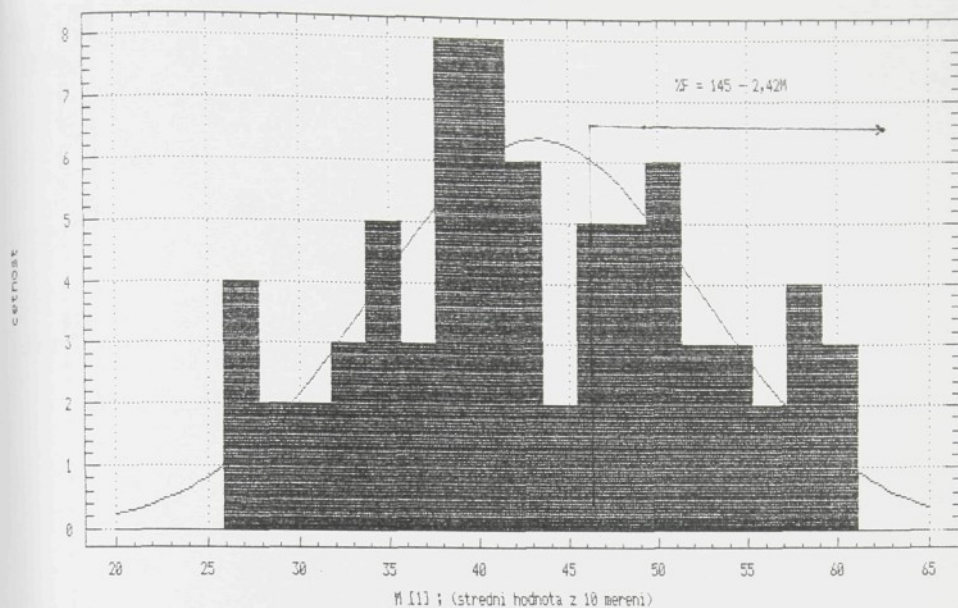
pokr.tab.č.6A.

545 I	80	
556 Y		116,6
558 Y		128,9
574 Y		116
595 L		122,4
604 F		108,1
605 F		118,4
613 F		119,3
624 F	67	
644 H	76	
689 H	67	
704 H	51	
752	40	
759	62	
793 C	4	
797 C	0	
810 F	6	
824 T	57	
841 T	52	
1005	34	
1157 H	24	
1198	18	
1301 I	36	
1589 L	20	
1598 H	23	

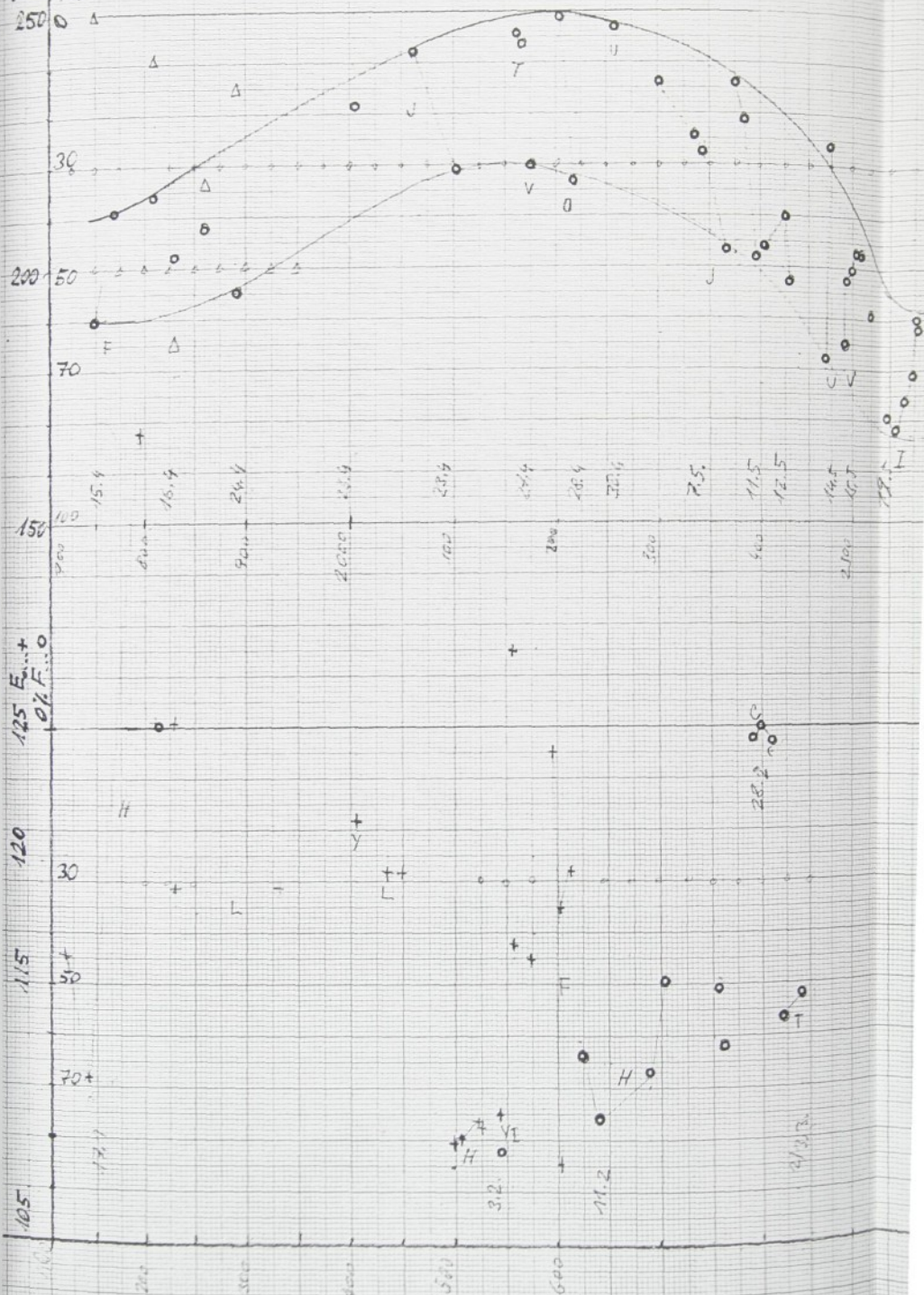
Tabulka 6B.

Číslo bloku	Obsah feritu	Modul pružnosti	Pevnost vtahu
1992	F [%]	E ₀ [GPa]	R _m [MPa]
1749 F	60	131,1	249
1769 F	40	128,9	267
1810 H	36	121,4	241
1830 T	48	113,9	185
1857 O	43	120,2	217
1891 U	55	126,1	235

OBR.1 Bloky válců M1.2B
prístroj SYLIT



Obr.1 Rozložení hodnot M a obsahu feritu F v přepážkách válců.

$R_m \Delta \cdot 0$
 $\% F$


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojní

Ústav materiálového inženýrství, odbor nauky o materiálu

ZÁVĚREČNÁ PRÁCE SPECIALIZAČNÍHO STUDIA DEREKTOSKOPIE

Obor: Materiálové inženýrství - specializace Nedestruktivní
zkoušení materiálů a výrobků

Název zadání : Kontrola materiálové jakosti odlitků bloků
všechných naftových motorů

Posluchač : Ing. Břetislav S k r b e k, CSc.

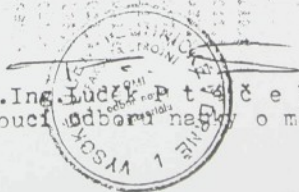
Vedoucí závěrečné práce : Prof. Ing. Bohumil M í š e k, DrSc.

Zadáno dne : 14. ledna 1994

Odevzdejte dne: 31. března 1994

V Brně dne : 14.1.1994

Doc. Ing. Luděk P t á č e k, CSc.
vedoucí odboru nauky o materiálu



1. Úvod-přehled

Bloky válců tvoří základní nosnou součást naftových motorů. Jsou to typické složité relativně tenkostěnné odlitky se složitými krystalizačními poměry při tuhnutí ve formě [1]. Proto na mechanické vlastnosti jednotlivých partií nelze usuzovat na základě tloušťky stěny a z tabulek materiálových listů ČSN a ke kontrole materiálu nelze použít klasické laboratorní postupy (Měření tvrdosti na přístupné stěně ap.).

Nepravidelný výskyt případů snížené životnosti motorů a problémy při technologii zpracování odlitků bloků válců měly materiálový původ. Proto oddělení řízení jakosti vzneslo požadavek na sledování vývoje jakosti materiálu bloků válců jeho v kritických partiích.

Ke kontrole byla aplikována ultrazvuková metoda a metoda remanentní indukce. Kombinovaná nedestruktivní kontrola byla ověřována na souborech odlitků posleze i na "prání" realizovaným kombinovaným zařízením SYLIT. Vypracovaná kontrolní metoda byla promítnuta do technické dokumentace výroby bloků válců.

Výsledky kontroly ověřovacích souborů umožnily odhalit nové souvislosti a příčiny kolísání kvality materiálu. Tím slévarenská výroba poznala, která opatření jsou pro zvýšení kvality nezbytná.

2.Charakteristika problému

Předepsané materiálové vlastnosti odlitků bloků válců vychází z předpokládaného namáhání a rozměrů. Vyčet nevyhovujících bloků souvisí s kvalitou materiálu. Nutno určit kritická místa odlitků též s ohledem na výrobní technologii a specifikovat kritéria kontrolní metody.

2.1.Namáhání bloků válců

Blok válců řadového šestivalcového naftového motoru LIAZ je skříňovitý odlitek se silnou deskou s dosedací plochou hlav válců (A), vnějšími tenkými stěnami (B) a vnitřními tenkými přepážkami (C) - viz. náčrt na obr.1.

Základní mechanické namáhání pochází od spalovacích tlaků a setrvačných sil klikového mechanismu. Síla na píst a hlavu F_2 od spalovacích tlaků se přenáší na blok přes šrouby vika ložiska (G) klikového hřídele a z hlavy (E) šrouby hlav válců utaženými na vysoké předpětí - obr.2.

Dosedací partie hlav válců bloku je tedy namáhána ohybem a přepážky s vnějšími stěnami na míjivý tah.Podíl přenesené síly závisí na průřezu stěn a jejich tuhosti - hodnotě E modulu pružnosti.

Na tahové namáhání je litina nejcitlivější, má nejnížší hodnotu pevnosti R_m ve srovnání s namáháním v ohybu

$$R_m = 0,5R_{m0}$$

nebo tlaku.

2.2.Konkrétní problémy s bloky

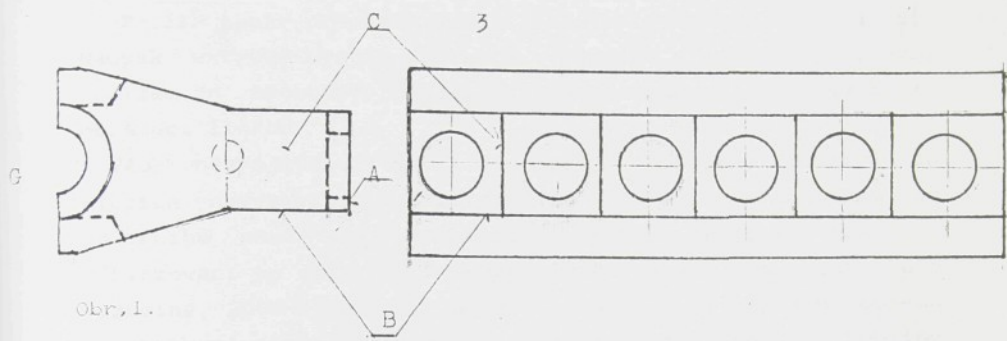
Základním podnětem ke zintenzivnění kontrolní činnosti je nevyrovnná výrobní jakost a tím ekonomické ztráty.

Nepravdělně se vyskytující netěsnost mezi hlavami a blokem motorů LIAZ po podrobnějším prošetřování příčin měla i materiálové souvislosti - viz. zpráva [2]

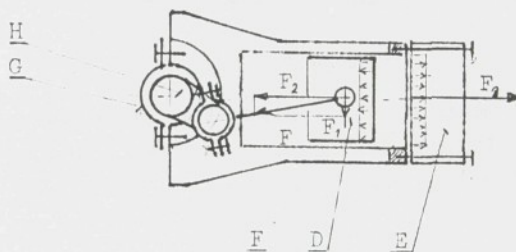
Jednotlivé případy havarií motorů z titulu, které se projevily destrukcí bloku válců, souvisí s nízkou hladinou mechanických vlastností litiny zejména ve vnitřních partiích tj. v přepážkách odkud obvykle se šířil i lom [3,4].

Typickou prasklinou vycházející z otvoru ve vnitřní

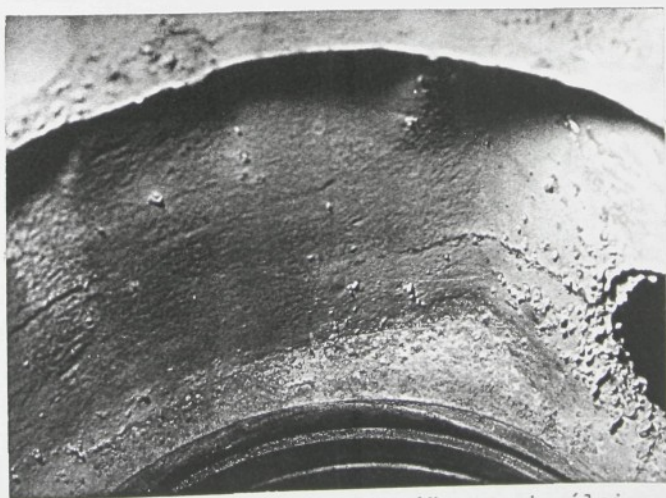
přepážce bloku válců dokumentuje obr.3. Zviditelnění praskliny bylo provedeno kapilární defektoskopií - penetrační soupravou INDIKAL.



Obr.1.



Obr.2.



Obr.3. Prasklina v přepážce mezi válci .

Obr.3 Prasklina v přepážce mezi valci motoru.

Priliš tenké přepážky uvádí jako příčinu lomu zprava [5]. Naopak extrémě vysoká hodnota tvrdosti a struktura s vys. podílem Mn způsobily několikrát neprůchodnost odlitku bloku obráběcí linkou.

Vady nespojitosti materialu se v provozně používaných blocích nevyskytují. Trhlinám za tepla a prasklinám od vnitřního pnutí se předchází vyvinutým režimem řízeného ochlazení po odlití. Povrchové slevárenské vady kontroluje vizuelně 100% slevárna. Šedá litina vlivem nárůstu objemu při tuhnutí (grafit) běžně netvoří staženiny, řediny. Bubliny pokud se vyskytnou jsou těsně pod povrchem vršku odlitku odhaleny obráběním.

2.3. Předepsané vlastnosti materiálu (vychozí podm.)

Blok válců pro běžné sériové motory M1.A,B L1AZ:

vykres	442 1 1002 013 5
model	M3341/II
hmotnost	340kg
silá L stěn přepážek a vn.stěn	8 mm
silá L desky dosed.plochy hlav v.	25-35 mm (odlitek)
material - nelegovaná šedá litina	ČSN 42 2420
tvrdost	170-230HB
místo měření tvrdosti	deska hlav mezi 3.a 4.valc
struktura vnější stěny L=6-15mm	max.15% feritu
vnitřní " "	max.30% feritu

Chemické složení	C	Mn	Si	P	S	CE
min. %	3,2	0,5	1,7	-	-	3,82
max. %	3,5	0,9	2,3	0,3	0,12	3,98

Uhličitkový equivalent

$$CE = C + Si/4 + P/2 \quad (1)$$

Modul pružnosti počáteční $E_0 = 109,9$ GPa uvádí ČSN 42 2420 jako informativní hodnotu pro stěny $L = 15-30$ mm.

2.4. Technologie výroby odlitků bloků

Funkčnost bloku valců dává svým tvarovým řešením konstrukter též s přihlédnutím k zvládnutím technologie výroby odlitků ze šedé litiny. Hodnoty vlastností dle ČSN 42 2420 platí pro volně zchlazené odlitky s minimální průtočností tekuté litiny a jsou tedy idealizované z pohledu vlastností v celém objemu odlitku.

2.4.1. Slévárenská technologie

Na výslednou strukturu má též vliv interakce s kovem a tepelná jímavost formovacích materiálů, dále technika odlévání.

Blok valců je odléván naležato s vtoky ustíciemi do hlavové desky. Vnitřními přepážkami proudí litina 24-30 s. Naposledy se zaplní tenká vnější stěna vyměníku tepla oleje a příslušná část vanové dosedací plochy (spodního víka bloku).

Vnější tenké stěny $L = 7\text{mm}$ tak dosahovaly pevnosti R_m až 240MPa, zatímco hodnoty R_m vnitřních přepážek na téže odlitku byly zpravidla nižší jak 200MPa (pomale ochlazování přepážky díky formou naakumulovanému teplu) s větším množstvím vyloučeného feritu [1,7].

Odlitky řízeně chladnou ve formě po dobu 160min ± 15 v ochlazovacím tunelu. Jinak se musí žíhat na odstranění vnitřního prnutí [8].

Kontrola mater. odlitku se provádí jen na 5% odlitků měřením tvrdosti dosedací plochy hlav Poldi kladívkem.

2.4.2. Metalurgická příprava tekuté litiny

Litina se v liberecké slévárně taví v horkovetrné kuplovně s malým plynovým předpecím (asi 5T). Plynulost dodávek na lici linky a rovnoměrnost složení zajišťuje velkoobjemové indukční udržovací kanálkové předpeci PIKS na 25T tekutého kovu. Vychází litina je kontrolována stanovením CE termickou analýzou a klinkovou zakalčkovou zkouškou (zakalčka 4-6mm).

Očkování, které zajišťuje jemnou a rovnoměrnou krystalizaci, se provádí do proudu kovu do lici panve při min. 1370°C směsí Fe75 a gramodu.

2.4.3. Vnější podmínky

Současná krize slévárenství jako oboru je doprovázena mnohonásobným snížením sériovosti a extrémním rozšiřováním

sortimentu při svízelné surovinové zabezpečitelnosti výroby. Velký rozptyl vychozích parametrů surovin pro vsázkování plyne z jejich snížené kvality a platební neschopnosti sléváren. Potřebná reprodukovatelnost kvality vyžaduje mimořádné úsilí zaměstnanců sléváren [9]. Proto lze očekávat větší podíl nevyhovujících odlitků. Nutno zintenzivnit kontrolní činnost.

3. Vývoj kontrolní metody

Z uvedených skutečností vyplývá, že kontrolní metoda musí určovat strukturně mechanické vlastnosti lokálních oblastí odlitků bloků válců. Dosavadní kontrola Poldi kladívkem není účinná.

3.1. Kontrolní místo

Tepelné nejvíce ovlivňovaná krystalizace probíhá ve vnitřních přepážkách válců. Přepážky jsou navíc velmi namáhané tahovými silami. Zde je třeba uplatnit nedestruktivní diagnostiku. Na obr. 5 je označeno A. Nepřístupnost přepážek nedovoluje uplatnit klasické kontrolní metody.

Opačný extrém tvoří "nejtvrdsí místa", která lze očekávat v tenké stěně výměníku a s malým zatížením. Dutina výměníku je tvořena velkoplošným jádrem. Pokud jádro "vyplave" vznikne velmi tenká stěna (i jen 3mm). Tato plocha je proto kontrolována ultrazvukovým tloušťkoměrem na tloušťku stěny ve slévárně - na obr.5 ozn. B.

Rozdíl mechanických vlastností mezi místy A a B může sloužit ke kontrole rozptylu mechanických vlastností v jednom odlitku. Tím můžeme sledovat účinnost očkování nebo legování.

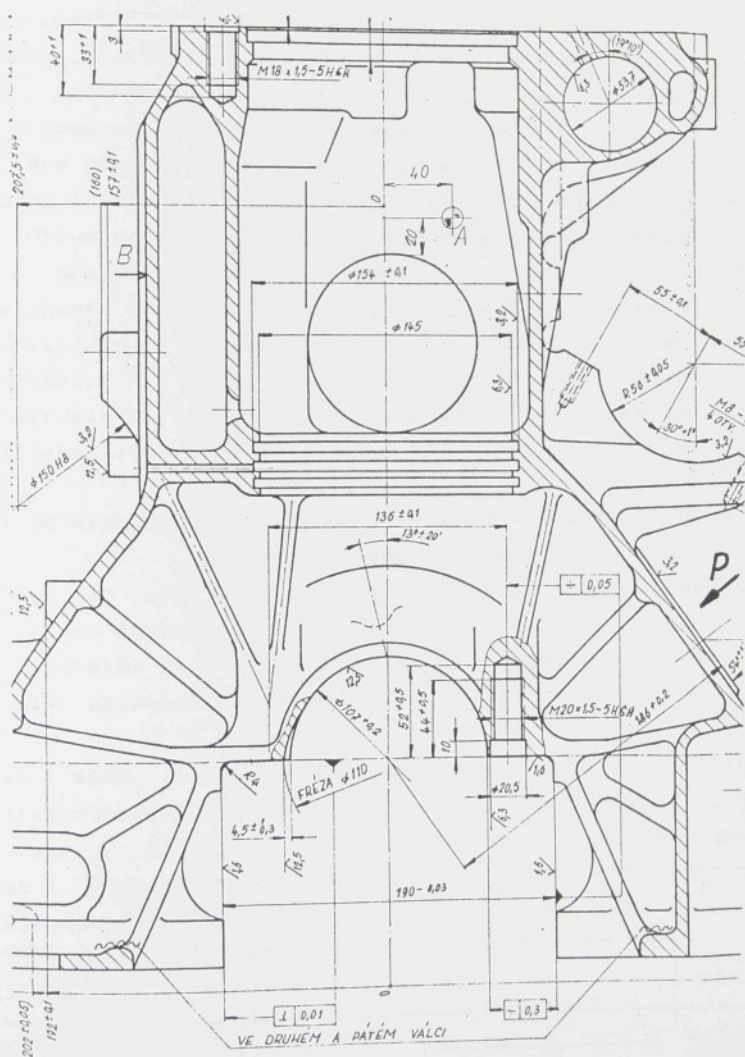
3.2. Výběr metody

Šedá litina ve své struktuře obsahuje diamagnetický grafit ve formě lupinek a kovovou hmotu slitin železa - obvykle feromagnetickou. Na výsledných mechanických vlastnostech se tedy podílí dvě zcela fyzikálně odlišné látky. Příklad struktury šedé litiny v odlitku bloku válců uvádí obr.4.

3.2.1. Akustické metody

Pro charakteristiku grafitu v litině se obecně používá akustických metod pro lokální nebo integrační zkoušení.

Rezonanční frekvence odlitku po uderu na odlitek nebo po rozkmitání zdrojem proměnné frekvence je základní veličinou pro hodnocení grafitu v odlitku integrační metodou [9]. Nutno dodržet konstantní rozměry a hmotnost odlitků. Metoda je vhodná pro hromadnou kontrolu jednodušších odlitků. Lze



Obr. 5. Řez blokem valců - místa kontroly A, B.

posuzovat odlitky i podle utlumu (doznívání).

Lokální metody pracují s ultrazvukovými sondami a hodnotí se jen prozařovaný sloupec litiny. Základní veličinou je doba průchodu ultrazvukové vlny měřenou stěnou.

Pro poměrně tenké stěny přepážek je prakticky nejpoužívanější impulzní odrazová metoda s dvojitou přímou sondou.

Útlum ultrazvukových vln (reprezentovaný koeficientem δ) a tím praktická ~~provozní~~ ^{provozní} ~~prozařitelnost~~ litinových stěn závisí na velikosti grafitových útvarů D a použité frekvenci ultrazvukových vln f . Pro velikost vlny $\lambda \gg D$ nastává jen Rayleighův rozptyl. K stochastickému rozptylu vln dochází již v intervalu $D < \lambda < 2IID$. Do tohoto intervalu běžné litiny a zkušební frekvence zasahují - viz. tab.1:

Silně oramovaná část hodnot λ spadá do oboru rovnice [12]

$$\delta = a_r f^2 + a_p f \quad (2)$$

tedy již pro stochastický rozptyl, který roste s druhou mocninou frekvence.

Největší ztráty nastanou pro $\lambda = D$ (difuzní rozptyl).

Pokles akustického tlaku

$$p = p_0 e^{-\delta L} \quad (3)$$

Pro sádě litiny nižší jakosti jsou vhodné frekvence ultrazvukových vln pouze do 1 max. 2 MHz. Odlitky z jakostní litiny - 42 2425- lze prozařovat i frekvencí 4 MHz - viz.

tab.1.

Kmitočet MHz	1	2	3	4	6	D	2IID
litina ČSN	VL m/s					um	um

42 2410	3500	3500	1750	1170	870	580	250	1570
42 2425	4500	4500	2250	1500	1120	750	120	750
LÖG	5300	5300	2650	3100	1330	880	100	630

LÖG....litina s červkovitým grafitem.

Podmínky měření rychlosti zvuku v přepážkách valců s ohledem na možnost výskytu litiny 42 2410 a normy pro měření tloušťek stěn ultrazvukem [13]:

Frekvence sondy $f=2\text{MHz}$
 Typ dvojita prima
 Max. drsnost povrchu $R=12,5\mu\text{m}$
 Kalibrace (ocel $v_L 5920\text{m/s}$) etalonem $L=10\text{mm}$
 Vazební medium vaselína
 Přístroj : UZ tloušťkoměr s číslicovým nebo grafickým displejem, vhodné RS rozhraní pro dokonalejší využití.

Obsluh: Absolvent školení obsluh UZ tloušťkoměrů dle směrnice CNZ 92/93.

Místo měření: Označeno A na obr.5. Dolní část přepážky mimo její osu kde probíhá ^{tržba} šev od jádra.

Měření: Dvakrát. Jednou z každé strany přepážky. Zaznamena se nižší z odečtených hodnot L_u .

Pro stanovení rychlosti zvuku

$$v_L = v_r \cdot v_{oL} = (L/L_u) \cdot v_{oL} \quad (4)$$

je třeba znát skutečnou tloušťku stěny L přepážky. Při měření L v přepážce prostým posuvným měřítkem se dlouhé čelisti svoji plochou opírají o neprozařované části stěny, které mohou mít větší rozměr. Tento nepříznivý vliv eliminuje použití posuvného měřítka s výměnnými nastavci na čelistech dle obr.6.

Prostě odečítání délky ze stupnice a nonia posuvného měřítka uvnitř bloku při měření tloušťky L přepážek je namáhavé. Vhodnější je použití digitálního posuvného měřítka s RS rozhraním.

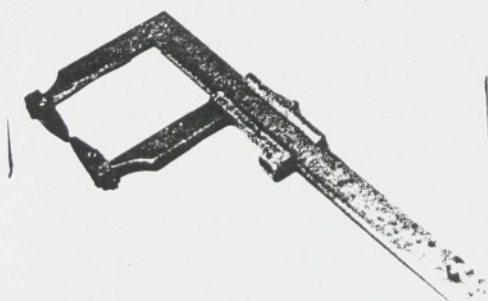
3.2.2. Metoda k stanovení vlastností kovové hmoty litiny

Kritéria pro nedestruktivní kontrolu litinových přepážek:

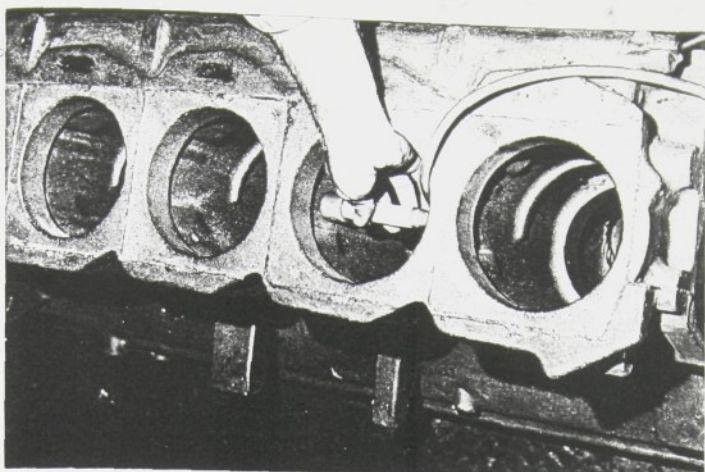
- a) Lokální kontrola objemu litiny.
- b) Dostatečné rozlišení feritické od perlitické struktury v desítkách %.
- c) Vliv lici kůry, drsnosti a oxidů na povrchu nesmí významně ovlivňovat výsledky měření.
- d) Snímač přístroje je prostorově omezen pro manipulaci uvnitř valcového prostoru.Geometrie (okolní stěny) v okolí měřených míst nesmí významně ovlivňovat výsledek měření.
- e).metoda musí umožňovat produktivní kontrolu.
- f) přístroj musí být cenově a obchodně přístupný.



Obr.4. Struktura v prepažce bloku valců. Zvětšeno 100x.
Leptano NITAL 2%.



Obr.6. Pos. měřítko s nastavci na čelistech



Obr.7. Měření přepážek válců vývojového motoru M2 magn.met.

Ze škály metod, které nabízí elektromagnetická defektoskopie lze uvažovat o následujících metodách:

- 1) Měření koercitivní síly
- 2) Vířivé proudy
- 3) Remanentní indukce

Koercitivní síla H_c dobře koreluje se strukturou litiny, oceli, ale vyžaduje těsný kontakt s měřeným povrchem, jinak se podstatně snižuje citlivost a reprodukovatelnost metody. Potřebnou rovinnost nelze na povrchu odlitku dodržet.

Metodou vířivých proudů pracuje většina přístrojů světových firem pro hodnocení struktury materiálů. Zařízení s příložnou sondou pro regresní strukturní analýzu však nejsou běžně dostupná. Použití střídavých proudů nemusí zaručit dostatečný průnik do jádra stěny odlitku. Metoda spolehlivě pracuje při třídění štihlých odlitků vkládaných do měřicích cívek.

Pro hodnocení kovové struktury litin je vhodná ve specifikovaném případě metoda remanentní indukce neboli bodového magnetického pólu. Podmínky pro dosažení spolehlivých výsledků měření tuzemskými přístroji rady Remag a aplikační vztahy k strukturněmechanickým vlastnostem stanovila kandidátská práce [14].

Přístroje Remag stejnosměrnými trojúhelníkovými pulzy vytvoří magnetický pól v měřeném místě stěny odlitku. Feromagnetická nebo Hallova sonda v ose příložného snímače pak po odeznění pulzů změří intenzitu H_r remanentního magnetického pole na povrchu. V současnosti vyráběný přístroj

STRUKTUROSKOP B1 používá několik střídavých trojúhelníkových pulzů o velmi nízké frekvenci $f < 1 \text{ Hz}$. V měřeném místě se odečítá hodnota H_r po odeznění posledního pulzu. Tento způsob magnetizace nevyžaduje předchozí demagnetizaci měřeného místa jako to bylo u přístrojů Remag.

Hodnota H_r závisí kromě remanentní polarizace I_r na tzv. demagnetizačním činiteli N , který charakterizuje geometrii tělesa a činiteli N_i , který zahrnuje vliv vnitřních magnetických nespojitostí - např. grafitu. N fakticky vyjadřuje zeslabení magnetického pole v tělese vůči okolnímu prostředí. $N=0$ platí pro nekonečně stejnorodé prostředí a $N=1$ pro přímou desku. Zde působí demagnetizační účinek nejsilněji. Po vložení do vnějšího pole H_0 vytvoří takové těleso vlastní pole, které pole okolí zeslabí. K přemagnetování např. do nasycení je potřeba vyšší intenzity vnějšího pole než v uzavřeném feromagnetiku. Průběh hysterezní smyčky se tak linearizuje. Magnetická indukce B_r

$$I_r = \frac{B_r}{\mu_0} \quad (6)$$

je pak přímo úměrná koercitivní síle H_c .

Zásadní podmínky pro spolehlivé měření metodou magnetického bodového pólu experimentálně určene:

- Intenzita pole H_r magn. bodového pólu klesá s časem jen velmi pomalu - okamžik odečítání hodnoty H_r není tedy kritický.
- Hodnota H_r závisí na času magnetování polem H_0 do 4-5s. Při kratším magnetování nutno dodržet jeho konstantní délku.
- Magnetizace po prvotní magnetizační křivce působí podstatně vyšší polarizaci I_r materiálu ve srovnání s magnetizací po demagnetizaci. Před měřením přístroji Remag je nutno materiál demagnetizovat.
- Intenzita rušivého magnetického pole v okolí by neměla překročit $H = 163 \text{ A/m}$, aby se významně nelišily výsledky dosažené při $H = 0 \text{ A/m}$.
- Ideální místo pro měření je na ploše rovinné nebo mírně vyklenuté při síle stěny $L > 15 \text{ mm}$ vzdálené okrajem přiložené sondy (28mm průměr jejího čela) min. 8mm od koutu v odlitku nebo nepřesahující okrajem sondy hranu odlitku.

f) Relativní změna dH_r pole H_r s klesající tloušťkou stěny L závisí jen na tloušťce L a nikoliv na struktuře materiálu stěny (souvisí s N a nikoliv s Ir). Matematicky lze proto při výpočtu strukturněmechanických vlastností vliv L podchytit.

g) K potlačení nepříznivého vlivu magn. pole okolí H je vhodné pro záznam uvažovat rozdíl hodnot intenzity pole na měřeném povrchu po demagnetizaci a magnetizaci

$$DH_r = H_{rm} - H_{rd} \quad (7)$$

h) Čím větší je intenzita H_0 magn. impulsu, tím přesněji se určí struktura měřené stěny odlitku. Přístroj nastavit na max.intenzitu magnetizace - pokud to dovoli zahrívání sondy.

i) Přístroje nutno kalibrovat podle vzorku litiny s vysokou hodnotou H_r .

Obsluha provádějící měření má být absolventem alespoň kurzu 1. stupně v oboru vířivých proudů dle směrnice ČNZ 92/93.

Na základě uvedených podmínek mohou volit i pro kontrolu metodou magn. bodového pole stejné místo ozn. A v prepažce. Spolehlivost měření se zvýší zaznamem hodnoty M jako průměru měření M_1 , M_2 z obou stran přístrojem.

3.3. Vztah mezi fyzikálními a mechanickými vlastnostmi

Nedestruktivní metoda pro regresní analýzu mech. vlastností je použitelná až po stanovení matematického modelu s dostatečně vysokým koeficientem korelace R (obvykle $K > 0,9$) a malým rozptylem S .

Pro experiment je nutno připravit dostatečné množství vzorků $N < 10,30 >$, které rozsahem sledované vlastnosti (v rámci souboru odlitků, ne na jednom odlitku) převyšuje předepsanou toleranci.

3.3.1. Výpočet modulu pružnosti E_0

Rychlost zvuku litin není u litin v materiálových listech uváděna. ČSN však uvádí hodnoty počátečních E_0 , které vyžadují konstrukteři při tuhostních výpočtech, při řešení napětových uloh metodou konečných prvků a při měření vnitřních prnutí (tenzometricky). Obecný výraz pro výpočet

$$E_0 = K \cdot v^2 \quad (8)$$

Konstantu K nutno stanovit experimentálně pro konkrétní způsob výroby litiny. Matematické modely jsou dány [15].

Na půlkruhovitých vzorcích se měřením v_T a v_L uhlovou a přímou sondou a změřením měrné hmotnosti G/V dostaneme k výpočtu K i E_0

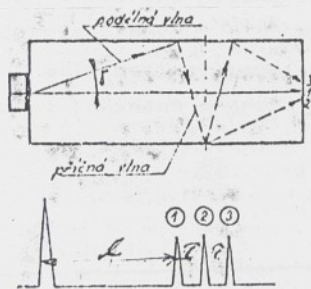
$$u = (2 \cdot (v_T/v_L)^2 - 1) / (2 \cdot ((v_T/v_L)^2 - 1)) \quad (9)$$

$$E_0 = K \cdot v_T^2 = 2 \cdot (G/V) \cdot (1 + u) \cdot v_T^2 \quad (10)$$

Výsledky měření na polovinách valce:

material	ČSN 41 220.1	42 2420	42 2305
v_L m/s	5930	4722	5698
v_T m/s	3296	2587	2994
u	0,275	0,286	0,309
E_0 GPa	216	123,7	164,3

Půlkruhovité vzorky se snadno proměřují, ale hůře opatrují. Proto jsem k stanovení K a E_0 využil zásoby valcových tyčí pro tahové zkoušky o přibližných rozměrech $d=30$ $L=250$ mm reprezentující roční produkci slévárny Liberec Ostasov. Tyče splňují podmínku $L/d > 7$.



Obr.8. Transformace vln v štíhlé tyči.

Transformace podélných vln na příčné při konci tyče umožňuje stanovit K a E_0 následujícími výrazy.

$$\text{Poissonovo číslo } u = 0,5[1 - (d/(2T))^2] \quad T = \hat{c} \cdot v_T \quad (11)$$

$$\text{Vypočtová konstanta } K \text{ pro } E_0 = K \cdot v_L^2 / v_{L_0}^2 = K \cdot v_{L_0}^2 \quad | \text{MPa} |$$

$$K = v_{L_0} \cdot [2 \cdot (G/V) \cdot (1,5 - (d^2/(8T^2))) / (1 + (2T/d)^2) \quad \text{N}^{1/2} \cdot \text{m}^{-1} \quad (12)$$

Celkem bylo proměřeno 138 tyčí. Tabulky dílcích měření jsou v příloze. Objem V tyčí stanoven jednak výpočtem a pak ponořením do odměrného valce. Statisticky zpracované výsledky:

K	E ₀ GPa	ν 1	ρ _r kg/m ³	R _m MPa	platnost pro
191 660	120,5	0,287	7184	273,5	42 2420-25
199 630	116,1	0,259	7057	213,7	42 2420-15

Tyče byly proměřovány defektoskopem DI-4T s primou sondou 1MHz o pr. měniče 30mm.

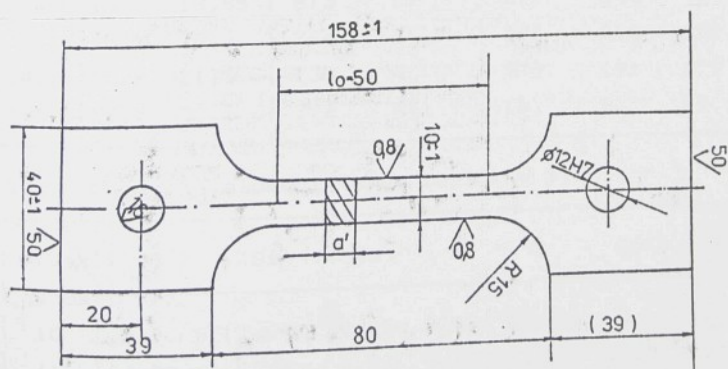
3.3.2. Výpočet mechanických vlastností

Množství feritu F nebo tvrdost HB obecně závisí jen na M hodnotě zbytkového magnetizmu.

Pevnost v tahu R_m závisí na morfologii grafitu i na kovové hmotě proto $R_m = f(\nu, M)$ (13)

Získat vzorky pro pevnostní zkoušky přímo z přepážek bloků válců by bylo velmi pracné. Ve slevárně byly proto odlity deskovité vzorky imitující přepážky. Lisily se tloušťkou a jakostí litiny (L<6,15>, 42 2415/25) s konkrétním rozsahem R_m <161,298>MPa. Tento soubor byl pouze doplněn dvěma plochými výřezy přepážek k ověření matematického modelu.

Ploché tyče pro tahovou zkoušku 40x160mm jsou trhány přes čepy d12mm (nikoliv mezi čelistmi zkus. stroje)-obr9. Při konstantní šířce trhaného průřezu 10mm získané obráběním byla lici kůra čel tyčí zachována.



Obr.9. Plocha tyč pro zkoušku R_m.

Před obráběním byly vzorky nedestruktivně proměřeny:

Ultrazvukovým tloušťkoměrem UTM2000 (SONIMEX) s dvojitou sondou D2030 2,25MHz měnič 16mm, etalon 10mm $v_L=5929\text{m/s}$.

Přístrojem Remag 1,magnetizace 10A, citlivost C1,demagnetizace 10A. Tvrdost byla změřena metodou HB10/3000 a HB5/750.

Metalograficky rozbor byl proveden k stanovení obsahu feritu F dle [11].

Naměřené údaje obsahuje tabulka:

Typ ozn.	L mm	Lu	v_r $\times 10^{-3}$	M 1	R _m MPa	HB -	F %	Pozn.
10A6	6,25	7,25	833	69,3	297	232	0	
12A6	6,1	7,7	792	79,7	232	237	0	
10A8	8,1	9,95	814	57,1	226	219	2	
11A8	8,1	9,95	814	67	251	257	-	
12A8	8	10,1	792	70	235	234	-	
14C8	7,9	10,35	763	61,1	208	226	5	
15C8	7,7	9,6	802	57,8	223	238	10	
3	8,7	10,65	761	40,5	161	150	50	prepaška
4	8,7	10,8	804	53,1	212	172	10	"
10A10	10,0	12,5	804	56,3	260	215	-	
11C10	10,1	12,4	816	64	287	234	0	
12A10	9,9	12,9	770	64	182	224	-	
14C10	9,8	13,2	744	55	205	218	-	
10A15	15,8	19	798	51	251	203	2	
11A15	15,3	18,85	812	57	275	244	0	
12C15	15,7	20,6	764	56,7	206	215	2	
14C15	15,5	21,3	730	46	173	191	5	
15A15	15,6	20,2	772	49	181	219	10	

Tab.2 Chemické složení taveb 10-15 v %:

prvek	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni
tavba								
10	3,3	1,94	0,85	0,12	0,12	-	-	-
11	3,28	1,98	0,84	0,12	0,12	0,22	0,3	0,2
12	3,62	1,82	1,1	0,23	0,07	-	-	-
14	3,57	2,03	0,64	0,25	0,09	-	-	-

15	3,48	1,92	0,81	0,24	0,09
----	------	------	------	------	------

Po matematickém zpracování byl zvolen tento matematický model:

$$R_m = 46,03 \cdot M^{0,5809} \cdot (L/L_u)^{2,932} \quad \text{MPa} \quad (14)$$

Korekce hodnot M na tloušťku stěny L

$$M_s = M / (81 \cdot L^{-2,91} + 1) \quad 1 \quad (15)$$

Množství feritu

$$F = 137 - 2,58 M_s \quad \% \quad (16)$$

Přibližné stanovení R_m jen ultrazvukem

$$R_m = 533 \cdot (L/L_u)^{3,994} \quad \text{MPa} \quad (17)$$

soubor z tab.1 byl pro výpočet F obohacen výřezy z reálných odlitků o vyšších obsazích %F. Koef. korelace výrazů (16) a (14) $K=0,9$.

Porovnání skutečných a vypočtených hodnot přepažek:

Tab.3

vzorek	vypočteno		skutečné		rozdíl	
	R_m	F	R_m	F	R_m	F
3	163	42	161	50	2	-8
4	224	8.9	212	10	12	1,1

4.Provozní účinnost vyvinuté metody

Význam kontroly byl ^{zřetelně} ověřen na několika souborech bloků valců měřených na vstupu do obráběcích operací motorárny LIAZ Jablonec. Četnost souborů $N=100$. Z některých odlitků s extrémními vlastnostmi byly odebrány kontrolní materialové vzorky.

Každý blok má výrobní číslo, ke kterému lze ve slévárně vypatrat čas liti, obsazení směny, kontrolní záznamy tavníky a laboratoře. Díky těmto pramenům se mohou zavést zpětné vazby nedestruktivní kontroly k naprávě kvality materialu [16]. Nový způsob interpretace výsledků měření přinesl nové poznatky o vývoji jakosti [17]. Mohl být zjištěn vliv předpeči PIKS a konstrukčních úprav na výrobní stabilitu kvality materialu.

4.1. Vliv předpeči

a) Odstavka předpeci PIKS ve slevárně způsobila podstatné zhoršení struktury litiny. O 20% se zvýšil podíl odlitků s obsahem $F > 30\%$ v přepážkách válců.

b) Rozdíl mezi vlastnostmi vnějších a vnitřních stěn se snížil zvýšením hladiny R_m přepážek o 20MPa.

c) O 20% se zvětšila četnost odlitků s velmi dobrými mech. vlastnostmi $R_m > 200\text{MPa}$ v přepážkách a na polovinu se snížilo množství odl. s velmi nízkou hladinou $R_m < 150\text{MPa}$.

d) Zeslabila se přímá souvislost chemického složení na mechanické vlastnosti. Zesílil subjektivní vliv.

4.2. Obecné poznatky

a) Z hodnot mech. vlast. naměřených na místě proměření tvrdosti dle vykresu nelze spolehlivě usuzovat na vlast. v přepážkách.

b) Odlitky s velmi nízkou hladinou hodnot R_m v přepážkách $R_m < 100, 150 > \text{MPa}$ jsou char. největším absolutním rozdílem hodnot R_m mezi vnitřními a vnějšími stěnami.

c) Rozptyl mech. vl. vnitř. přepážek je podstatně větší jak vnějších stěn a je dán hlavně rozptylem obsahu feritu.

d) Rozdíly mezi pevností jednotlivých vnitřních přepážek jsou zanedbatelné.

e) Měření tloušťky stěn L přepážek bylo vždy v toleranci 7-8mm a stěn výměníku 5,5-7mm.

f) Statistická kontrola se může provádět jak ultrazvukovým tloušťkoměrem, tak R_m měrem nezávisle, neboť hodnoty E_o i M_s až na výjimky poměrně dobře koreluji s hodnotami R_m .

g) Konstrukční zesílení partie přepážek (předlitá nakružky) nezvýšily hladinu hodnot R_m přepážek.

h) Nekvalitu surovinových vstupů příznivě eliminuje legování litiny Cr, Cu, Ni [18].

4.3. Grafické vyjádření struktury v rovině $\langle E_o, F \rangle$

V uvedené rovině vynesené izopevnostní křivky $M_s = f(E_o)_{R_m = k}$ umožňují názorně se orientovat v poloze strukturních vektorů $R_m(F, E_o)$. Z tvaru množin koncových bodů vektorů ucelených souborů odlitků nebo i různých míst jednoho složitěho odlitku lze vyčíst mnoho zajímavých skutečností o výrobě. Např.

rozptýl S parametrů M_s a E_0 i když je velký nepůsobí nepříznivě, pokud body leží při izopevnostní křivce. Lze odhadnout, ve kterých stěnách je vyloučen volný cementit (blok č.31 499H na obr. v příloze), i další metalurgické informace. Graf obr.10 v příloze obsahuje strukturní vektory přepážek a výměníků asi 100 bloků motoru.

4.4. Časový vývoj kvality

Přes nahodný výběr odlitků bloků válců při jejich kontrole (asi 5% výroby) se podařilo několikrát změřit 3-5 bloků z jedné směny nebo trefit první či poslední odlitek směny, který obvykle vybočoval svoji kvalitou dolů. Vyrobené podprůměrné hodnoty R_m v přepážkách měly bloky lité jako první v ranních směnách.

Bylo možno upozornit na pracovní kolektiv který dodává průměrné systematicky odlitky s nejnižší kvalitou materiálu (teplota tekutého kovu, očkovaní). Na kolísání kvality surovin upozorňují extrémní modulační křivky časového vývoje kvality z obr.11 v příloze, šírku pásma (nosnou křivku) tvoří "směnový" rozptýl kvality s podílem subjektivních příčin.

4.5. Zařízení SYLIT, STRUKTUROSKOP B1

Na základě získaných zkušeností s nedestruktivním měřením kvality litiny složitých odlitků jsem ve spolupráci s firmou ELKOEO Brno navrhl koncepci kombinovaného zařízení na komplexní materiálovou diagnostiku litin. Současně zpracovává počítačem výsledky měření ultrazvukem, digitálního pos.měřit-ka a zbytkového magnetizmu. Blokové schéma uvádí obr.12 v příloze. Jeho prototyp byl ještě rozpracován na bázi počítače SAPI 1 ZPS 3 s UZ tloušťkoměrem T02 FEL z ČVUT Praha k tomuto účelu upraveném (RS rozhraní, softwer, 2MHz sonda) a s "svěpomocí" realizovaným posuvným digitálním měřítkem. Vypis tiskárny zařízení SYLIT je v příloze.

Přes neocenitelné služby, které zařízení vykonalo, je z hlediska možností současné techniky velmi velké a poruchové (viz obr. 13A, B v příloze). Koncepci nového zařízení přenosného a nezávislého na síťovém napětí máme připravenou. Chybí zatím sponzor nebo zakázka na jeho výrobu.

Podarilo se realizovat jen jeho elektromagnetickou část pod názvem STRUKTUROSKOP B1 pro SONP Strojírny Kladno na kontrolu výrobků pro export do Finska (informační listy přiloženy).

5. Závěr-opatření

1. Na výkrese bloku válců je předepsáno kontrolní místo v přepážkách válců pro nedestruktivní kontrolu materiálu.

2. Pro slévárnu byl vypracován směrný technologický postup kontrolní operace (kopie v příloze).

3. Metalurgická postupová karta slévárny vývojových odlitků doplněna o hodnoty R_m nedestruktivně změřené. Provádí se 100% kontrola v přepážkách. Bloky pro důležité zkoušky se "mapují" podrobně dle obr.14.

4. V období odstávky předpecí PIKS nebo v případě zásadního zhoršení metalurgických výrobních podmínek bude nasazena 100% nedestruktivní kontrola materiálu odlitků bloků válců po dobu nezbytně nutnou.

5. Motory pro EURO 2 nové řady budou s bloky válců (model M4209) z nízkolegované litiny ČSN 42 2425. Cr 0,2-0,4% Cu a Ni 0,15-0,3%.

6. Konstrukteři a zkušební technici uplatňují stanovené hodnoty elastických konstant a výrazy pro výpočet E_0 litiny.

7. Objednáno modernizované kontrolní zařízení STRUKTUROSKOP B1 (výhled SYLIT s PC počítačem).

Vypracoval Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

29.3.1994 Jablonec nad Nisou

Použitá literatura:

- [1] Kol. řešitelů LIAZ04: Zpráva o průběhu řešení technologie velkosériové výroby bloku válců o váze do 400kg, oborový úkol OC 406, Liberec 1978.
- [2] Jindra Pavel: Propadání mostků motoru M1, zpráva 43/87 zkušebny motorů LIAZ Jablonec.

- [3] Skrbek,B.: Blok válců M3341/C, zpráva 244-6-Sk/90 laborator LIAZ.
- [4] Skrbek,B.: Bloky válců M1.2B.T, zpráva 231-5-Sk/89.
- [5] Skrbek,B.: Blok válců M3828 motoru č. 90x370013
- [6] Skrbek,B.: Blok č. 14179H/89 těžko obrobitelný, zpráva 286-6-Sk/89.
- [7] Šlajs Jan: Studie utváření mechanických vlastností nelegované sedé litiny v tenkostenných odlitcích při různých podmínkách plnění dutiny formy, závěr. zpráva PGS na VUT Brno.
- [8] Čech Jaroslav: Výzkum vhodného režimu uvolňování odlitků bloků a hlav válců a jejich případné tepelné zpracování, závěr. zpráva obor. úkolu OC 551M, Brno 1980.
- [9] Král Zdeněk: Prognóza vlivu změn organ. faktorů a ekonom. prostředí na budoucí vývoj sléváren, Svaz sléváren Brno 12/90.
- [10] Holmgren,M.: Rezonanční zkoušení pro kontrolu struktury litiny, 53.mezinárodní slévárenský kongres, Praha 1986.
- [11] ČSN 42 0461: Hodnocení metalografické struktury litin.
- [12] Obráz Jaroslav: Zkoušení materiálu ultrazvukem, SNTL, Praha 1989.
- [13] ON 40 2518: Měření tloušťky kovu ultrazvukem.
- [14] Skrbek, B.: Nedestruktivní materialová diagnostika litinových odlitků, kand. disert. práce VŠST Liberec 1988.
- [15] Obráz Jaroslav: Ultrazvuk v měřicí technice, SNTL Praha 1976.
- [16] Skrbek,B.: Bloky válců, zpráva 201-06-B/92, LIAZ Jablonec
- [17] Skrbek,B.: Nedeatr. kontrola struktury a geometrie odlitků v ČR- možnosti a skutečnost, 2.mezinar. metalurgické symposium METAL 93, Ostrava.
- [18] Skrbek,B.: Kvalita bloků válců M4209, M3341/II, zpráva 940305 LIAZ str.10-290.

Použité symboly:

CE...	odlikový equivalent	
D...	velikost granitu	%
E...	modul pružnosti podateční v tahu	GPa
f...	frekvence	MHz
F...	obsah feritu	%
G...	Hmotnost tělesa	kg
H...	intenzita magnetického pole	A/m
HE...	tvrdost podle Brineia	
I...	magn. polarizace	
K...	koef. korelace, konstanta pro výpočet E ₀	
L...	rozměr, tloušťka	mm
Lu...	údaj o rozměru změřeny ultrazvukem	mm
M...	hodnota intenzity zbytk. magn. pole indikována přístrojem Remag	
Ma...	Hodnota M korigována na tl. stěny L	
N...	demagn. činitel	
p...	akust. tlaky	Pa
Rm...	pevnost v tahu	MPa
β...	rozptyl, směrodat. odchylka	
T...	roztáč transform. ech	mm
v _L ...	podélná rychlost zvuku	m/s
v _T ...	příčná	m/s
v _r ...	relativní	l
V...	objem	m ³
γ...	koef. utlumu	kg/m ²
ρ...	měrná hmotnost	cm
λ...	vlnová délka	mm
ν...	Poissonova konstanta, permeabilita	
...	roztáč transf. ech na obrazovce	

Obsah:

1.	Úvod-přehled	1
2.	Char. problému	2
2.1.	Namáhání bloků válců	2
2.2.	Konkrétní problémy s bloky	2
2.3.	Předepsané vlastnosti materiálu	4
2.4.	Technologie výroby odlitků bloků válců	4
2.4.1.	Slévárenská technologie	5
2.4.2.	Metalurgická příprava tekuté litiny	5
2.4.3.	Vnější podmínky	5
3.	Vývoj kontrolní metody	6
3.1.	Kontrolní místo	6
3.2.	Výběr metody	6
3.2.1.	Ákustické metody	7
3.2.2.	Metoda k stanovení vlastností kovové hmoty	9
3.3.	Vztah mezi fyzikálními a mechanickými vlastn.	13
3.3.1.	Výpočet modulu pružnosti E_0	13
3.3.2.	Výpočet mech. vlastností	14
4.	Provozní účinnost vyvinuté metody	17
4.1.	Vliv předpecí	17
4.2.	Obecné poznatky	17
4.3.	Grafické vyjádření struktury v rovině ..	18
4.4.	Časový vývoj kvality	18
4.5.	Zařízení SYLIT, Strukturoskop B1	19
5.	Závěr-opatření	19
	Literatura	20
	Použité symboly	22
	Obsah	23
	Přílohy	16 listů
	Obrázků	14

25. 2. 1997 Ing. B. Skrbek zpr. 97021803	Hlavy válců M1503 expertiza materiálu	ŠKODA LIAZ 12 - 230 Jablonec n.N.
--	--	---

1. Úvod

V roce 1996 a počátkem března 1997 odlitky hlav válců některých taveb způsobily odstavení obráběcí linky pro totální otupení riálové vysvětlení a podklady pro reklamaci proto může poskytnout 97010603 prezentovanou zkouškou pevnosti hlav. Hlavy válců M1503 na motory M1.2A odlévá a hrubuje slévárna ČKD Hradec Králové. Každý odlitek je označen třímístným číslem dne odlití a odděleným popalety obsahují 24ks hlav z různých taveb, všechny hlavy jsou přístupné jen z boku s povrchem s licí kůrou a opatřeny základovým nátěrem, není schůdné i z tohoto důvodu pro vstupní kontrolu aplikovat klasické měření tvrdosti. Byl jsem proto požádán o vyloučení nevyhovujících hlav nedestructivní diagnostikou. Hrubé měření struktury přístrojem DOMÉNA 2 (nebyla ještě stanovena souvislost mezi hodnotami M a tvrdostí či jinou vlastností litiny hlav válců) jsem provedl na litém povrchu boků všech hlav M1503, které byly na skladě v 10. a 11. měsíci v ŠKODA LIAZ. Tato kontrola odhalila jak hlavy měkké, pevnostně z naprosto nevyhovující (např. tab. 102 3) litiny, tak velký podíl hlav v intervalu hodnot "tvrdosti" 160-170HB. "Neobrobitelné" hlavy hodnotami tvrdosti obvykle vyhovovaly, ale vykazovaly neobvyklé složení struktury, prvků a vysoké hodnoty magnetizmu M. Odlitky s nedestructivním odhadem tvrdosti <170HB byly vráceny slévárně k 100% rozřídění měřením klasickou metodou HB10/3000 na výkresem předepsaném místě.

Opatření navrhovaná ve zprávě 97010603 předané p. Bublovi (není již v prac. poměru v ŠKODA LIAZ a.s.) z TK, se ptrně nebrala v úvahu, neboť začátkem března 1997 došlo opět k zablokování obráběcí linky těžko obrobitelnými hlavami. Stejná situace se řeší po třech měsících znova.

V této zprávě chci též zužitkovat provedená rozsáhlá měření k upřesnění metodiky nedestructivního měření a pro specifikaci rozložení struktury a mech. vlastností v dodávkách hlav (pro konstrukci). Kvantifikaci a rozložení jakosti litiny hlav M1503 v daném období (pro ORJ a slévárnu) podává další zpráva 97032003.

1.1. Předpis

Materiál - šedá litina ČSN 42 2425

Tvrdost 180-240HB kontrolována na výkresem stanovených místech desky ventilů (ozn.A) a vahadel (ozn.B). Informační hodnota modulu pružnosti $E_0 = 124,9 \text{ GPa} \pm 5\%$ a stupně eutektičnosti $SE < 0,87; 0,93 >$. Pevnost v tahu $R_m \geq 250 \text{ MPa}$.

2. Měření

V rámci této expertízy byla provedena komplexní specifikace struktury litiny výběrového souboru hlav válců. Změřené hodnoty M popisují magnetickou tvrdost železné matrice litiny. Nutno rozlišovat tvrdost kovové matrice a tvrdost litiny. Při porovnání různých fází matrice (perlit bainit, martenzit, volný cementit) a jejich tvrdosti, nemusí být mechanická a magnetická tvrdost vždy) přímo úměrná. Tvrdost matrice je vždy vyšší o degradační

účinek grafitu jak tvrdost litiny! Obrobitekniosť klesá s rostoucí tvrdostí, ale i mezi kluzu (houževnatostí) kovové matrice litiny. ad.2) Velké odchylky v korelaci mezi hodnotami M a tvrdostí HB některých hlav vyvolaly podezření v nepřipustném rozptylu množství Proto jsem provedl komplexní nedestruktivní diagnostiku struktury výběrového souboru 12ks hlav a destruktivní stanovení pevnosti u 2ks hlav (zpráva 97010603). Místa měření A,B,C,D - viz. příloha. **Výběrový soubor 12ks hlav** -odlitky vybírány tak aby reprezentovaly toleranci mech. vlastností všech dodávaných odlitků.

2.1.Základní kovová hmota litiny

Tabulka 1. obsahuje výsledky měření tvrdosti na výkresem přepsaných místech po hrubování povrchu a příslušných hodnot remanentního magnetizmu M přístrojem DOMÉNA 2. Nastaven 4. stupeň magnetizace při krátkém L a dlouhém LL magnetování povrchu příložnou sondou přes základní nátěr a hrubovaný povrch v místech A a C; na bocích hlav B přes lící kůru a základový nátěr.

Tab.1.		A na d. ventilů			na boku B		na desce vahadel C		
HL. ozn	HB10/ 3000	M _{4L}	M _{4LL}	M _{4L}	M _{4LL}	HB10/ 3000	M _{4L}	M _{4LL}	
102 3*	133 134	115 114	107 103	112 114	98 99	141 140	127 123	112 109	
127 2	149	133		119		157	146		
142 1	240 231	306 304	245 245	258 258	216 216	249 241	305 277	242 220	
142 2*	184 185	307 294	284 262	250 240	220 218	183 183	320 317	280 275	
142 2a	216 211	300 285	241 241	235 235	203 200	211 219	284 302	233 252	
144 2	146 143	121 124	108 112	117 106	105 102	160 157	149 150	129 128	
144 2a	142 140	113 111	108 107	110 108	92 89	153 157	132 146	125 129	
147 6	166 162	180 184	166 162	182 176	170 160	174 179	189 189	170 162	
123 3	269 274	290 295	246 235	270 264	230 210	277 277	262 267	227 223	
123 3A	242 235	269 265	225 220	264 262	217 214	221 226	269 260	227 221	
143 2	220 217	269 254	229 217	295 243	275 201	231 226	269 260	222 221	
170 2	209 208	175 175	152 151	175 176	157 158	210 208	175 175	160 161	

*...viz.podrobná analýza materiálu zpr.97010603.

**...měřeno přes již hrubovaný povrch.

2.2.Grafit - tuhost litiny

Množství a velikost grafitových útvarů v litině se projevuje na tuhosti (na hodnotě modulu pružnosti Eo), kterou lze snadno měřit ultrazvukem.

Jednoduchou ultrazvukovou sodou o frekvenci 1MHz defektoskopu DI-4T byl prozářen sloupec nálitku šroubu ø33mm pod místem měření

ŠKODA LIAZ 12-230 Ing.B.Skrbek,CSc.97021803 mat.hlav M1503 v r.1996.

C a dvojitou sondou 2MHz vnější stěna D na boku silná cca 20mm.

Tab.2										nálitek šroubu C										vnější stěna D							
hlava		L		Lu		Eo		L		Lu		Eo		M _L		M _{LL}		Pozn.									
		mm		mm		GPa		mm		mm		GPa		1		1											
102 3		122,5	176,5	122,5	176,5	92,3	92,3	19,56	26,6	21	27	103,6	115,9	135	126	120	105	měření 30.10 až 20.11.96 nejměkčí hlava									
127 2		122,4	161			110,8		-																			
142 1		122	197	122	207	73,5	66,8	18,9	28,5	18,7	26,8	84,3	93,3	243	214	260	230										
142 2a		122	220	122	225	60	56,5	15,6	24	14,5	22,3	81	81	258	213	296	250	neobrobitelné hl.									
142 2		56,8*	99	58	* 100	63	64,5	19,2	30	19,5	31,2	78,5	74,9	240	203	260	206	"									
144 2		122,5	173	122,5	173	96,1	96,1	-																			
144 2a		122,5	172,5	122,2	172,5	96,7	96,2	-																			
147 6		122,2	170	122,9	173,5	99	96,2	-																			
123 3		120,1	190		189	76,6	77,4	14,3	20,8	15,2	22,4	90,6	88,3	255	212	260	212	měřeno 3.3.97									
123 3A		120	197		199	71,1	69,7	14,9	22,1	15,5	23,5	87,1	83,4	256	193	251	196										
143 2		122,2	215		217	61,8	60,8	19,2	29,6	19,4	30,5	80,6	78,4	240	210	236	210										
170 2		122,4	153	122,1	152,5	122,7	122,9	18,7	23,5	19,1	24	121,4	121,4	184	170	178	168	nejkvalitnější odlitek									

L...skutečný rozměr, Lu...ultrazvukem změřený zpožděný rozměr L.

$$E_o = (437,8 \times L/Lu)^2 \text{ MPa} \quad (1)$$

Pro lepší zařazení změřených hodnot uvádím výtah z ČSN litin pro stěny 15-30mm silné nebo tyče ø30mm, stěny 45 - 60mm a tyče ø60mm. Hodnoty Eo klesají u litin po tepelném zpracování, zejména po kalení. Pokles tuhosti je důsledek růstu plochy mezifázové hranice matrice/grafit a vzniku mikrotrhlin na koncích grafitových lamel.

Tab.3	jakost		42 2410	42 2415	422420	422425	42 2430
Eo	ø30		88,9	97,3	110	125	144
GPa	ø60		77,1	88,9	97,3	110	125

2.3. Struktura a mikrotvrдость

Pro metalografický rozbor jsem odebral vzorky materiálu z míst A nebo D 5-ti typických hlav válců. Snímky na obr.1 až 5 dokumentují struktury matrice, na kterých bylo provedeno měření mikrotvrlosti metodou HV0,05. Při zatížení 50g lze hodnotit skutečnou tvrdost matrice - bez degradujícího vlivu grafitu.

hlava místo	grafit	popis matrice	tvrdost HV 0,05
102 3 A	IA, 4,3	ferit 50%, perlit lamel.hrubý obr.1.	ferit 125;155;186 perlit 221;284;315
142 2 A	IA, 3(2)	jemný perlit a sorbit, velmi drobná zrna, ferit <10%, obr.2	P+S;390;396;396;412
142 1 D	IA, 3,4	popuštěný martenzit/sorbit jemný, obr.3.	M;468;460;511;496
123 3 D	IA, 4(3)	martenzit hrubý, lehce popuštěný, obr.4.	M;536;620;575;590
170 2 D	IA, 5(4)	jemný perlit P1, 100%, obr.5.	P;311;327;400;420



Obr.1. Tavnba 102 3, 500xZV.
Litý stav

Obr.2. Tavnba 142 2, 500xZV
přechodová matrice, extrémě hrubý grafit.

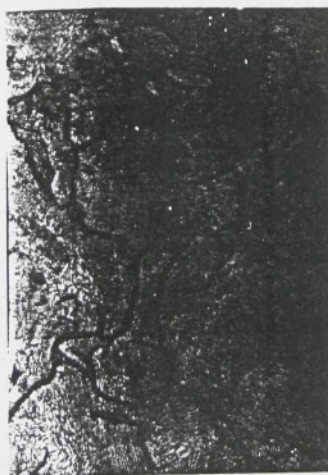
Odlitky taveb 102 3 a 170 2 jsou v litém stavu. Ostatní byly tepelně zpracovány kalením (odlitky 142 2 s mírně podkritickou rychlostí chlazení) a popuštěním.



Obr.3. Tavba 142 1, 500xZV.
Zušlechtěno.



Obr.4. Tavba 123 3, 500xZV.
Zušlechtěno.



Obr.5. Tavba 170 2, 500xZV.
Litý stav - vzorová struktura.

2.4. Pevnost litiny hlav válců M1503

Pevnost v tahu R_m je rozhodující mechanická užitná vlastnost. Hodnota R_m litiny se skládá z pevnosti kovové matrice zeslabené plošným a vrubovým účinkem grafitu a případných mikrotrhlin. Vlastní grafit má nulovou pevnost v tahu, ale přenáší zatížení v tlaku.

Skutečná pevnost na zkušební tyči vypreparované z odlitku byla stanovena jen u hlav z taveb 102 3 a 142 2. Pro výpočtové porovnání hladin R_m všech hlav jsem použil jednak funkci

$$R_{mHB} = f(HB, E_0) \quad (2)$$

a pak funkci

$$R_{mM} = f(M_L, E_0) \quad (3)$$

Obě experimentálně vypočtené a ověřené pro feritickou až perlitickou matici šedých litin litých z kuploven (Liberec-Ostašov).

místo hlava	R_{mHB}		R_{mM}			stav	R_m MPa A/C
	A	C	A	C	D		
102 3	129	133	131	131	171 192	1	132,3
127 2	171	178	192	203		1	
142 1	148	148,5	170	145	218 181	tz	153,5
142 2	105	108	143	133	163 158	tz	
142 2a	110	108	120	120	175 189	tz	
144 2	143	153	150	168	/	1	
144 2a	140	151	142	161	/	1	
147 6	162	166	195	191	/	1	
123 3	179	180	176	170	204 200	tz	
123 3a	148	139	151	145	194 180	tz	
143 2	117	121	117	115	168 157	tz	
170 2	250	249	261	262	263 258	1	

1...litý stav tz...tepelně zpracováno

Ani tepelné zpracování nezlepšilo hlavy do jakosti litiny 42 2425. Hodnotou pevnosti R_m vyhovuje jen hlava tavby 170 2.

3. Regresní analýza

Cílem matemat. zpracování výsledků z tab.1 je vyhledat optimální vztah pro provozní kontrolu hlav válců M1503 přístrojem DOMENA 2 podle tvrdosti HB.

Tab.5		Lineární rovnice pro výpočet HB		M měřeno na
Soubor	koef. K regrese	výraz		
1+tz	0,8	(4)	$HB_{A,C} = 95 + 0,46 \times M_{4LA,C}$	obrobené povrchy
1	0,81	(5)	$HB_{A,C} = 53 + 0,74 \times M_{4LA,C}$	"
1+tz	0,87	(6)	$HB_C = 92 + 0,54 \times M_{4LD}$	boku
1	0,91	(7)	$HB_C = 25 + 1,02 \times M_{4LD}$	boku

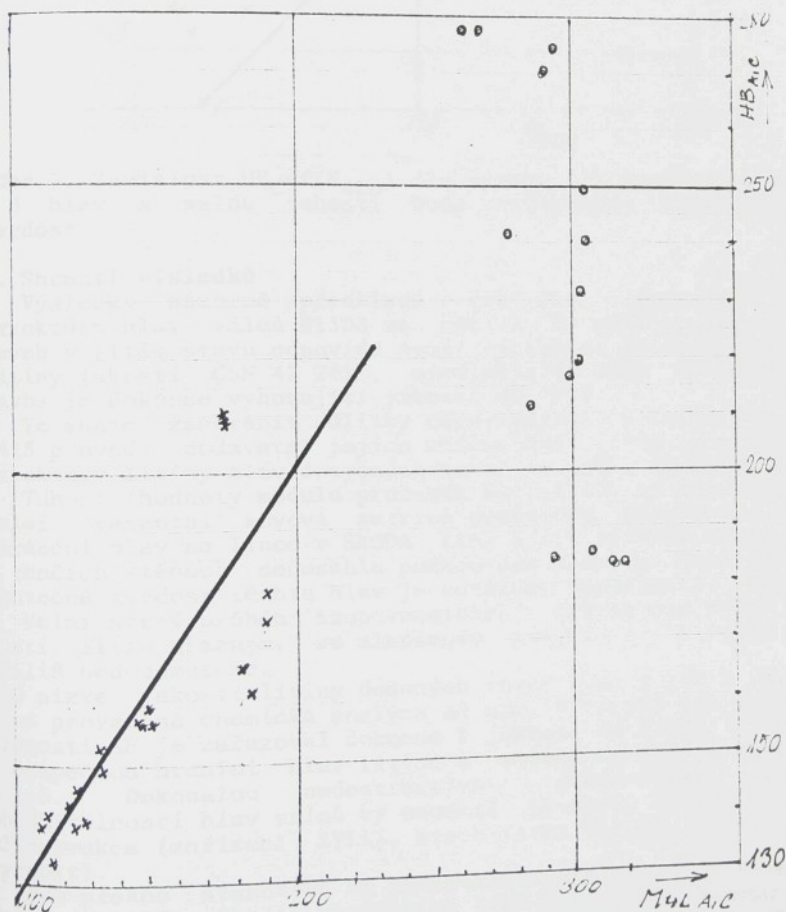
tz	0,49	(8)	-	boku
----	------	-----	---	------

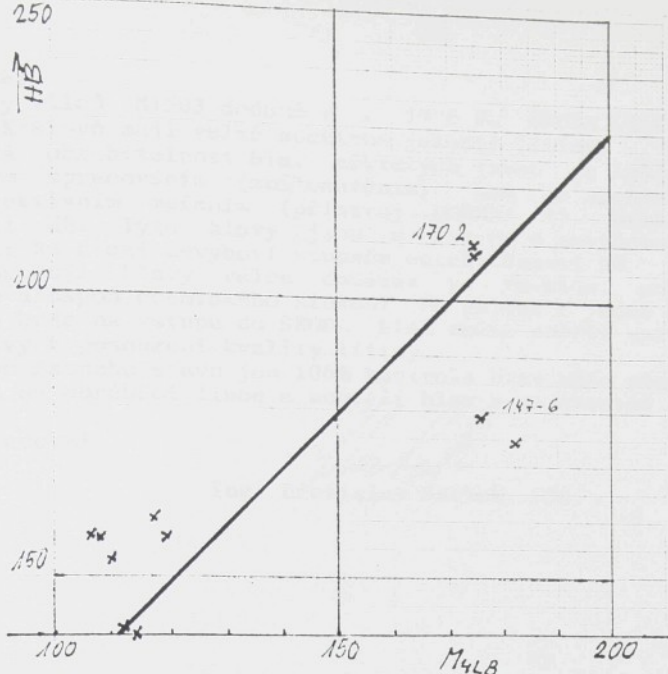
Hodnota K při měření krátkou a dlouhou magnetizací se neměnila. Tvrdost HB zušlechťených odlitků je na hodnotách M prakticky nezávislá (výraz (8)), nedestruktivně nelze měřit tvrdost - obr.6.

Pro praxi jsou použitelné výrazy pro měření odlitků v litém stavu a to (7) pro měření z boku přes lící povrch (obr.7) a nouzově i výraz (5) (hodnota $K < 0,9$) pro měření na hrubovaných površích hlav.

Při měření na hlavách v paletách tak bude zaručeno vyřazení zušlechťovaných hlav, neboť DOMENA 2 je bude registrovat jako odlitky s příliš vysokou tvrdostí $HB > 240$, i když ve skutečnosti jejich tvrdost může být podstatně nižší. Všechny jsou ale neobrobitelné.

Obr. 6. Funkční závislost $HB_{A,C} = f(M_{4LA,C})$ pro měření na hrubovaných plochách. Přímka výrazu (5).
x....hlavy v litém stavu
o....hlavy zušlechťené





Obr.7. Závislost $HB_C = f(M_{4LB})$ dle výrazu (7) použitelná pro praxi. U hlav s malou tuhostí bude indikována vyšší než skutečná tvrdost.

4. Shrnutí výsledků

Výsledky názorně předkládá grafické "vektorové" vyjádření struktury hlav válců M1503 na obr. 8. Z něho plyne, že řada taveb v litém stavu odpovídá svoji optimální přirozenou strukturou litiny jakosti ČSN 42 2415, ojediněle 42 2420 a poslední dodaná tavnice je dokonce vyhovující jakosti 42 2425.

Ve snaze zachránit odlitky odpovídající v litém stavu ČSN 42 2415 provedl dodavatel jejich zušlechtnění. Tím se posunul obraz struktury litiny hlav dotýčných taveb ve směru šipky na obr.8.

Tuhost (hodnoty modulu pružnosti E_0) litiny se o jakost snížila. Velmi "rasantní" kovová matrice prakticky znemožnila racionální obrábění hlav na lince v ŠKODA LIAZ a.s., přičemž ale pevnost ani v tenkých stěnách nedosáhla požadované hodnoty $R_m = 250 \text{ MPa}$. Přitom skutečná tvrdost těchto hlav je většinou vyhovující, rozptýlená

Velmi strmý průběh "izopevnostních" křivek pro velmi nízké jakosti litin ukazuje, že zlepšením matrice si k vyšší pevnosti příliš nedopomůžeme.

O nízké jakosti litiny dodaných taveb 1023 a 142 2 svědčí mimo jiné provedená chemická analýza ze zpr. 97010603 kde stupeň eutektičnosti SE je zařazoval dokonce k jakosti 42 2410!

Bezpečnou hranicí hlav litých a zušlechtněných je hodnota $M_{4AC} = 215$. Dokonalou nedestructivní diagnostiku pevnosti a obrobiteľnosti hlav válců by umožnil přístroj DOMENA 2 sprážený s ultrazvukem (zařízení SYLIT, které firma ELKOSO s.r.o. Brno může vyrobit).

Pro přesné stanovení R_m nedestructivním měřením by bylo nutno ještě vyrobit několik zkušebních tyčí z hlav ČKD Hradec Králové.

Žiháním zušlechtněných hlav válců pro lepší obrobiteľnost by litina měla stále nedostatečnou pevnost.

5. Závěr

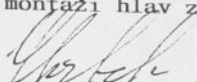
Hlavy válců M1503 dodané v r. 1996 do ŠKODA LIAZ a.s. z ČKD Hradec Králové mají velké spektrum jakosti litiny.

Těžká obrobitelnost hlav některých taveb je způsobena jejich tepelným zpracováním (zušlechtěním). Lze je spolehlivě odhalit nedestruktivním měřením (přístroj DOMENA 2), nikoliv měřením tvrdosti HB. Tyto hlavy jsou z litiny o nevyhovující hodnotě pevnosti R_m a asi nevyhoví stupněm eutektičnosti SE.

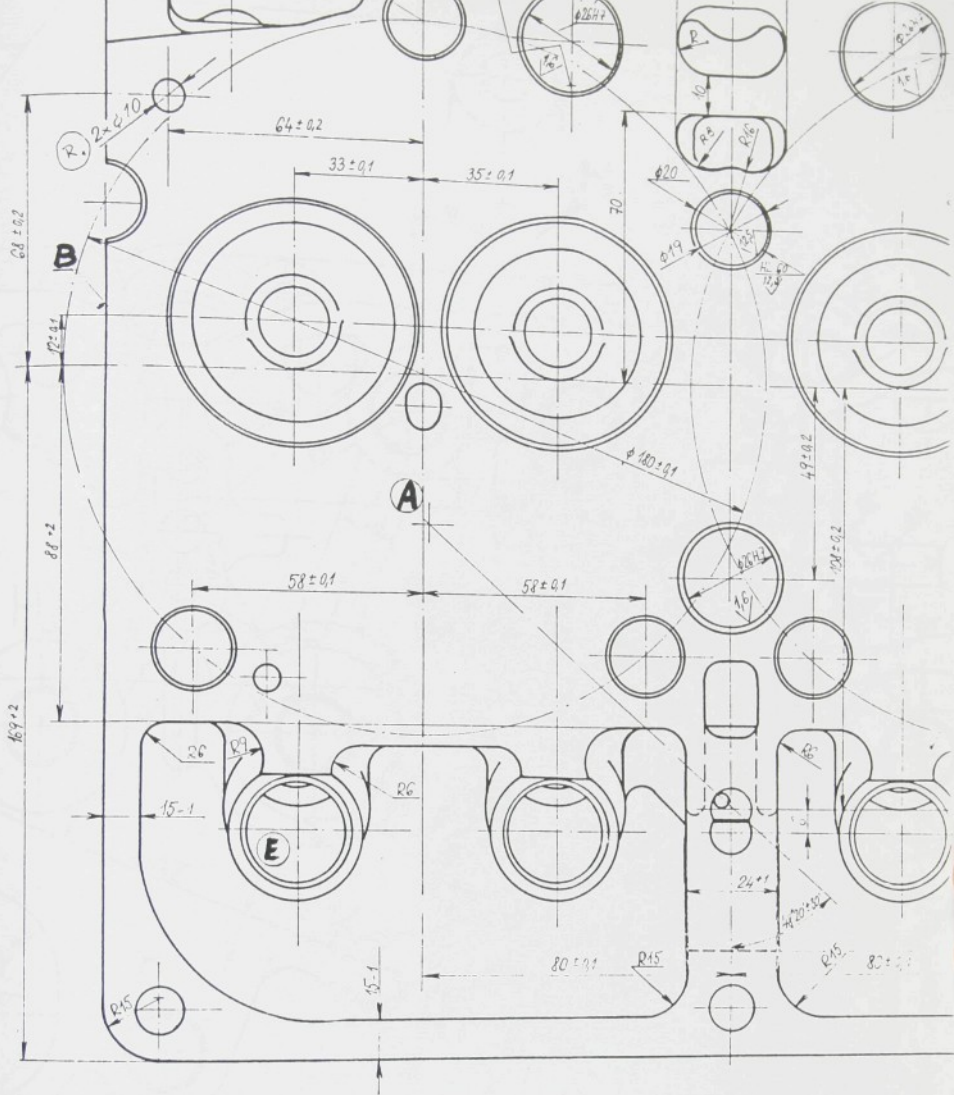
Doporučuji hlavy válců dodávat po tavných, pokud možno s atestem alespoň chemického složení. Na paletě o jedné či max. dvou tavných bude na vstupu do ŠKODA LIAZ možno změřit max. jednu nebo dvě hlavy k posouzení kvality litiny.

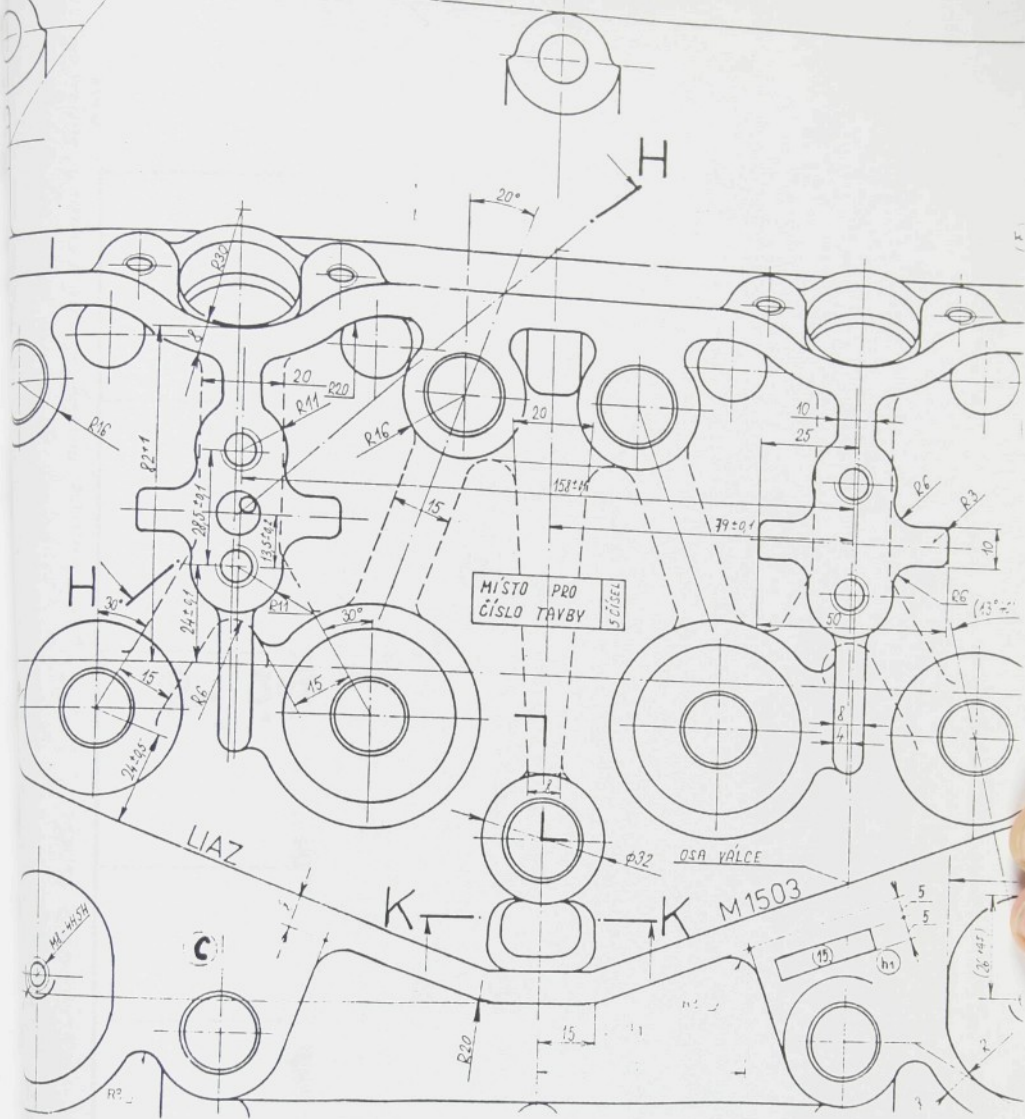
Za současného stavu jen 100% kontrola hlav může předejít dalším ztrátám na obráběcí lince a montáži hlav z nejakostní litiny.

Vypracoval



Ing. Břetislav Skrbek, CSc.





... oblast optimální struktury litiny
 ... hranice max. síly u přeměny katektických
 bloků

SEČNÁ LITINA
 200V MPa 3 000 MPa

← KATEKTICKÁ
 PŘEMĚNA

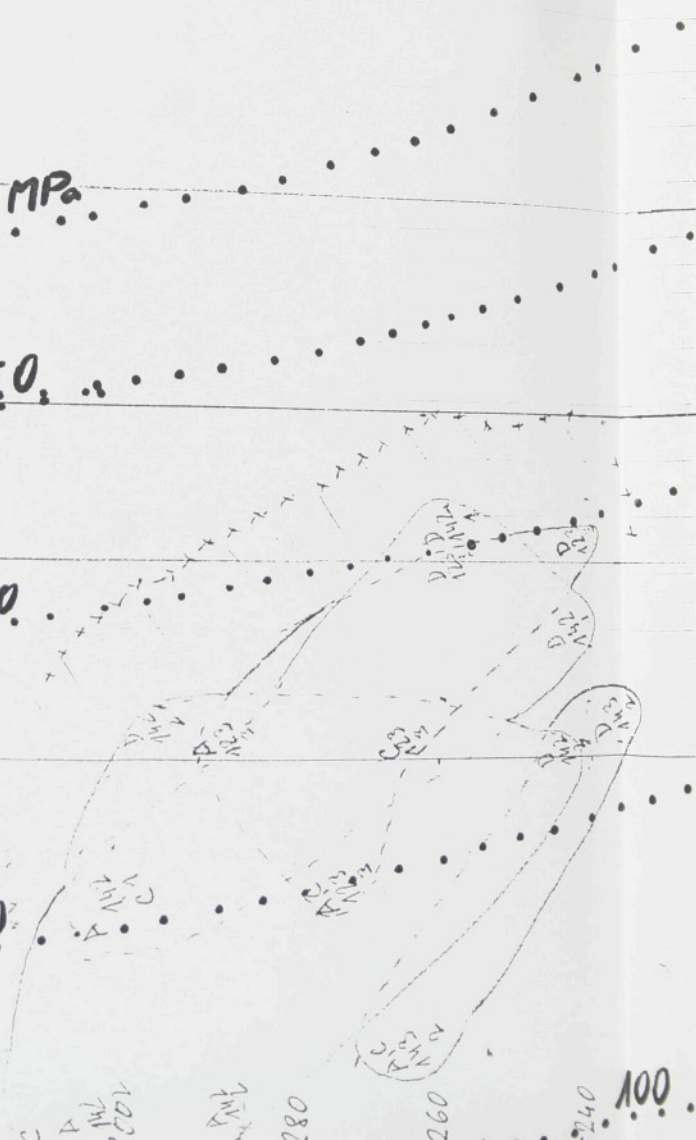
R_m 300 MPa

250

200

150

KOVOVÁ
 MATRICE



100
 280
 260
 240

100

3.4.1995 Ing.B.Skrbek zpráva 950305	Hlava M4282 (EURO3) rozložení mechanick. vlastností na řezu A	L I A Z 18 - 790 Jablonec
---	---	---------------------------------

Úvod

Cílem této zprávy je získat představu o rozložení mechanických vlastností na šesti válcové hlavě M4282 pro vývojový motor EURO 3. Bude možno určit kritická a kontrolní místa tohoto složitějšího odlitku.

K uvedenému účelu byl rozříznut zkušební "rozměrový" odlitek hlavy M4282 č.0. Zde nejsou rozhodující získané absolutní hodnoty mechanických vlastností, nýbrž poměry hodnot téže veličiny získaných z různých míst téhož odlitku. Hodnocen byl příčný řez. V podélném směru (porovnání jednotlivých válců) se předpokládá podstatně rovnoměrnější rozložení vlastností.

Nejprve byla provedena nedestruktivní diagnostika 15-ti míst. Z míst s předpokládanými extrémními vlastnostmi pak byly odebrány vzorky pro změření tvrdosti a pevnosti v ohybu s kontrolou struktury.

2. Předpis

Matériál: šedá litina ČSN 42 2425 nelegovaná
tvrdost stěn 15-30mm 180 - 240HB
pevnost $R_m \geq 250 \text{ MPa}$ v tahu ($E_0 = 125 \text{ GPa}$)
 $R_{m0} \geq 430 \text{ MPa}$ v ohybu.
Stěny 8-15mm 200-260HB
 $R_m \geq 280 \text{ MPa}$.

3. Místa měření

Nutno brát zřetel na techniku odlévání, tloušťky stěn a přístup měřidel k místu. Do formy odlitku M4282 je přiváděn tekutý kov širokými zářezy Z z boku 7mm tenkých stěn sacích potrubí. Spodní část potrubí (místo 2 na obr. 1) a příslušná část desky válců (5) tak bude nejvíce "vyhřívána" průtokem litiny vytemperovaným formovacím materiálem jádra a formy (při odlévání), tuhnutí a chladnutí ve formě.

Nejstrmější ochlazovací gradient lze naopak předpokládat v místě posledního dosazení kovu na protilehlém vršku formy v místě 15.

Na tvorbě struktury litiny se podílí také reaktivnost a tepelná kapacita materiálu jader a základní formy. Proto ohybová zkouška byla provedena (při dvou vzorcích z téhož místa) s licí kúrou od jádra a pak od formy v tahové části ohybové zkoušky. Mechanické vlastnosti také ovlivňuje v odlitku "uzavřené" vnitřní pnutí, které se destrukcí odlitku uvolňuje. Odlitek nebyl žíhán na odstranění vnitřních pnutí. Řízené chladnutí k odstranění vn. pnutí aplikované na dvouválcových hlavách nelze přenést na šestihlavu bez termické analýzy chladnutí a tenzometrie vnitřních pnutí. Než bude tento výzkum proveden, nutno hlavy válců M4282 pečlivě žíhat na odstranění vnitřních pnutí. Především tak neočekávaným změnám rozměrů během obrábění a provozu a snížené nosnosti stěn předepjatých tahovými složkami vnitřních pnutí. Citlivější na vznik vnitřních pnutí je legovaná litina jak nelegovaná.

Měření bylo provedeno v patnácti místech na řezu dle obr.1 mezi 2. a 3. válcem - obr.2.

Odlitek M4282/0, který je předmětem měření byl vyřazen pro

nevyjití stěny (vyplutí jádra) v místě ozn.X obr.2.

4. Výsledky měření

4.1. Nedestruktivní diagnostika

Rychlost zvuku v_L a modul pružnosti E_o měřen UZ tloušťko-
měrem UTM2000 se sondou D2010 5MHz. Nálitek pro podélný vývrt
hlavou - místo 11 - proměřen defektoskopem DI-4T sondou 1MHz
D30 mm. Zbytkový magnetizmus M , který je úměrný tvrdosti HB a
množství perlitu P měřen s obtížemi přístrojem REMAG1
(poruchy). Skutečná tloušťka stěn L měřena digitálním posuvným
měřítkem a obkročnými nástavci na čelistech. Pevnost R_m
vypočtena, stejně jako P a E_o dle dříve uváděných vztahů.

tab.1 místo	L mm	v_L m/s	E_o GPa	P %	R_m MPa
1	5,9	4520	111,5	100	209
2	6,5	4504	110,8	77	186
3	6,3	4669	118,8	96	223
4	5,8	4650	117,5	100	230
5	13,6	4406	100	62	150
6	17,3	4601	106,7	64	164
7	17,7	4603	106,9	66	158
8	6,6	4674	119,9	62	182
9	13,7	4642	117,5	64	179
10	7,4	4720	121,7	77	213
11	348	4437	107,2	100	200
12	5,6	4673	115,9	60	180
13	7	4914	131,8	100	280
14a	6,2	4892	131	68	227
14b	19,5	4533	112,7	100	220
15	6,3	4875	129,6	84	241

14b...příruba.

Rozsah hodnot R_m představuje více jak dvě jakostní třídy ŠL.

4.2. Mechanické zkoušky

K řezu A byl paralelně veden ve vzdálenosti 50mm řez B. Z
odříznuté části byly vyříznuty proužky pro stanovení pevnosti v
ohybu na mokroohybovém přípravku LIAZ.

tab.2 místo	L mm	b mm	E_o GPa	R_{m0} MPa	R_{e0}	R_{e0}/R_m	y_p	HB	tah v
1a	6	17,8	110,3	489	310	0,63	0,68	200 202	F
1b	5,9	15,4	109,4	499	338	0,68	0,37	195 198	j
2a	6,5	17,8	109,5	387	235	0,61	0,44	161 158	j
2b	6,5	18,5	113,4	459	293	0,64	0,57	170 177	f
3	6,3	16,7	109,5	384	246	0,64	0,43	163 180	f
4	5,9	19,3	115,9	477	317	0,66	0,49	207 208	j
5	6,9	23,8	116,4	378	282	0,75	0,3	167 167	f
12	5,7	18,6	125,3	515	325	0,63	0,29	188 184	j
13	6,7	19,7	114	517	387	0,75	0,26	212 197	j
15a	6,4	18	129,8	542	385	0,71	0,26	190 200	f
15b	6,5	18,1	120,8	562	374	0,67	0,33	196 207	j

j...tah.napětí v lici kůře při jádru (dutině odlitku)
 y_p ... poměrný plastický průhyb ("tažnost")
 Reo...mez počátku nelineárního průběhu zatěžovací charak-
 teristiky síla $P=f(y)$ průhyb y .

4.3. Metalografie

Rozbor struktury byl proveden na výřezích stěn z míst 2a, 5 a 15b.

tab.3 místo	licí kůra střed	grafit	železo
2A	LKF LKJ STR	G1A5/B6-7 G1A5/D6 G1A4/B6	P40-20% P1/2 Pd1/1,4 P50-40 " " Pmax.60 "
5	LKF STR	G1A4 G1A4	P0 do 0,6mm! P80 P1/2 Pd1,4
15B	LKF LKJ STR	G1A5/D6-7 G1A6-7 0,15mm G1A/B4-5	P70-80, oxidy P60-70 P1/2 Pd1 P70 " "

5. Shrnutí

Provedené nedestruktivní zkoušení zhodnotilo materiál stěn integrálně v celých průřezích, kdežto ohybová zkouška zvýrazňuje vliv povrchových partií (licí kůry).

Poměr předpokládané pevnosti v tahu R_{mmax} a R_{min} je 1,86 a skutečných pevností v ohybu $R_{mmax} : R_{min} = 1,5$ na řezu A ve stěnách silných cca 6-18mm. Vliv rozdílné tloušťky stěn se přitom projevuje max.20% změnou (poměr 1,2) u R_m a 13% (1,13) změnou pro R_{mo} .

Do velkých rozdílů mechanických vlastností u tohoto typu odlitků se podst. měrou již promítá slév. technologie a metalurgie přípravy litiny. Z obr. 3 názorně plyne, že na rozptýlu pevnosti se podílí jak grafit (rozptýl E_o) tak železo (obsahy perlitu P) ve struktuře litiny stejné.

Nejhorší mechanické vlastnosti lze očekávat v desce válců při sacím potrubí (5. místo).

Podle absolutních hodnot R_{mo} lze zkoumaný odlitek zařadit do jakostní materiálové třídy 42 2420 i přes poměrně vysoký obsah feritu ve stěnách s vyšší průtočností kovu. Pro pevnost neobráběných ploch má nepříznivý vliv zjištěná 0,6mm silná feritická licí kůra (při desce válců). V tepelné velmi exponované (při lití) dutině formy sacího potrubí (místo 2) licí kůra při formě způsobila o 70MPa vyšší hodnotu R_{mo} jak ze strany vnitřního jádra! Tento rozdíl v pevnosti téže stěny způsobily rozdíly ve skladbě jádrové a formové směsi, ale i možné tahové vnitřní předpětí licí kůry při jádrovém povrchu.

Nárůst hodnoty E_o v místě 5 a 12 po vyříznutí vzorku může svědčit o uvolnění tahových vnitřních pnutí a naopak pokles E_o v 13 o uvolnění tlakových pnutí.

6. Závěr

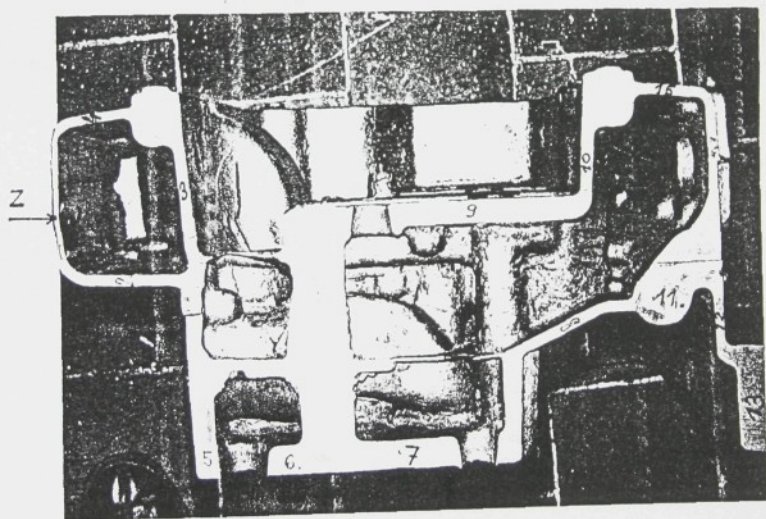
Pokud i při pečlivé metalurgii a očkování ve slévárně bude u dalšího odlitku nedestruktivně zjištěn podobný poměr R_m , doporučuji předepsat pro odlitek M4282 nízké legování Cr, Cu, Ni (podobně jako bloky M4209), které podstatně potlačí rozdíly v mechan. vlastnostech na jednom odlitku.

Kontrolní místo na měření tvrdosti, případně Eo a struktury je vhodné volit na spodní desce válců na straně sacího potrubí.

Dokud nebude vyvinuta metoda řízeného chladnutí pro odlitek M4282, je třeba každý odlitek pečlivě žíhat na odstranění vnitřních pnutí (cca 550°C/3h s pozvolným ohřevem a ochl. v peci).

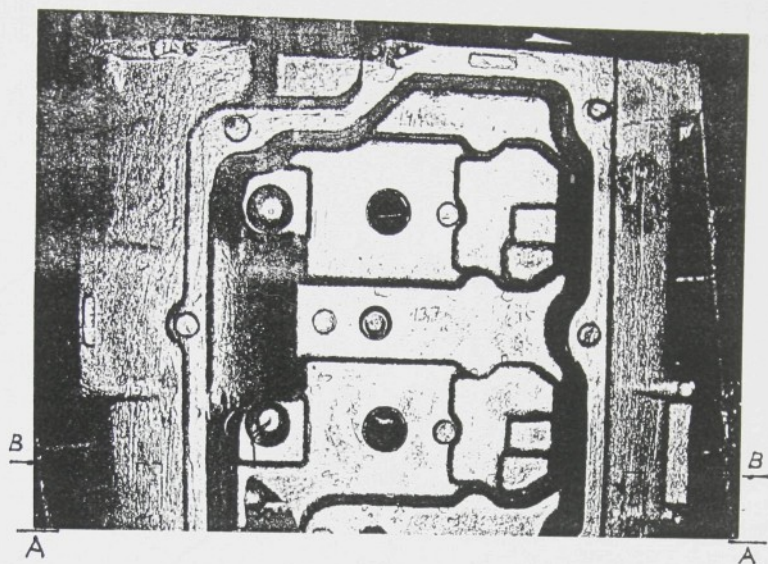
Vypracoval

B. Skrbek
Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

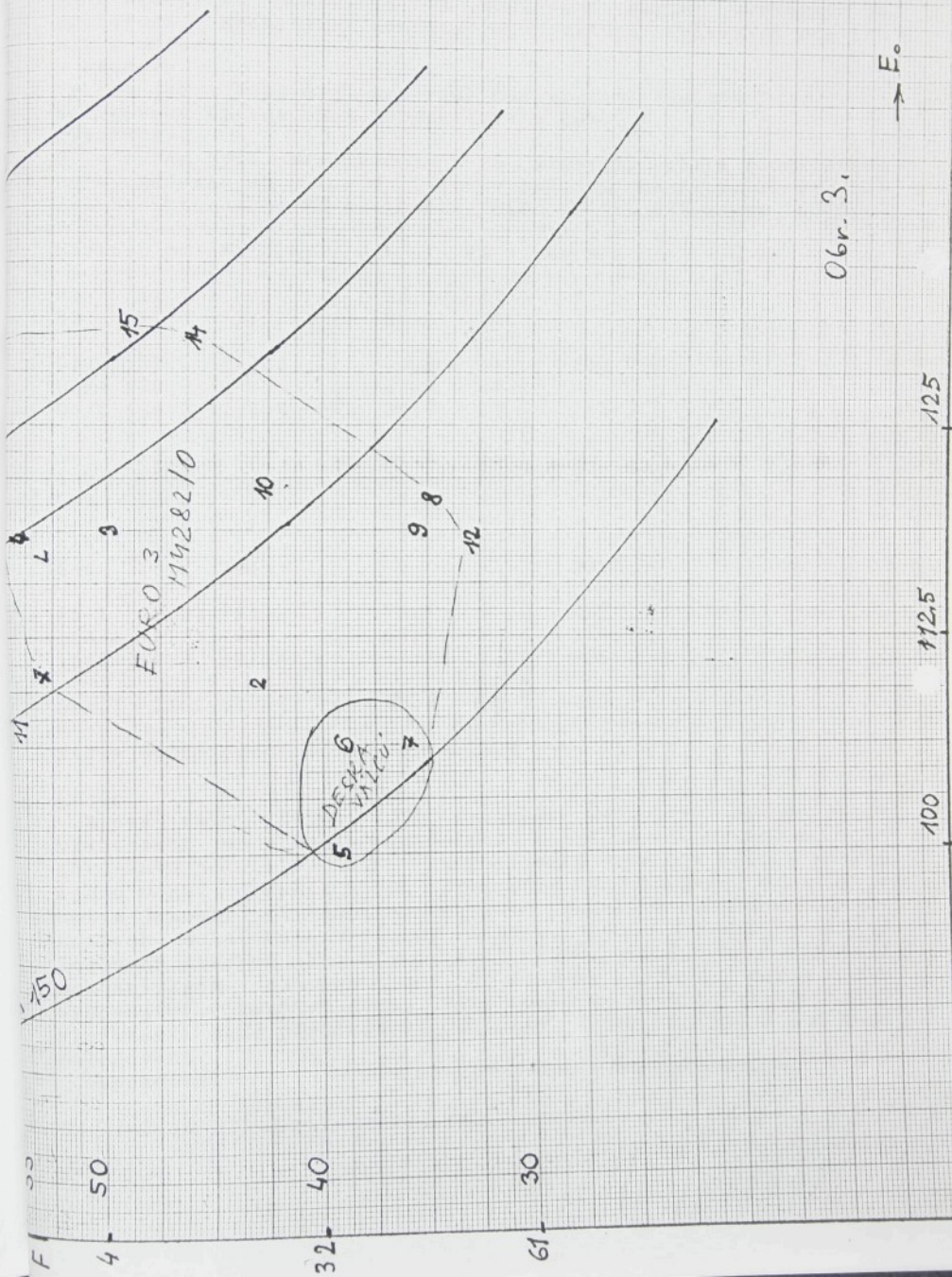


Obr.1. Řez A odlitkem hlavy M4282

LIAZ 18-790 950305 Ing.B.Skrbek,CSc. zadal ing.K.Havlín 18-790



Obr.2. Pohled na vršek odříznutého odl. hlavy M4282



Obr. 3.

→ E°

22. 4. 1996 Ing.B.Skrbek zpr.96040703	Hlava válců M4282 č. 3/95 - posouzení materiálu	ŠKODA LIAZ 10 - 223 Jablonec n/N.
---	---	---

Ve zprávě jsem se zaměřil na ultrazvukové stanovení tloušťek stěn a nedestruktivní stanovení mechanických vlastností v kritických místech 5 a 15 (viz. zpráva 950305) odpovídajících nejnižší a nejvyšší hladině hodnot R_m na jednom odlitku hlavy M4282 a v dolní D a horní H desce

Metalurgická postupová a kontrolní karta slévárny je přiložena. Mechanické hodnoty a struktura nebyly na odlitku hlavy měřeny.

Předpis

Výkres 442 1 1003 012, materiál ČSN 42 2425 ($R_m > 250 \text{ MPa}$).
Nelegovaná litina. Max. obsah feritu 20%.

Výsledky

Síla stěn byla měřena cca v 30 místech. Příliš tenká stěna byla změřena jen v místě 2-1, kde $L=5,3 \text{ mm}$. Množství feritu měřil Strukturoskop B2 a tloušťky stěn UZ tloušťkoměrem LC545.

Místo	L mm	Eo GPa	M	F%	Rm MPa
H1	11,7	/	36,7	47	/
H3	11,4	/	39,6	40	/
D1/2	29,5	114,3	39,8	33	185
D3/4	30,7	/	39,4	34	/
D5/6	29,3	113,8	39,6	34	183
5-1	13,5	/	41,2	33	/
5-2	13,7	/	39,4	38	/
5-3	15,2	/	38,3	40	/
5-4	13,7	/	37,2	44	/
5-5	13,8	/	37,9	42	/
5-6	13,8	124	39	39	201
15-1	8,03	121,2	62,5	0	237
153/4	7,91	122	67,7	0	250
15-6	7,8	121,4	71,8	0	256
bok	21,2	118,6	46,4	16	212

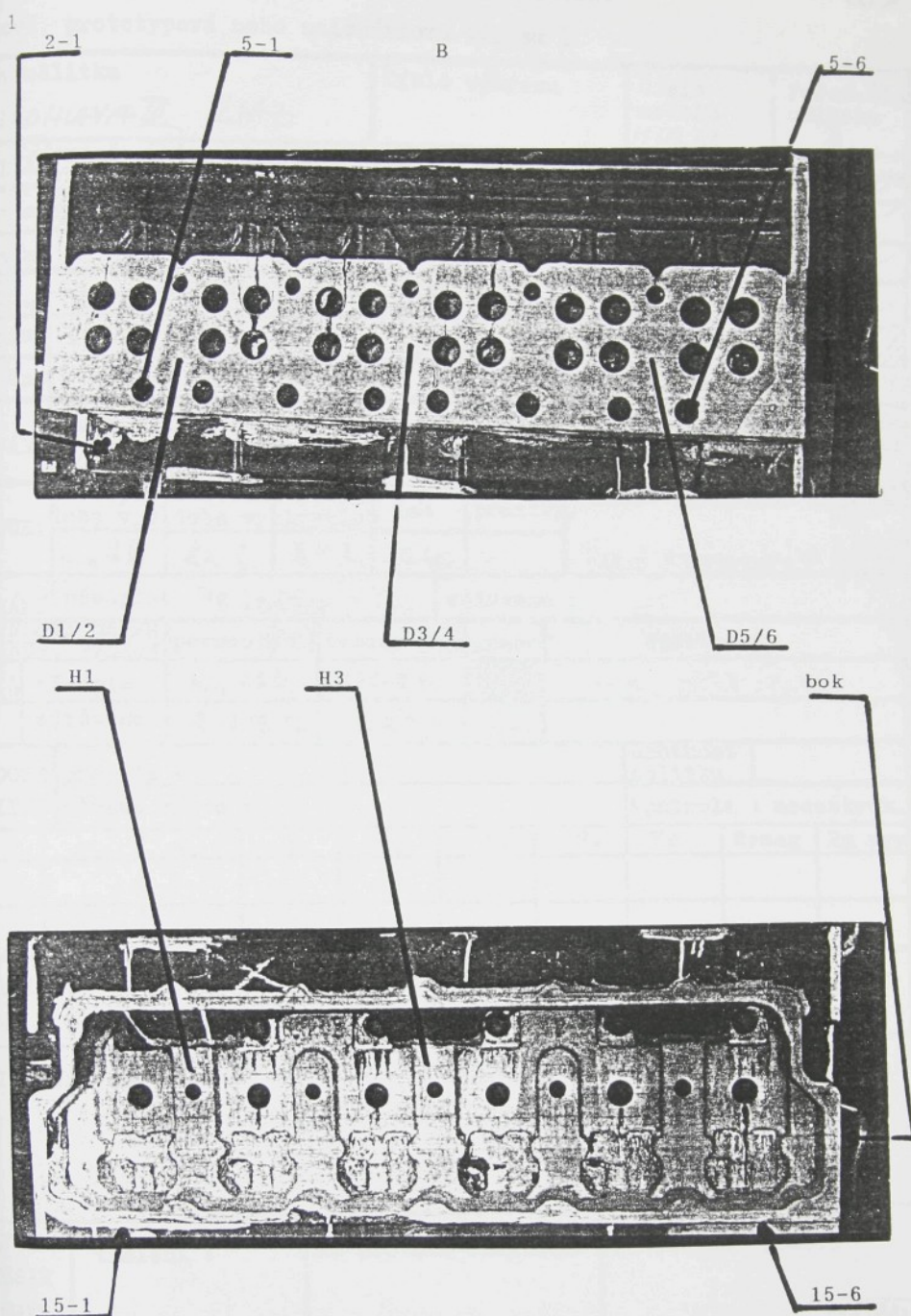
Místa měření znázorňuje obr. 1 A,B.

Závěr.

Hlava válců M4282 3/95 vyhovuje hodnotami mechanických vlastností jen v tenkých stěnách, které jsou bez většího průtoku kovu při lití. Dolní i horní deska obsahují příliš feritu (jeho mezní obsah 20% byl překročen dvojnásobně), odpovídají sotva jakosti 42 2420. Hlavu válců M4282 při současných možnostech metalurgie slévárny Liberec nutno objednat z litiny legované alespoň jako bloky válců M4280, neboť i když výsledky mechanických zkoušek na přilitých tyčích $\varnothing 30 \text{ mm}$ jsou vyhovující, rozptýl mech. vlastností v odlitku vlivem jeho složitosti bude překračovat jakostní třídu litiny, pokud bude nelegovaná.

Vypracoval

Ing. Břetislav Skrbek, CSc.



Obr.1 Pohledy na hlavu válců M4282 s místy měření.

sovětská, prototypová nebo malosériová výroba)

Název odlitku EUROHLAVA III LIAZ						Číslo výkresu		Číslo modelu H 42 82		Pořad.čís odlitku 3	
ERIAL	označ vzor	C	Mn	Si	P	S	CE	klín	Legury		
ndis		320 340	0,65 0,90	1,6 2,00	0,12 max	0,12 max	376 ÷ 390	4-6	Gr 0,2 max	Ni 0,15 max	Cu 0,15 max
štěno	3	334	0,13	1,78	0,103	0,085	měř. 3,86	vypoč. 0,5	0,07	0,04	0,06
AVA	způsob ořkování - ořko vadlo							měřidlo	teplot	peční	
ENTNY	druh	dávka		způsob vnášení		teploty při oř		pracov.			
dpis	FeSiTi+Granod	1 : 1		doprovodu kovu		pover.		1360	PEC+PKS		
štěno	-11-	-11-		-11-		-11-		1365	PEC	konš	
EVÁNÍ	místo	den	hodina	prácov		doba odlév		měřidlo	teplota při odlév		
	KUSOV.	25.4.95	1030	1740							
LOUK:	predeps.	skutečná hodina	den		prácov.		REZIM TEPELNEHO ZPRACOV.				
	doba vytl	doba vytl	vytluč				Řízení ochlazení a tv				
	min 8h.	22 h.	8³⁰ h.		26.4.						
SKÁNÍ	předpis: PRUBEŽNY - P12						zjištěno : ☒				
STINOSTI MATER	pevnost[MPa]		tvrdost[HB]		prácov		STRUKTURA				
ZKUŠ. TYČICH											
ž.č. řku	předpis	min 250,-	180-240				max 20% frakce				
	zjištěno	277,7	223,-		106.						
RDOST	předpis :						hmotnost odlitku				
LITKU	měřené místo :						kontrola : nedestruk.				
	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Vr	Remag	Rm vyp.		
RAKTER							CHARAKT				
MY							JADER				
TĚSTĚNÉ VADY :											
WOLEN	tmelení :		zavařování-elektroda				zavařování-plamen				
ZSAH											
PRAV											
OUŽITELNOST							metalurg				
OLITKU											
EDICE	dne :		pracovník:				expedoval		OŘJ: výstup		
UTU	dne :						převzal :				
PRACOVAL											

č.v. 61-0-0237

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

**HABILITAČNÍ PRÁCE S KOMENTÁŘEM**

2000

Břetislav Skrbek

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

**PROBLÉMY APLIKACE GRAFITICKÝCH LITIN U VZNĚTOVÝCH MOTORŮ
A NÁKLADNÍCH AUTOMOBILŮ**

Habilitační práce s komentářem**Obor strojírenská technologie 23-07-8****Ing. Břetislav Skrbek, CSc.****Březen 2000**

PŘÍLOHA

III. SVAZEK

Kopie interních inženýrských prací [26 až 34].

.....
Metalografická a chemická laboratoř
.....

Zpráva č.:

027-01-B/91

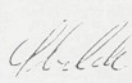
Objednavatel: úkol RTV T-10-998

Objednávka č.: 2-10-6504

Předmět zprávy: Držáky per z tvárné litiny

Výkres č.: .

Cíl zprávy: Závěrečná zpráva podnikového
úkolu RTV T-10-998


Zprávu zpracoval: Ing. Skrbek, CSc.

Vedoucí laboratoře: Ing. Procházka

Vedoucí odboru: Ing. Volejník

V Jablonci nad Nisou dne: 23. 6. 1992

.....
stran: 19

obrázků:

tabulek: 23
.....

Obsah:

1. Úvod	3
2. Splnění technické stránky úkolu	3
2.1. Základní informace	3
2.2. Vyvoj technologie výroby držáků per z TL	4
2.3. Mechanické a fyzikální vlastnosti držáků per z oceli a tvárné litiny	5
2.4. Metody kontroly vlastností materiálu držáku per	9
2.5. Odlitky pro provozní zkoušky	12
3. Náklady na úkol	14
4. Ekonomické zhodnocení	15
5. Předmět výstupu - NZ a TPP	16
6. Závěr	18

Použitá literatura

Seznam příloh

1. Úvod

Držáky per tvoří důležité součásti rámu podvozku nákladních automobilů. Na dvounápravovém voze je jich minimálně 8ks. Podle nosnosti vozu se jejich hmotnost pohybuje v toleranci $G(3;25)kg$. V zahraničí se vesměs tyto držáky vyrábí z tvárné litiny v litém stavu nebo z bainitické tvárné litiny /1/.

V ČSFR se však většina namáhaných odlitků stále vyrábí z lite oceli. V r.1990 činila celková celková produkce tvárné litiny 40 tis. a odlitků z oceli 280 tis.tun. V sousedním Německu se při výrobě 800 tis. odlitků z tvárné litiny vyrobilo jen 200 tis.t ocelových odlitků. Vyrábíme tedy více lite oceli, ale 20x méně tvárné litiny /2/ než v Německu.

Výše uvedené skutečnosti jsou podloženy užitnými vlastnostmi tvárné litiny a technickoekonomickými podmínkami výroby tvárné litiny a lite oceli.

Odlisná technologie výroby a vyšší disciplína kontroly odlitků z tvárné litiny nedovoluje provádět materiálovou náhradu oceli složitějších odlitků, jakými držáky per jsou, bez předchozích vývojově aplikačních prací. Proto byl řešen podnikový úkol rozvoje vědy a techniky č.T-10-998 s obsahem: Vývoj technologie výroby a tvaru držáku per z tvárné litiny vozů LIAZ se zaměřením na řadu 200.

Základní údaje o struktuře a nákladech na řešení obsahuje požadavkový a kalkulační list úkolů - viz.příloha.

Výstupem úkolu je uvedení technické dokumentace a dostatečných informací pro úspěšné seriové uplatnění držáků per vozů LIAZ z tvárné litiny.

2. Splnění technické stránky úkolu

2.1. Základní informace

Předmětem úkolu jsou tyto držáky per

tab.1.

Název	Číslo výkresu	ks/vůz	model
Přední držák předního pera	442 2 3061 040	2	M1427
Zadní ...	" 041	2	M1722

Přední držák zadního pera	"	042	2	M1428
Zadní ...	"	043	2	M1429
Přední držák předního pera	"	070	2	M3622

Sestava držáků per pro vozy řady 100:

$$2 \times (070+041) + 2 \times (042+043)$$

Sestava pro vozy řady 200:

$$2 \times (040+041) + 2 \times (042+043)$$

Pokud bude konstruována řada vozů 300, budou držáky per navrhovány již z tvárné litiny (viz. zápis z 9.2. 1990 v LIAZ 02).

Vykresy držáků per se zakreslenými plochami pro obrábění obsahuje příloha zprávy.

Dodavatelem odlitků je převážně Transporta Chrudim, kde se odlévají z lité oceli ČSN 42 2709.1. Označení modelů v Transportě a hmotnosti dané výkresem:

tab.č.2.

Model LIAZ	Transporta	Hmotnost [kg]
M1427	310 212	4,35/4,5
1722	310 213	3,5/3,6
1428	310 209	6,8/-
1429	310 215	-/7
3622	310 216	-/5,5

Smrštění odlitků z oceli je 2,0% a z tvárné litiny 1,0%.

2.2. Vývoj technologie výroby držáků per z tvárné litiny

Dále uvedené skutečnosti nutno uvažovat při změnovém řízení (konstrukční úpravy v LIAZ) a při návrhu modelového zařízení pro odlitky držáků per z TL (ve slévárně Transporty) /3/:

- přídavky na obrábění se v souladu s ČSN 01 4980 volí menší než u ocelových odlitků.
- při výpočtu a návrhu přídavku se musí vycházet z upínacích ploch - nutně jsou vykresy odlitků s vyznačením opěrných a upínacích míst (součást TPP).

c) Tvar odlitků držáků per je vhodný pro přechod na TL. U držáku 041 je doporučeno skosení vodorovné stěny v rozích stejně jako u držáku 040. U tohoto držáku bude možné vynechat jeden nálietek prodloužením žebra, které vyztužuje svislou stěnu přiléhající k podélníku rámu vozu - viz. obr.1.

d) z četných měření rozměrů odlitků (litych na modelovém zařízení pro ocel) ocelových a z TL vyplývá, že rozměry odlitků vytvořené při odlévání formou jsou u odlitků z TL větší i o více než 1 mm a naopak rozměry tvořené jádrem jsou prakticky shodné.

Náklady na zhotovení nového jaderníku mohou činit až 300 tis. Kčs, ale na zhotovení dvojice modelových desek 35 tis. Kčs.

Pro výrobu odlitků z TL je tedy možno použít původní jaderníky; sníží se náklady a čas pro přípravu výroby. Nové modely se smrštěním pro TL způsobí optimální rozměry litinových odlitků.

e) rozměry po obrábění umožnily ještě použití odlitků z TL pro montáž, ačkoli byly po odlití větší než ocelové. Při obrábění pouze u držáku 043 (největší z držáků) velká tloušťka (14-15 mm) vodorovné stěny přiléhající k podélníku rámu vozu bránila zasunutí odlitku do přípravku pro obrábění.

Přechod na TL by tedy byl možný i bez změny modelového zařízení. Odlitky by však byly zbytečně velké, hmotné. Ekonomicky efekt by byl malý.

f) vnitřní homogenita. Vzorové odlitky z oceli a litiny byly prozářeny rentgenem RT6 na pracovišti SVÚM. Z RT6 filmu vyplynulo, že odlitky jsou "zdravé", a tudíž i dobře nalitkovány (při technologii nalitkování pro ocel).

2.3. Mechanické a fyzikální vlastnosti držáků per z oceli a tvárné litiny

Při výpočtech tvaru a bezpečnosti držáku per je třeba uvažovat především vlastnosti materiálu v odlitku. Údaje sennané z materiálových listů ČSN jsou pouze informativní. Proto byly provedeny materiálové zkoušky na vzorcích získaných přímo z odlitku držáku. Grafické záznamy zkoušek obsahuje příloha (jen orig. zprávy).

2.3.1. Vlastnosti oceli 42 2709.1./4./,5/:

Získané hodnoty jsou porovnány s údaji ČSN.

a) Chemické složení

tab.č.3.

%	C	Mn	Si	P	S	HB
odlitek	0,25	1,24	0,27	0,015	0,01	150-167
ČSN	0,28/0,2	1,2/1,6	0,2/0,5	0,05	0,05	149/184

b) Základní mechanické vlastnosti

- zk. tyče $D_0=6$, $l_0=30\text{mm}$

tab.č.4.

	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m	A_5	Z [%]	HB
odlitek	288	514	16,2	28,5	177
ČSN	300	520/670	18	25	

c) Metalografický rozbor

Feritickoperlitická struktura (40%P). Velmi jemná zrna perlitu (vel.7-8) mezidendriticky uspořádaná (kopírují primární strukturu) nebo tvoří dvorce kolem hrubých feritických zrn.

d) Mez únavy v ohybu

- vzorky $10 \times 10 \times 55$; $l=50$ - asymetrie cyklu $P=2,2$ ($P=6h/6a$); $f=170\text{ Hz}$

tab.č.5.

42 2709.1	δ_{0nc} [MPa]	δ_{0nc}/R_m [MPa]
bez vad	520	1
s ředinami	320	0,62

Přítomnost vad o velikosti $>0,5\text{mm}$ na povrchu velmi progresivně snižuje mez únavy (o 40%). Řediny totiž odstraňují první dvě stadia únavového procesu (1.změny mech. vlast., 2.iniciace mikrotrhlin).

e) Rázová houževnatost KCU2

tab.č.6.

Vzorek ozn.	KA	KB	OA	OB	DA	DB	ČSN
KCU2 [J/cm ²]	124	98	77	111	56	56	125
HB	167	164	164	164	178	178	149/164

f) Vlastnosti získané statistickou kontrolou většího množství odlitek

tab.č.7.

Odlitek	M 1428	M 1429	M 1722
Tvrdost HB	175±9	-	-
Hmotnost G [kg]	7,78±0,09	11,3±0,2	3,93±0,46
Rm [MPa]	548		
R _{po,2}	324		
A ₅ [%]	25		
M [1]	31,8±3,2		

Záznam tahové zkoušky vykazuje výraznou mez kluzu.

Použité tyče...D₀=10l₀=40

2.3.2. Vlastnosti držáků per z TL

V první fázi byly odlity zkušební odlitky držáků per z TL 42 2305 (3/89) a později z TL legované Cu jakosti 42 2306 v Transportě Chrudim (4/90).

Atest a zkoušky mech. vlastností se vážou na druhou skupinu odlitek.

a) Chemické složení

tab.č.8.

Datum tavy	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg
22.3.90	3,93	2,3	0,44	0,05	0,011	0,48	0,056
5.4	3,57	2,53	0,46	0,046	0,011	0,48	0,09

b) Zák. mech. vlastnosti na přilítných Y1 klínech

tab.č.9.

Tavba	R _{po,2} [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	HB
22.3	467	711	4	229
5.4	460	612	4,3	237

c) Metalografický rozbor

tab.č.10.

Tavba	Grafit	Ferlit
22.3	G VI. 6-80% + G V.	P 75
5.4	G VI. 7-80% + G V.	P 85

d) Mez únavy v ohybu měřeno za stejných podmínek jako pro ocel 42 2709.1 /6/ v MPa

tab.č.11.

Tavba	stav	δ_{0nc}	Rm	δ_{0nc}/Rm
s Cu	litý	446	654	0,58
s Cu	norm.žiháný	526	909	0,68
neleg.	feritiz.	316	505	0,75

Ve vzorcích se nevyskytovaly vnitřní vady.

Vztah mezi δ_{0nc} a Rm pro tvárnou litinu:

$$\delta_{0nc} = 100 + 0,1731 Rm \quad (1)$$

Poměr δ_{0nc}/Rm se příznivě zlepšuje tepelným zpracováním odlitků a snižováním hodnoty Rm, HB.

e) Statická pevnost v ohybu R_{m0} - vzorky s licí kârou.

V tabulce jsou uvedeny průměry ze 4-7 zkoušek:

tab.č.12.

Stav	R_{m0} [MPa]	R_{p0}	y_p [%]	HB
litý	1254±93	866±78	0,9	268-302
žiháný	1104±131	670±40	5,7	180-229

Vysoká tvrdost a pevnost litiny je spojena s nízkou hladinou plastických vlastností (y_p ...ekvivalentní veličina k tažnosti). Pevnost R_{m0} na použitém přípravku nelze stanovit pro ocelové vzorky (neomezený plastický průhyb).

f) Rázová houževnatost KC získaná z těles 10x10x55 bez vrubu

tab.č.13.

vzorek	1L4A	1L4B	1L3B	2L4A	2L3B	2L4B
KC [J/cm ²]	21,5	23	32	50,5	52,5	34,5
HB	249	234	187	185	180	195

$$KC = 114 - 0,383 HB$$

(2)

g) Vlastnosti dle ČSN 177:

tab.č.13.

vlastnost	Rm	Rp0,2	As	HB	Rm0	Rp0	KC	strukt.
42 2305	500	320	17	170/240	900	500	150	P45-70
42 2306	600	370	13	190/270	1000	570	135	P70-85
42 2307	700	420	12	230/300	1100	630	1200	P85-100

2.4. Metody kontroly vlastností držáků per /B/

V rámci této části řešení byly zkoumány souvislosti mezi mech. vlastnostmi ve stěnách (různě silných) odlitků bez průtočnosti a s definovaným průtokem tekutého kovu a jejich vztah k vlastnostem získaným z předlitých kýlových zkušebních bloků Y1 a Y2. Současně byl prováděn výzkum nedestruktivní diagnostiky mech. vlastností metodou magnetického bodového pólu a měřením rychlosti zvuku. Platí pro TL; litinu s červíkovitým a lupínkovým grafitem (nezdařená modifikace).

2.4.1. Vztahy mezi hodnotami mechanických vlastností

z bloků Y1, Y2 a stěn odlitků

Y1...tyče $\varnothing D=6\text{mm}$,Y2...tyče $\varnothing D=10\text{mm}$, stěny 5;10;15mm silné

a) Y1 a Y2

tloušťka bloku Y1=12,5 a Y2=25mm

tab.č.15.

vztah	K	Přepočet	Y1	Y2
3	0,99	$R_{mY2}=7+0,902 R_{mY1}$	500 700	457 638
4	1	$R_{pY2}=6+0,94 R_{pY1}$	320 420	307 401
5	1	$HB_{Y2}=(-3)+0,985 HB_{Y1}$	170 300	164 292
6	0,94	$A_{Y2}=0,05 A_{Y1}^{2,51*}$	17 5,2	22,7 2

* výraz (6) je pro A(5% nevhodný

b) Vliv průtčnosti tekutého kovu stěnou 100x200 zaformovanou vodorovně do bentonitové směsi (6%) na Rm, Rp, HB:

tab.č.16.

Stěna	Průtok	Rm [MPa]			Rp0,2 [MPa]		
[mm]	[kg]	přepočet	Rm	Rmp	Přepočet	Rp	Rpp
5,5	0,4	$R_{mp}=1,01R_m-25$	500	481	$R_{pp}=1,01R_p+6$	320	329
5,5	4	$K=0,99 (7)$	700	683	$0,97 (8)$	420	430

9,8	0,7	$Y=1,23 X-63$	500	553	$Y=1,06 X-7$	320	331
9,8	7	$K=0,98 (10)$	700	799	$0,98 (11)$	420	437
15,2	1,1	$Y=1,2 X-72$	500	529	$Y=0,975 X-6$	320	306
15,2	10,6	$0,976 (13)$	700	770	$0,96 (14)$	420	403

pokr.tabulky č.16.

Stěna	Průtok	HB		
[mm]	[kg]	přepočet	HB	HBp
5,5	0,4	$HB_p=0,989 HB-20$	170	148
5,5	4	$0,97 (9)$	300	277
9,8	0,7	$Y=0,95 X-19$	170	143
9,8	7	$0,99 (12)$	300	267
15,2	1,1	$Y=0,988 X-15$	170	153
15,2	10,6	$0,99 (15)$	300	281

c) Souvislost mech. vlastností v přilítných zkušebních blocích Y1,Y2 a stěnách odlitků. Výsledky názorně předkládá tabulka č.17. Vyčet matematických přepočtů by byl na úkor přehlednosti.

tabč.17.

Blok	Rm		R _{p0,2}		HB	
Y1	547	768	339	440	170	300
Y2	500	700	320	420	164	292
Stěny						
5,5	562	594	381	458	237	322
5,5p	547	679	383	427	206	314
9,8	484	627	339	412	214	308
9,8p	503	599	349	446	182	278
15,2	438	513	335	414	192	298
15,2p	457	544	330	427	174	280

Atesty taveb bývají udávány v hodnotách mech. vlastností naměřených na kýlových blocích Y1,Y2. Z tabulky č.17. lze tedy předvídat hodnoty mech. vlastností ve stěnách odlitků z atestovaných hodnot podle průtočnosti kovu hodnoceným místem ve stěně. Pevnost stěn reálných odlitků je poměrně nízká, ale mez kluzu R_{p0,2} se blíží hodnotám zkušebních bloků R_{p0,2}.

2.4.2. Nedestruktivní kontrola mech. vlastností /B/

Z měření přístroje REMAG s příložnou magnetickou sondou ($\varnothing 28\text{mm}$) a ultrazvukovými měřiči rychlosti zvuku na simulovaných stěnách odlitků z pestré škalý litin plynou následující nové poznatky:

V...rychlost zvuku

M...remanentní magnetismus

R...obecně pevnost

HB...tvrdost

L...tloušťka stěny

a) s dostatečně vysokým koef. korelace $K_{20,9}$ nelze stanovit jeden funkční vztah,

$$R=f(M,v)$$

který by platil současně pro všechny druhy litin

b) velikost M závisí sice totiž na množství perlitu P (narůstá s množstvím P), ale zvýší se významně i u litiny po vyhasnutí modifikačního účinku Mg při výrobě TL demagnetizačním (tvarovým) účinkem lupínkového tvaru grafitu.

c) stěny odlitků z TL L ≤ 10 jen s otryskaným povrchem nelze bez úpravy povrchu již kontrolovat γ ultrazvukem na kvalitu grafitu (nepříznivý vliv drsnosti povrchu). Vliv drsnosti se ani u tenkých stěn naopak neprojevuje nepříznivě při měření M. Hodnoty M rostou s klesající tl.stěny L. Tuto závislost lze matematicky popsat a ve výpočtech $R=f(M,v)$ kompenzovat.

d) pro kontrolu litin s kuličkovým a červíkovitým grafitem ultrazvukem a metodou mag.bod.pólu vychází koeficient korelace K vyšší ve výrazu pro stanovení meze kluzu $R_{p0,2}$ jak ve výrazu pro R_m stěny odlitku silnější jak 10mm:

$$R_{p0,2}=2,23 \cdot M+0,108 \cdot v_L-376 \quad K=0,968 \quad (16)$$

$$R_m=2,38 \cdot M+0,24 \cdot v_L-1035 \quad K=0,951 \quad (17)$$

Kontrolní zařízení by měla vlastnit výstupní TK slévárny a vstup. TK odběratele. Nedestruktivní kontrola je zatížena menší chybou měření jak např. měření Foldi kladívkem, proto ji doporučuji aplikovat více v praxi.

2.5. Odlitky držáků per z TL pro vozové zkoušky

Odlitky byly lity na modelovém zařízení pro výrobu sériových odlitků z oceli v Transportě Chrudim ve dvou skupinách. První skupina byla omylem nechtěně zpracována výrobou a namontována do sériových rámě.

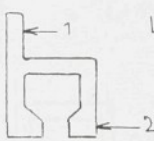
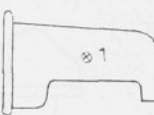
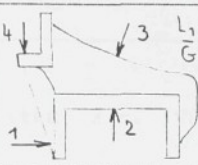
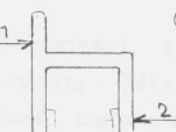
2.5.1. Držáky per odlité v r.1989 - nesledovaná provozní zkouška

Odlitky byly v závodě LIAZ 01 podrobeny 100% kontrole metodou magn. bodového pólu přístrojem REMAG 1 (kontrola "tvrdosti HB" neinstr. metodou).

G...hmotnost [kg]

L...tl. stěn [mm]

tab.č.18.

Model	Místo měření	kusů	M	Sm	HB	S _{HB}
M 1427 310 212	 $L_1 = 71,3 \text{ mm}$	N 51	1) $31,8 \pm 3$ 2) $31,3 \pm 2,8$ (21,6;37,2)		227 ± 12 226 ± 11 (200;238)	
M 1428 310 209	 $L_1 = 7,7 \text{ mm}$ $\bar{G} = 7,7 \text{ kg}$	23	1) $34,2 \pm 3,1$ 2) $33,8 \pm 4,6$ (21,1;37,2)		240 (207;249)	
M 1429 3100215	 $L_1 = 70,6 \text{ mm}$ $\bar{G} = 11,1 \text{ kg}$ $L_3 = 8,3 \text{ mm}$ $L_4 = 74,6 \text{ mm}$	10	1) - 2) $28,3 \pm 2$ 3) $32,7 \pm 1,2$ M2 (25;31,5) M3 (30,4;34,5)		228 (222;245)	
M 1722 310 213	 $\bar{G} = 3,62 \text{ kg}$	3	1) $33,7$ 2) 30		229,4 222	

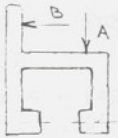
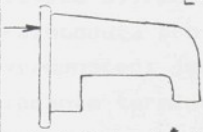
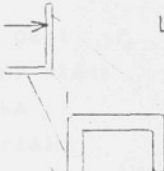
2.5.2. Držáky per odlité v r.1990

Mechanické vlastnosti a chem. složení obsahuje kapitola

2.3.2. Oproti první dávce odlitků, byly tyto z TL legované 0,5% Cu.

Výsledky 100% kontroly odlitků:

tab.č.19.

Model	Místa měření	kusů	M	Sm	HB	SHB
M 1427 310 212	 $L_A = 13,7 \text{ mm}$	37	$38,3 \pm 8,4$ (25;56)		252 (201;285)	
M 1428 310 209	 $L = 13,6 \text{ mm}$ $G = 7,64 \text{ kg}$ $G^* = 7,77 \text{ kg}$	31 + 7*	$36,9 \pm 9,9$ (24;53,3) $21,8 \pm 1,4$ (20,6;24,8)		248 ± 33 (207;302) 209 (173;217)	
M 1429 310 215	 $L = 14 \text{ mm}$ $G = 10,3 \text{ kg}$	4	$52,6 \pm 10,9$ (42;63,8)		270 (241;305)	
M 3622 310 216	 $L = 13,5 \text{ mm}$	28	$25,6 \pm 6$ (203;47,6)			

*...část odlitků z r. 1989, která nebyla zpracována výrobou do rámů

Odlitky pochází z několika taveb neboť mají velmi rozdílnou tvrdost. Odlitky z hodnotami tvrdosti nad 250 HB byly i obtížně obrobitelné, málo plastické (viz pevnost v ohybu kap. 2.3.). Proto byly "tvrdé" odlitky přezíhány na částečný rozpad perlitu. Při nevýrazném snížení pevnosti v ohybu se podstatně snížila tvrdost (o 50-60 HB) a zvýšila tažnost TL.

Soubor odlitků pro provozní zkoušky v LIAZ 02 tak obsahuje odlitky s nižší tvrdostí v litém stavu a žíhané

odlitky (viz dop. 062/90/Sk/Zá z 8. 2. 1990 a 464/90/Sk/Zá z 29. 10. 1990), které spolu odpovídají jakosti ČSN 42 2306.

Vysoké hodnoty koeficientu korelace $K_{\Sigma 1}$ dokazují vhodnost použití metody magnetického bodového pólu pro kontrolu tvrdosti odlitků např. M 1426:

$$HB = 2,58 M + 153 \quad K = 0,96 \quad (18)$$

nebo u M 1427

$$HB = 2,68 M + 142 \quad K = 0,985 \quad (19)$$

ve výrobě.

Dle dopisu 399/280/BÁ/Šr/ z 15. 11. 1991 konstrukce vozů LIAZ je rozhodnuta pro montáž držáků per z TL na prototypy vozů. Po vyhodnocení jednotlivých vozidel (po 80000km provozu v předpokládaném termínu 1. 1. 1993) lze očekávat konečné vyjádření konstrukce.

I. Náklady na úkol

a) předběžný plán:

Položka	tis.Kčs
Přímý materiál	50
" mzdy	40
Kooperace	235
Ostatní náklady, režie	75
Celkem	400

b) Skutečné využití náklady na řešení do 11. 2. 1992

materiál	48,476
kooperace	260,872
mzdy přímé	25,92
režie	105,941
Celkem	441,2
Hodiny techniků	1479
dělníků	141

Náklady na úkol byly překročeny cca o 10%.

4. Ekonomický rozbor

Hlavní přínos přechodu odlitků držáků per z lité oceli 42 2709.1 na tvárnou litinu 42 2305/6 nutno vidět ve výhodnější ceně odlitků z titulu nižší hmotnosti a výrobních nákladů slévárny.

Nelze vycházet z hmotnosti odlitků z TL pro provozní zkoušky lité na modelovém zařízení pro ocel! Při stejných rozměrech budou odlitky z TL o 8% lehčí.

Lepší obrábitelnost TL se projeví až po úpravě obráběcích podmínek a přípravků z oceli na litinu! U držáků per převažuje vrtání děr a frézování dosedacích ploch. Doporučené různé podmínky obsahuje /7/. Obrábění TL o 8-9% tvrdší jak ocel (TL-200 HB, ocel-183 HB) se dosáhne při frézování snížení nákladů o 75% a vrtání o 55% /9/.

tab.č.20.

Držák per	Ocel 42 2709.1			Teor. úspora o 65%	
	Nm	Mzdy [Kčs]		Nm	Mzdy [Kčs]
040	29,16	4,7	5,36	18,95	3,48
041	28,94	4,67	5,31	18,81	3,45
042	31,37	5,09	5,77	20,39	3,75
043	22,05	3,6	4,1	14,33	2,66
Celkem				72,48	13,43

Skutečná úspora bude asi nižší (vyšší stř. rozdíl tvrdosti 160,5-220 HB).

Cenový vývoj materiálových nákladů (ocel 42 2709.1):

tab.č.21.

Držák	1988	1989	1990	1992	ks/1989	*ks/1992
040	84,94	89	89	160	32500	12000
041	90,0	83,5	94	186	"	"
042	151,24	149	170	250	"	"
043	205,24	203	247	354	"	"
070	-	-	-	209	"	"

Předpokládané materiálové úspory (8%):

Držák	Ocel		Tvárná lit.		Úspora pro 12000 ks [tis.Kčs]	Potřeba t/r odl.
	hmotnost [kg]	cena [Kčs]	hmotnost [kg]	cena [Kčs]		
040*	4,5	160	4,14	147,2	153,6	50
041	3,93	186	3,62	171,12	178,56	44
042	7,78	250	7,16	230	240,0	86
043	11,3	354	10,4	325,68	339,84	125
070*	5,5	209	5,06	192,28	-	50
Celkem					912	305

*...na vozy se používá držák 040 nebo 070 !

Teoret. max. úspory mezd (dle tab.č.20.): 160 tis.Kčs

Podle sdělení 201.5/9/92 z 15. 1. 92 slévárny Transporty Chrudim lze očekávat stejné kilogramové ceny lité oceli i tvárné litiny u držáků per LIAZ.

Za předpokladu max. úspory 1072 tis.Kčs vyplývající z přechodu odlitků držáků per z lité oceli na TL bude návratnost nákladů vynaložených na řešení úkolu RTV necelá polovina roku.

5. Předmět výstupu úkolu

5.1. Návrhy změn

Nezbytným předpokladem změny materiálu a změn na výkrese je přijetí a vyřízení návrhů změn. Tyto byly jako součást výstupu úkolu vydány - viz tab.č.23.

18.1.1991 - datum vydání změn

tab.č.23.

č. výkresu	č.změny
442 2 3061 040 5	NZ 01-0525/91
" 041	" 0526/91
" 042	" 0527/91
" 043	" 0528/91
" 070	" 0529/91

Pro konečné vyřízení změn jsou pro konstrukci vozu rozhodující výsledky provozních zkoušek, které dle dopisu 399/280/BA/Šr z 15.11. 91 budou k dispozici v lednu 1993.

Do návrhu změn se musí promítnout i návrhy tvarových a rozměrových úprav, které souvisí se změnou materiálu. Nové výkresy odlitků a obrobků musí v údajích souhlasit s přijatými technickými přejímacími podmínkami. Výkresy držáků per dle současného provedení je třeba doplnit o skutečné hmotnosti odlitků, které byly vážením stanoveny. Výkres č.3061 043 např. uvádí hmotnost 7 kg, zatímco skutečná je 11,3 kg!

5.2. Návrh technických přijímacích podmínek

Návrh TPP vychází z výsledků řešení úkolu RTV. V příloze této zprávy je textová část návrhu. Ta bude doplněna výkresy odlitků (Transporta Chrudim) a hotových držáků per (LIAZ-konstrukce).

Na výkrese musí být uvedena místa kontroly tvrdosti, příp. struktury, opěrné a upínací plochy pro obrábění. Tato místa a plochy uvádějí výkresy v příloze této zprávy.

Hmotnosti odlitků z TL se doplní až po odlití a zvážení vzorků z modelového zařízení vyrobeného speciálně pro odlitky držáků per z TL.

Doporučené mech. vlastnosti odlitku:

Tvrdość HB 200-250 na odlitku

$R_{m0} > 1000$ MPa, $y_p \geq 25$ v odlitku

Mez kluzu $R_{p0,2} > 370$ MPa } na zk. bloku Y1

Tažnost $A_5 > 3\%$ } "

Struktura v odlitku: grafit G VI. min.85%, 5-6
perlit max.80%

R_{m0}, y_p se zjistí na pruhu (cca 10mm šířka) materiálu z odlitku

5.3. Další výstupy

Na základě získaných poznatků mohou pro výrobce odlitků a vstupní kontrolu LIAZ vypracovat TP pro nedestruktivní kontrolu odlitků. Při práci na technologických postupech obrábění technolog. odd.můžeme přispět bohatými podklady k optimalizaci řezných podmínek a materiálů.

6. Závěr - hodnocení

Odlitky držáků per vozů LIAZ jsou vhodné pro změnu materiálu z lité oceli 42 2709.1 na tvárnou litinu 42 2305-6.

Max. efekt změny je nezbytně spojen s vývojově aplikačními pracemi, které doporučují v rámci této zprávy úpravy tvaru a rozměru pro návrh modelového zařízení a výkresů odlitků a obrobků.

Pro výpočty konstruktérů byly stanoveny mech. vlastnosti lité oceli a tvárné litiny přímo v odlitcích držáků per. Doporučovaná jakost TL vyniká vyšší mezí kluzu $R_{p0,2}$ a pevností R_m jak litá ocel 42 2709.1. Blízce jsou si vlastnosti v ohybu. Naopak rázová houževnatost tvárné litiny je nižší.

Na základě provedení zkoušek bude možno po návrhu vtokové soustavy a vzorkového tělesa (Y1 nebo Y2) ve slévárně předvídat mech. vlastnosti přímo ve stěnách odlitků různé silných a s různou δ průtočností kovu ve formě.

Kontrola mech. vlastností především $R_{p0,2}$; HB, zejména ve stěnách nad 10mm tloušťky, nedestruktivními metodami je dostatečně spolehlivá a reprodukovatelná. Může zrychlit výrobní tok slévárny a spolehlivost dodávek odlitků držáků per (viz výrazy /16/, /18/, /19/).

Doporučuji používat bateriové přístroje: Struktoskop B1 (Elkos Brno), ultrazvukové tloušťkoměry (LCS 45, UTM 2000).

Soubor několika desítek odlitků držáků per s vyhovujícími vlastnostmi z TL se omylem dostal do nesledované provozní "zkoušky". O případné havárii nebo výměně těchto držáků nebylo nic dosud oznámeno.

Pro oficiální sledovanou zkoušku 80 tis.km v provozu je připraven (od října 1990) soubor několika desítek vyhovujících držáků per. Konečná vyřízení vydaných návrhů změn tak lze očekávat počátkem roku 1993.

Náklady na řešení úkolu T-10-998 překročily plánované o 10%. Celkově však výše předpokládaných úspor plynoucí ze změny materiálu (z tvaru) držáků per vrátí náklady na úkol během půl roku po zavedení změny.

Pro jednání s dodavateli odlitků držáků per z TL byl zpracován návrh TPF.

Úkol byl splněn v časovém i finančním rozsahu. Provozní zkoušky nebyly a nejsou v kompetenci str.10-250. V oblasti stroj. metalurgie bylo splněno zadání úkolu.

Literatura:

- 1/1/ Henych Ivo: Technickoekonomické aspekty výroby TL,
Georg Frischer AG Schweiz, 1989
- 1/2/ Wirtschaftliche Rundschau, Giesserei 1991
- 1/3/ Velínský J.: Práce na HS 37.6.6040, SVÚM Brno 1990
- 1/4/ Věchet, Bárta: Únavové vlastnosti lité oceli ČSN 42 2709.1
při zatěžování pulsujícím ohybem, VUT Brno
8/1991
- 1/5/ Skrbek: Zpráva 38-1-Sk/91, str.10-250 LIAZ
- 1/6/ Věchet, Bárta: Únavové vlastnosti TL při zatěžování
pulsujícím ohybem, VUT Brno 10/1990
- 1/7/ Materiálový katalog TL, SVÚM+10K+GIL, Krakov 1981
- 1/8/ Weiss Jan: Kompletní nedestruktivní diagnostika litin s
kompletním grafitem, zpráva Z-90-6350,
SVÚM Brno duben 1991
- 1/9/ Neset M.: Konstrukční a technologické vlastnosti TL
výzkumní zpráva Z-73-2907, SVÚM Praha

Seznam příloh: Požadavkový a kalkulační list úkolu
Grafické záznamy zkoušek - *jěn original*
Návrh TFP
Výkresy odlitků držáků

Technické přejímací podmínky pro odlitky držáků per z tvárné litiny vozů LIAZ

1. Všeobecně

1.1. Tyto přejímací podmínky (dál jen TPP) platí pro výrobu, zkoušení a dodávání hrubých odlitků z nelegované TL ČSN 42 2306 a doplňující ČSN 42 1242

1.2. Technické podmínky se vztahují na následující díly:

Přední držák předního pera, č.v.422 2 3061 040

č.modelu M 1427 (LIAZ), 310 212 (Transporta)

Zadní držák předního pera, č.v.422 2 3061 041

č.modelu M 1722, 310 213

Přední držák zadního pera, č.v.422 2 3061 042

č.modelu M 1428, 310 209

Zadní držák zadního pera, č.v.422 2 3061 043

č.modelu M 1429, 310 215

Přední držák předního pera, č.v.422 2 3061 070

č. modelu M 3622, 310216

1.3. Nedílnou součástí TPP jsou oboustraně schválené slévárenské postupové výkresy.

Do nich odběratel vyznačil:

- upínací, opěrné a ustavovací plochy

- místo pro měření tvrdosti

- místo pro kontrolu struktury odlitků

Tyto TPP je možno rozšiřovat o další varianty držáků per (např. 074, 075)

2. Technické požadavky

2.1. Materiál z tavby

Materiálem odlitku je nelegovaná TL ČSN 42 2306 se sníženou horní hranicí tvrdosti

2.2. Hodnoty mech. vlastností a strukturu stanovuje dodavatel na zkušebních tyčích, odebranych a odděleně litych zkušebních kusů typu Y1, které se odlévají u každé tavby do pískových forem

2.3. Z každé tavby se stanovují hodnoty mech. vlastností ze zkoušky tahem a ze zkoušky tvrdosti na zkušebních tyčích ve

stavu odlitém bez tepelného zpracování

2.4. Z každé tavby se stanovuje struktura grafitu, struktura základní hmoty a podíl výskytu cementitu na vzorkách odebraných na vzorkách odebraných u zkušebních kusů Y1 ve stavu odlitém bez tepelného zpracování

2.5. Z každé tavby se stanovuje kontrolní chemický rozbor tavby

2.6. Vlastnosti předepsané pro zkušební tyče z tavby:

Nejnižší pevnost v tahu R_m	600 MPa
Nejnižší mez kluzu $R_{p0,2}$	370 MPa
Nejnižší tažnost A5	3 %
Tvrdost podle Brinella	190-250 HB
Podíl volného cementitu	0 %
Obsah grafitu	min.85 % zrnitého grafitu (etalon G17 obr.2.)
Základní hmota	perliticko-feritická max.obsah perlitu 70% (G10 obr.2.)

K hodnocení struktury jsou použity etalony G17, G20, které tvoří nedílnou součást těchto TFP.

2.7. Vlastnosti předepsané v odlitku - místě vyznačen na výkrese ke kontrole tvrdosti, struktury. Zkouška se provádí ve sporných případech a při reklamacích:

Pevnost v ohybu R_m	>1000 MPa
Relativní plast.průhyb y_p	>2 %
Tvrdost podle Brinella	200-260 HB
Podíl cementitu	0 %

3. Vlastnosti odlitků

3.1. Modelové zařízení je vyrobeno a upraveno podle technolog. požadavků dodavatele odlitků a ověřeno vzájemně odsouhlasenou sérií 10ks kontrolních odlitků.

Při změně modelového zařízení je nutná výroba kontrolních odlitků v počtu 10ks. Odběratel odlitků provede mech. obrábění, zkontroluje odlitky a vystaví kontrolní nález, v němž uvede všechny zjištěné závady a požadavky na jejich odstranění zjištěných závad nebo zda vyžaduje výrobu

nových kontrolních odlitků. Originál zašle dodavateli.

3.2. Odlitky se vyrábějí ve stupni přesnosti dle ČSN 42 4470.3. Pro kontrolu tvaru rozměrů a hmotnosti hrubých odlitků jsou směrodatně oboustranně schválené slevárenské postupové výkresy.

3.3. Dodavatel zajišťuje 100% kontrolu odlitků na zjevné slevárenské vady.

3.4. Hrubé odlitky nesmějí mít zjevné vady dle ČSN 42 1240 v rozsahu, který by byl na závadu jejich použití a obrábění. Zcela nepřipustné jsou tyto vady:

- zavaleniny /22/
- trhliny /31/
- praskliny /32/

3.5. S vyloučením vad dle 22,31,32 jsou přípustné všechny zjevné vady, které budou odstraněny následným obráběním u odběratele. Pokud rozsah těchto vad přesáhne přídavek na obrábění, jsou vyřazeny k tíži dodavatele.

3.6. Nepřipustnými avšak dodavatelem opravitelnými zjevnými vadami vybroušením, osekáním jsou vady rozměrů a vady povrchu odlitků, které by byly na závadu jejich použití a obrábění v přípravcích.

3.7. Opravy tmelením jsou nepřipustné.

3.8. Hrubé odlitky nesmějí mít skryté vady dle ČSN 42 1240 v rozsahu, který by byl na závadu jejich použití. Díly s vadami odlitků zjištěné po obrobení budou vyřazeny k tíži dodavatele.

3.9. Na odlitcích nesmějí být zatvrdlá místa v místech obrábění.

3.10. Zbytky po nalitcích a vtocích musí být na neobráběných plochách odstraněny do mezi určených mezní úchytkou pro daný rozměr odlitku, přičemž okraje zbytku musí být upraveny do plynulého přechodu do okolní plochy.

3.11. Zbytky po nalitcích a vtocích na obráběných plochách musí být odstraněny a upraveny do výšky nepřesahující hodnoty uvedené v tab.č.4. ČSN 42 1242.

3.12. Hrubé odlitky dodávají základované barvou S 2000, odstín 0840 červenohnědá.

3.13. Odlitky musí být označeny číslem modelu, pořadovým číslem modelu a číslem tavby. Výšku písmen a číslic volí dodavatel s podmínkou záruky dobré čitelnosti.

3.14. Specifické požadavky na jednotlivé odlitky. Místa kontroly struktury a tvrdosti platí pro reklamace konkrétních odlitků. Na výkresech jsou kontrolní místa označena písmenem T. Neobrobené plochy měřit metodou HB 10/3000. Obrobené plochy povoleno měřit HB 5/750. Před měřením je třeba odstranit licí kôru. Místo kontroly struktury a Rm označuje na výkrese řez M-M. Homogenita odlitků odpovídá 4.stupni PN 036301.

Přední držáky per: M 1722 310 213

M 1427 310 212

M 3622 310 216

Místo pro kontrolu tvrdosti a struktury (pevnosti v ohybu) je ve svislé stěně přilehající k podélníku rámu cca 30mm od horního okraje.

Zadní držáky per: M 1428 310 209

M 1429 310 215

Místo pro kontrolu tvrdosti a struktury (pevnosti v ohybu) je ve svislé stěně přiléhající k podélníku rámu cca 20-25mm od horního okraje.

4. Zkoušení odlitků

4.1. Hrubé odlitky se zkoušejí a přejímají dle ČSN 42 1242.99

4.2. Zkouška tvrdosti se kontroluje na místě předepsaném slévárenským postupovým výkresem. Z měřeného místa musí být předem odstraněna broušením povrchová vrstva do hloubky min.1mm.

4.3. Kontrola struktury se provádí namísto předepsaném slévárenským postupovým výkresem. Metalograficky hodnocená plocha odpovídá ploše řezu M-M na výkrese. Pevnost v ohybu se stanoví na pruhu materiálu o šířce cca 10mm z řezu M-M. Zkouška se provádí na stejném typu přípravku u odběratele i výrobce.

Seznam norem:

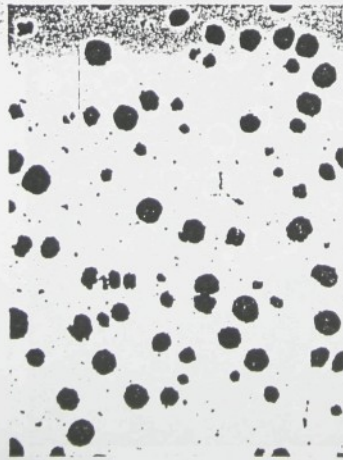
01 3057	04 2021	42 1240
01 4456	42 0310	42 2305
01 4470	42 0371	42 0471
01 4980	42 1210	
PN 03 6301	PN 42 0016	

Seznam příloh: etalony struktur G 17, G 20
postupové výkresy odlitků držáků per

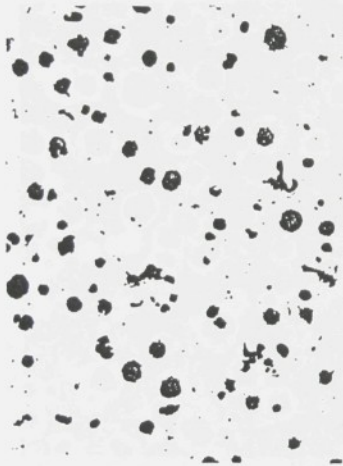
Platnost od 1. 1. 1993

Za LIAZ a.s

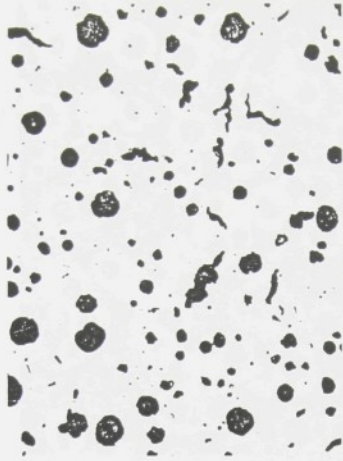
Za dodavatele odlitků



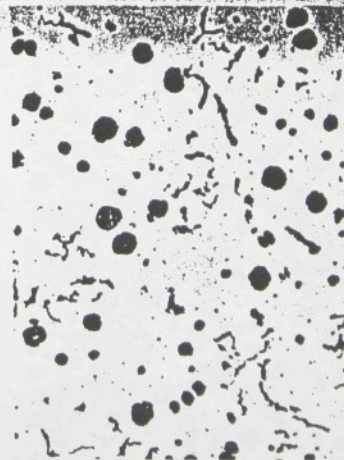
> 90 % Sphärolithe



85 % Sphärolithe



75 % Sphärolithe



Dr. Oetzel

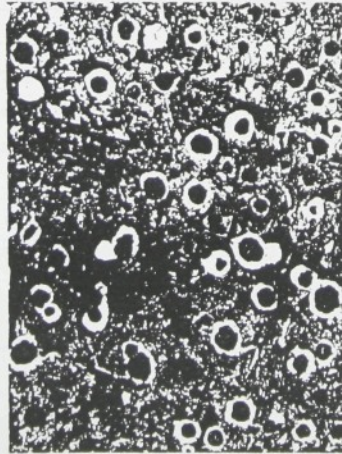


30 % Sphärolithe

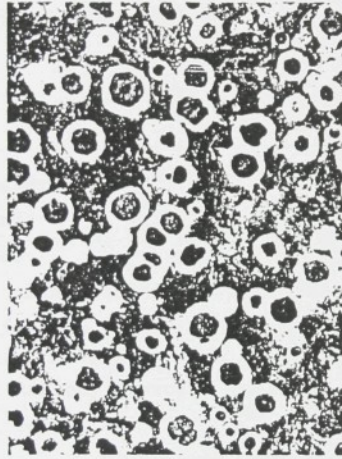


< 10 % Sphärolithe

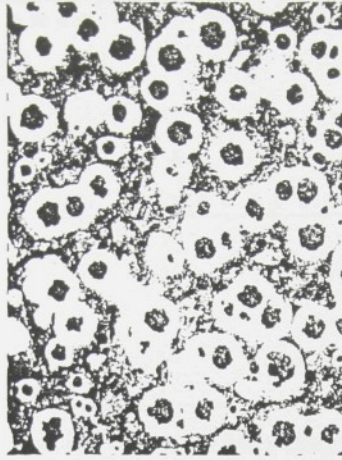
 $V = 100$



10 % Ferrit



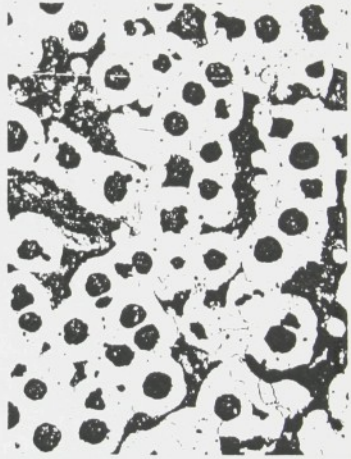
30 % Ferrit



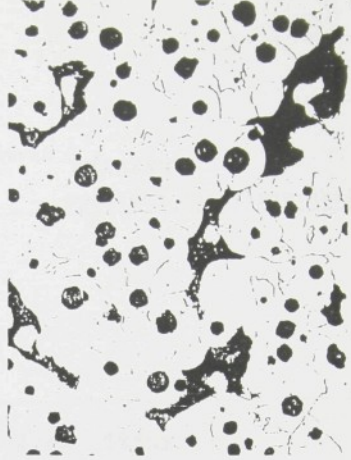
45 % Ferrit



60 % Ferrit



75 % Ferrit



90 % Ferrit

Ätzmittel: 1 %ige alkoholische Salpetersäure

V = 100

Líberecké automobilové závody
národní podnik
J a b l o n e c nad Nisou

Z á v o d (ú t v a r) : **xxxxxxx**

P ř e d b ě ž n á - výsledná kalkulace úkolu RVT

Číslo úkolu v plánu RVT : **Držáky per z tvárné litiny**

Název úkolu v plánu RVT : **-**

Název prototypu (předmětu) :

Položka	Kčs -
	50
1. Přímý materiál	40
2. Přímé mzdy	235
3. Kooperace	
4. Ostatní přímé náklady	75
5. Provozní režie	

Vlastní náklady provozu (položka 1 - 5)

6. Správní režie

Úplné vlastní náklady výzkumných a vývojových prací
(položka 1 až 6)

7. Poddodávky
8. Vyrobené a zbylé předměty (odečítá se)
9. Zisk (ztráta)

Velkoobchodní cena (základní)

10. Doplnkové složky ceny a doplnkové položky k ceně

Velkoobchodní cena po úpravách

2.12.1988

B. Skrbek

V. Ptáček

Stum:

Vypracoval:

[Signature]

Odpovídá:

[Signature]

POŽADAVKOVÝ LIST NA ZAŘAZENÍ ÚKOLU DO PLÁNU RVT

Závod (útvár) :

Název úkolu : **Držáky per z tvárné litiny**

Předběžné náklady na řešení v tis.Kčs:

400

Základní údaje a cíl: Držáky per pro novou řadu vozů jsou ve čtyřech provedeních na vůz /040+043/. Celkem 8ks/vůz, 1000 t/rok. Cílem úkolu je vyvinout odlitky držáků z tvárné litiny s rovnocennými užitnými vlastnostmi při snížených nákladech na materiál a mzdy a spolupodílet se při zabezpečování kvalitní jejich sériové výroby /externí/.

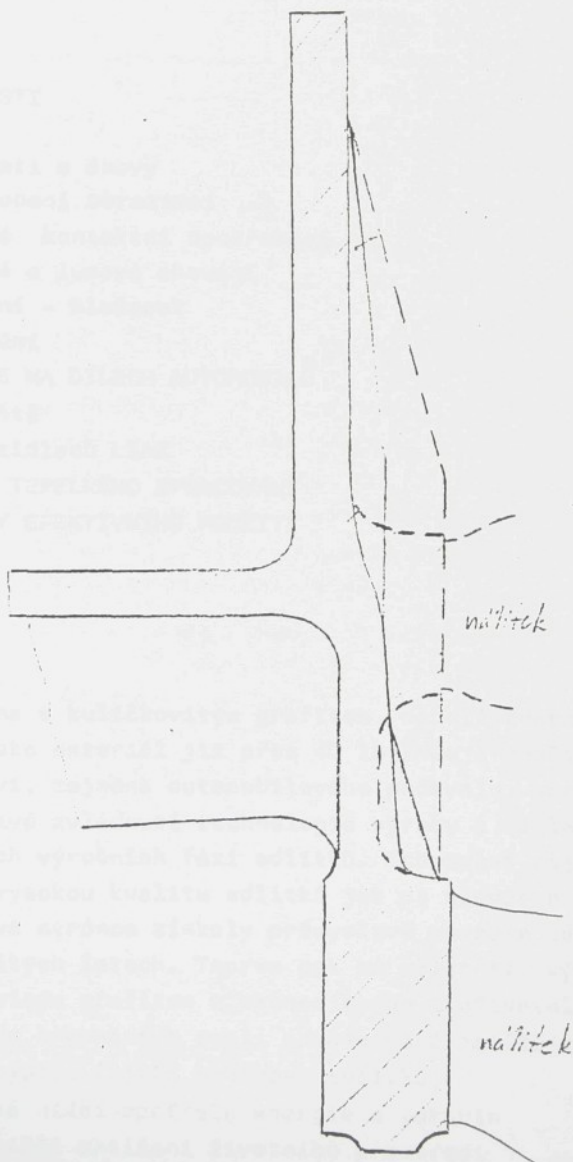
Dosavadní stav a jeho nevýhody: Držáky per se vyrábějí z lité oceli, která je nyní nedostatkovým /METAZ Týnec/ a neperspektivním materiálem /v zahraničí se podobné díly používají z tvárné litiny/. Odlitky jsou poměrně tenkostěnné, s vysokým poměrem plochy povrchu k objemu odlitku.

Předběžný roční ekonomický přínos po zavedení: Při spotřebě asi 1000 t/r odlitků lze předpokládat 8% kovu. Při ceně oceli asi 16Kčs/kg to je 980tis.Kčs/r úspor. Skutečný přínos bude možno odhadnout po novelizaci cen odlitků po 1.1.1989.

Pro realizaci je třeba zajistit : **Bilance na tvárnou litinu.**

Návrh dílčích etap úkolu :	Termín		O d p o v í d á :
	od	do	
Celý úkol	I / 1989	III / 91	Ing.Břetislav Skrbek
Etapy :	T-E rozber-studie	4.89	3.89
1/			
2/	Aplikovaný vývoj tvaru	3.89	12.89
3/	Odlitky pro zkoušky	6.89	6.90
	Zkoušky, provoz	1.90	6.91
4/	Vydání NZ, výroba		9.91
	2.12.89		
Datum :	Vypracoval :	Skrbek	Schválil : Ptáček

Obr. 1: Návrh na úpravu tvaru odlitku "přední držák
předního pera"



KUŠEBNÍ PROTOKOL č. 93/25

224-01

Kušebsní oddělení:

IAZ Jablonec
stř.10-291

pracoval:

Ing.Skrbek, CSc.

Název zkoušky:

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA

Izotermicky kalená litina s kuličkovitým grafitem - souhrn vlastností - zkušenosti s aplikací na dílech nákladních vozů.

Číslo:

Datum:

18.5.1993

Typ:

Obsah protokolu :

- 1.0 ÚVOD
- 2.0 VÝROBA
- 3.0 VLASTNOSTI
 - 3.1 Normy
 - 3.2 Pevnosti a únavy
 - 3.3 Opotřebení abrazivní
 - 3.4 Kluzné kontaktní opotřebení
 - 3.5 Rázové a lomové chování
 - 3.6 Tlumení - hlučnost
 - 3.7 Obrábění
- 4.0 APLIKACE NA DÍLECH AUTOMOBILŮ
 - 4.1 Ve světě
 - 4.2 Na vozidlech LIAZ
- 5.0 ZPŮSOBY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ
- 6.0 PODMÍNKY EFEKTIVNÍHO POUŽITÍ
- 7.0 SHRNUTÍ

1.0 ÚVOD

Litina s kuličkovitým grafitem, neboli tvárná litina, je známá jako materiál již přes 40 let. Její rozšíření do strojírenství, zejména automobilového průmyslu, umožnilo teprve spolehlivé zvládnutí technologie výroby s důslednou kontrolou všech výrobních fází odlitků. Schopnost zajistit rovnoměrnou vysokou kvalitu odlitků jak po slévárenské, tak po materiálové stránce získaly průmyslově vyspělé západní země v sedmdesátých letech. Teprve pak se uplatnily výhody litiny s kuličkovitým grafitem z ekonomického i uživatelského hlediska : - ve srovnání s ocelí mnohem méně zatěžuje transportní systém (nižší hmotnost odlitků)
- má nižší spotřebu energie a surovin
- nižší zatížení životního prostředí
- nižší náklady na zpracování odlitků (opracování, te-

pevné zpracování).

Proto poměr objemu výroby LKG k lité oceli na odlitky je ve vyspělých ekonomikách více jak 20x vyšší, než v zemích bývalého východního bloku, kde podmínky pro trvalou spolehlivou výrobu tvárné litiny patrně ještě zrají.

Tab.1

země	poměr LKG/LO
Japonsko	3,7
Německo	3,5
USA	2,9
Francie	5,6
býv. ČSFR	0,15
býv. SSSR	0,1

Z hlediska rozšiřování aplikací LKG je tedy pro nás stále progresivním materiálem.

Na bázi rovnoměrně kvalitní výroby odlitků z LKG se ve vyspělých zemích intenzivně rozšiřují průmyslové aplikace pevnostně nejvyšší třídy LKG - izotermicky kalené litiny s kuličkovitým grafitem, označené ADI. Mechanické vlastnosti ADI umožňují aplikace v oblasti namáhaných součástí z tvárných tepelně zpracovaných ocelí.

Cílem této zprávy je seznámit potenciální uživatele ADI - konstruktéry - s obecnými vlastnostmi tohoto materiálu, s výsledky spolupráce s VUT Brno při výzkumu vlastností ADI a s dosavadními aplikacemi na nákladních vozech. Uvádím také informace o možných způsobech tepelného zpracování a podmínkách efektivní výroby ADI. Předpokládám, že uvedené informace umožní další aplikace ADI s přínosem pro výrobky LIAZ a.s.

2.0 VÝROBA

Kuličkovitý grafit má v kovové matici litiny nepatrný vrubový účinek. Proto lze využít struktury s vysokou pevností při dostatečných plastických a únavových hodnotách vlastností - bainitické a bainitickomartenzitické struktury.

Z hlediska minimalizace strukturněvrubového účinku musí vzhledí odlitek splňovat :

- a) 100% obsah kuličkovitého grafitu (lupínky jsou nepřijatelné)
- b) jemný grafit (co nejmenší kuličky)
- c) min. obsah manganu a legujících prvků (Cr, Mo, ap.); Mn a Mo působí mikrosegregací - vruby; $Mn \leq 0,4\%$
- d) nehomogenity (lunkry, řediny) nesmí vystupovat na obrobený povrch - staly by se iniciátory lomů

Podmínky a) + d) se musí promítnout v TPP.

Výchozí odlitek může mít výchozí kovovou hmotu perlitickou nebo feritickou. Pokud je perlitická, odlitek se špatně obrábí, ale dobře austenitizuje (krátká doba výdrže na teplotě) a po izotermickém kalení má tedy menší deformace. Pokud je feritická, odlitek se velmi dobře obrábí (podstatně výkonnější obrábění než u oceli), ale nutno volit delší austenitizační ohřev. Odlitek je pokud možno obroben načisto, neboť i tak jsou deformace izotermickým kalením LKG podstatně menší než při kalení do oleje a popouštění (zušlechťení) ocelových součástí.

Izotermické kalení sestává z austenitizace obrobených odlitků na teplotách kolem 900°C a ze zakalení do prostředí (obvykle solné lázně) v rozsahu $250+400^{\circ}\text{C}$. Teploty a výdrže na nich jsou přesně definovány na základě chemického složení a tloušťce stěn odlitků.

Při kalení do 250°C vzniká tzv. dolní bainit. Má vysokou pevnost, tvrdost a nízkou tažnost. Zakalením do lázně 400°C horké vzniká horní bainit. Struktura bainitu se skládá z lamel či jehlic uhlíkem přesyceného feritu a zbytkového austenitu (až 40%). Bainitická prokalitelnost nelegované LKG je asi 13 mm. Strukturu horního bainitu lze spolehlivě kontrolovat nedestruktivními metodami.

Existují postupy povrchového bainitického kalení (ozubená kola). Předmětem dalšího výzkumu by měla být řízená sekundární transformace zbytkového austenitu bainitu na martenzit vyvolaná povrchovou plastickou deformací. Strukturní zpevnění - další možnost zvýšení kontaktní únosnosti, únavy - účinek jako nitridace u oceli.

3.0 VLASTNOSTI

Mechanické a fyzikální vlastnosti hodnotově vycházejí ze zahraničních prací a výsledků spolupráce VUT Brno a LIAZ v

80. letech. Pokud není uvedeno chemické složení jde vždy o nelegovanou LKG.

3.1 Normy

ADI jsou standardizovány v průmyslově vyspělých zemích. Domácí norma ještě neexistuje.

Tab.2

země	jakost	pevnost R_m [MPa]	mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	tažnost A_5 [%]	tvrdost HV
Anglie	950/6	950	670	6	300+310
	1050/3	1050	780	3	345+355
	1200/1	1200	942	1	390+400
Finsko	K-906	900	730	6	280+310
	K-1003	1000	800	3	300+350
	K-1201	1200	1000	1	380+430
SRN	80-B	800	500	6	250+310
	100-B	1000	700	5	280+340
	120-B	1200	950	2	330+390
	140-B	1400	1200	1	400+450
	150-B	1500	-	-	420+475
USA	GRADE 1	860	550	10	268+321
	GRADE 2	1035	690	7	302+363
	GRADE 3	1205	830	4	363+444
	GRADE 4	1380	965	2	388+477
	GRADE 5	1450	1105	-	418+512
	GRADE 6	1585	1240	-	444+555

3.2 Pevnosti a únavy

Základní představu o vlastnostech statické pevnosti v tahu uvádí dříve vypracované normy. Tyto hodnoty jsou minimální. V praxi dosažené max.hodnoty mechanických vlastností na zkušebních tyčích ze zkušebních bloků Y1 (tl. 12,5 mm) uvádí tabulka 3.

Tab.3

teplota bainické transformace [°C]	R _m [MPa]	A ₅ [%]	HV	chemické složení [%]			
				C	Si	Mn	Cu
300	1510	2,9	450	3,29	2,67	0,24	0
350	1270	6,3	370	3,29	2,67	0,24	0
400	1000	12,5	320	3,29	2,67	0,24	0
300	1400	5,7	440	3,47	2,76	0,34	0,74
350	1130	10,0	330	3,47	2,76	0,34	0,74
400	1030	11,3	320	3,47	2,76	0,34	0,74

Mez únavy při namáhání tah-tlak má nejvyšší hodnoty při horním bainitu (obr.1) - tzn. je nepřímo úměrná pevnosti v tahu! Podobně je tomu při míjivém ohybu. Matematické vyjádření těchto závislostí :

$$\sigma_c = 0,49 R_m - 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot R_m^2 \quad /1/$$

$$\sigma_{ohc} = 0,93 R_m - 0,46 \cdot 10^{-3} \cdot R_m^2 \quad /2/$$

Tab.4

způsob namáhání	mez únavy [MPa]	transformace [°C]
míjivý tah	273	300 DB
tah-tlak	206+190	300 DB
míjivý ohyb	430+360	300 DB
míjivý tah	304	350 SB
tah-tlak	222+208	350 SB
míjivý ohyb	470+445	350 SB
míjivý tah	370	400 HB
tah-tlak	235+225	400 HB
míjivý ohyb	450+470	400 HB

DB ... dolní bainit

SB ... střední bainit

HB ... horní bainit

Výrazy /1/ a /2/ se mohou použít i pro LKG perlitické až feritické.

Pro potřeby náhrad ocelových odlitků z lité manganové oceli 42 27 09.1 tvárnou litinou jsme provedli zkoušky únavy na vzorcích z odlitků držáků per pro vozy LIAZ s těmito výsledky :

Tab.5

materiál	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A ₅ [%]	HB	σ _{ohc}	C	Si	Mn
						[%]		
42 27 09.1	514	288	16	170	520	0,25	0,27	1,24
42 23 05.0	505	316	16,3	180	378	3,46	2,1	0,25
HB	1032	809	7,2	-	508	3,46	2,1	0,25
SB	1203	1036	3,4	-	394	3,46	2,1	0,25
DB	1531	1348	1,1	-	330	3,46	2,1	0,25

vzorky - trámečky 10 x 10 x 55 mm

Přítomnost ředin má výrazný negativní vliv na únavové vlastnosti oceli 42 27 09.1. Jejich přítomnost na povrchu snižuje podstatně životnost a mez únavy o 40% (σ_{ohc} = 320 MPa).

3.3 Opotřebení abrazivní

Odolnost proti opotřebení je v relaci s tvrdostí. Podstatný vliv na abrazi má obsah Mn. Odolnost u spodního bainitu je vyšší než u horního bainitu u všech zkoušených taveb.

Zkouška odpovídala ČSN 01 50 84. Jako etalonový materiál byla použita ocel 12050.1. Abrazivní prostředek - brusný papír o zrnitosti 120. Poměrná odolnost :

$$\psi_{abr} = \frac{\Delta m_{etalon}}{\Delta m_{vzorku}}$$

Tab.6

hodnoty ψ _{abr}					
tavba			stav		
C	Si	Mn	litý stav	HB 400°C	DB 300°C
3,29	2,67	0,24	0,86 (65% F)	1,33	1,43
3,43	2,46	0,97	1,04 (20% F)	1,83	1,84

3.4 Kluzné kontaktní opotřebení

Použité zkušební zařízení - TRIBOTESTOR - umožňuje nastavit široký rozsah provozních parametrů. Zkoušená pouzdra a čepy mají standardní rozměry uložení ϕ 20H7/j3 - 20.

Tab. 7

Zkoušené dvojice materiálů

varianta	čep	pouzdro	mezání
a	LKG-DB	12 061.2	M6 ADS III
b	LKG-DB	12 061.6	M6 ADS III
c	LKG-DB	42 31 23	M6 ADS III
d	11 600.0	42 24 56	J2

Tlak oleje 50 kPa; povrch broušen - $R_a = 0,8 \mu\text{m}$.

Rozsah provozního režimu zkoušek :

zatěžovací tlak $p = \langle 0,35; 20 \rangle \text{ MPa}$
 kluzná rychlost $c = \langle 0,4; 2,1 \rangle \text{ m.s}^{-1}$
 vůle $h = \langle -0,002; 0,023 \rangle \text{ mm}$
 relativní ložiskové vůle 0,0143%
 teplota oleje $T = \langle 20; 185 \rangle ^\circ\text{C}$

Tab. 8

Mechanické vlastnosti a chemické složení materiálů

materiál	chemické složení [%]	tvrdost
LKG-DB	C $\langle 3,05; 3,3 \rangle$; Si $\langle 2,07; 2,65 \rangle$; Mn $\langle 0,35; 0,7 \rangle$	42 HRc
412061.2	C 0,59; Si 0,27; Mn 0,74; Cr 0,21	233 HB
412061.6	C 0,59; Si 0,27; Mn 0,74; Cr 0,21	27 HRc
423123	Cu 87; Sn 11,5	110 HB

Zhodnocení zkoušek :

Nejnižších hodnot součinitele tření dosáhla dvojice c, která v celém rozsahu zatížení, rychlosti a teplot běžela bez zadírání. Na druhé místo lze zařadit dvojici a, které dosahovala vyšších hodnot součinitele tření $\geq 0,032$, avšak v rozsahu očekávaných zatížení ve skutečném stroji je dostatečně nízký; zadření nastává až při dvojnásobném zatížení.

Nejvyšší hodnoty součinitele tření vykazuje dvojice b a d. K zadírání dochází již v oblasti očekávaných zatížení strojů (t.j. rozvodu motoru). Jako předpokládané zatížení stroje byly zadány parametry kluzného uložení kol rozvodu motoru M3 :

rozměry $\phi 90H7/f6 - 30 \text{ mm}$
 zatížení $0,5 \pm 15 \text{ kN}$
 otáčky stř. 1430 min^{-1}
 mazivo M6 ADS III
 tlak maziva $0,2 \pm 0,5 \text{ MPa}$

Na díly rozvodu M3 měla být aplikována bainitická litina s kuličkovitým grafitem.

3.5 Rázové a lomové chování

3.5.1 Rázové houževnatost KCO

Zkouška rázové houževnatosti se u litin provádí obvykle na vzorcích $10 \times 10 \times 55 \text{ mm}$ bez vrubu. Podobně jako u ocelí oblast teplot plastického a křehkého porušení závisí na tranziční teplotě T_T . Závislost T_T na struktuře LKG předkládá tabulka 9 (pro nelegovanou LKG) :

Tab.9

matrice	T_T [°C]	KCO [J/cm^2]
DB	-55 ± 10	40
SB	-80 ± 10	100
HB	0 ± 15	150
perlit	-45 ± 5	20 ± 10
ferit	-	110 ± 30
sorbit (zušlechťeno)	-	30 ± 50

HB obsahuje hodně austenitu (40%), který při nízkých teplotách transformuje na křehký martenzit - proto má vysokou T_T !

3.5.2 Lomové houževnatost KC

V průběhu zkoušení litin se zjistilo, že k dolevení vzorků (s nacyklovanou trhlinou) nedochází náhle křehkým lomem, ale postupným rozvíráním trhliny - jde o 4 typ zatížovacího diagramu. Zejména u šedé litiny perlitické se to neočekávalo.

Vzorky ve tvaru hranolů 22x50x210 mm dle ČSN 42 03 47. S překvapením jsme zjistili, že vady na lomové ploše vzorků z litiny s kuličkovitým grafitem (LKG) se výrazně neprojevily na hodnotách lomové houževnatosti K_C .

Tab.10

Hodnoty K_C pro základní litiny při 20°C

litina	složení [%]			struktura grafit kov	R _m [MPa]	K_C [MPa/m ^{1/2}]	tvrdost HB
	C	Mn	Si				
422425	3,48	0,88	1,87	GI, P100	280	34	218
LKG	3,69	0,23	3,14	GIII, P20	500	52	186
422306	3,61	0,5	2,27	GVI, P70	650	64	218
horní bal.	-			GVI, BH	900	96	290
dolní bal.	-			GVI, BD	1400	66	400

3.6 Tlumení - hlučnost

Grafit v litině zvyšuje její tlumicí schopnosti ve srovnání s ocelí. Obecně útlumové vlastnosti vyjadřuje koeficient α útlumu. Konkrétní hodnoty α pro jednotlivé jakostní třídy litin nebyly v LIAZ měřeny ani publikovány v dostupném odborném tisku.

Hlučnost hypoidního soukolí (talíř, pastorek BMW) byla publikována firmou G+F [1] s tímto výsledkem :

Tab.11

Hlučnost soukolí v dB

materiál		otáčky [min ⁻¹]		
talíř	pastorek	1000	2000	3000
ocel	ocel	53,5	57,5	62,5
ADI	ocel	49,5	53,0	55,0
ADI	ADI	48,0	51,0	53,0

3.7 Obrábění

Všeobecně musíme mít snahu použít obrábění ADI jen v nevyhnutelných případech.

3.7.1 Soustružení

doporučené řezné materiály pro ADI	hloubka třísky
slinutý karbid SK K10	2 mm
řezná keramika DISAL 320	1,5 mm

Výzkum obrobitelnosti ADI ukázal, že je srovnatelná s obrobitelností ocelí podobných pevností v tahu. Kritériem opotřebení při soustružení bylo hřbetní opotřebení VB_B a zářezové hřbetní opotřebení VB_N .

Vlastnosti obráběných litin ADI (horní bainit) :

R_m [MPa] 955±1027

A [%] 6±8,3

KCO [J/cm²] 82±121

Hodnoty VB_B vykazovaly po určité době soustružení stagnaci, zatímco hodnoty VB_N vykazovaly vždy rozvoj až do konečného porušení destičky. Lépe se obrábí nelegované litiny. Posuv by neměl překročit 0,294 mm. Drsnost povrchu obráběného keramikou byla vždy velmi dobrá - R_a <1,2; 1,8> μm.

$$VB_N = \frac{0,082}{1/\tau + 0,192}$$

τ ... čas [min]

$v = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Celková trvanlivost se pohybuje mezi 15-20 minutami.

Při obrábění slinutým karbidem bylo možno použít max.

obráběcí rychlost $v = 40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Drsnost získaného povrchu byla podstatně horší, jak u keramiky - R_a <6,3; 12,5> μm. Maximální dosažená trvanlivost je 10-15 minut.

Keramikou DISAL 100 a 210 bylo dosaženo drsnosti povrchu R_a <3,2; 6,3> μm. Oxidická keramika Ti2IT, TSI 20 se ukázala nevhodná.

Geometrie použitých řezných destiček :

$$\alpha_0 = -6^\circ ; \quad \beta_0 = +6^\circ$$

$$\gamma_r = 93^\circ ; \quad \delta_s = -7^\circ$$

Metodika měření obrobiteľnosti vycházela z ISO 3685. Třída obrobiteľnosti 10b.

3.7.2 Broušení - doporučené podmínky

hrubé broušení : brusný kotouč A99 40J 9V; úběr $480\text{mm}^3/\text{m1}$
 $R_a = 0,8\text{ }\mu\text{m}$

jemné broušení : brusný kotouč C49 25K 9V; úběr $240\text{mm}^3/\text{m1}$
 $R_a = 0,4\text{ }\mu\text{m}$

4.0 APLIKACE NA DÍLECH AUTOMOBILŮ

4.1 Ve světě

Uplatnění ADI v průmyslově vyspělých zemích je poznamenáno výhodným poměrem cen odlitků vzhledem k výkovkům a vyšším poměrem ceny vložené práce k materiálovým nákladům jednotlivých součástí (vzhledem k poměru v ČR).

Proto nejrozšířenější využití nalézá ADI pro ozubená kola vzhledem k těmto užitim vlastnostem :

- a) menší hluk soukolí
- b) větší odolnost vůči přetížení (rozložení zatížení na větší plochu)
- c) výborné kluzné vlastnosti boků zubů
- d) menší měrná hmotnost ($\rho = 6,95\text{ kg/dm}^3$)

V práci [4] se uvádí použití ADI pro kuželová kola $m = 4,5$ s předlitými zuby pro nákladní auta, planetová kola, držáky per náprav, klikové hřídele, kola kolejových vozidel, rolny. Nejvyšších hodnot mechanických vlastností při statickém namáhání dosahuje dolní bainit. Nejvyšších hodnot při cyklickém zatěžování ale dosahuje horní bainit. Při šíření únavové trhliny v horním bainitu (obsahuje až 40% austenitu) dochází na jejím čele vlivem plastické deformace k účinnému zpomalování jejího šíření.

Proto izotermicky kalené součást z LKG na horní bainit, obrobená frézováním, má o 20% vyšší mez únavy, jak součást obráběná před izotermickým zpracováním (zpevnění přeměnou

A→M - obr.2) a součást s řízeně kuličkovým povrchem má únavovou pevnost vyšší o 50%. Tento poznatek je využit u nejnovějších aplikací ADI na ozubená kola klikového hřídele [5]. Na obr.4 uvádím v tabulkách hodnoty důležité pro porovnání litin a ocelí na ozubená kola. Obr.5 ukazuje na rovnocennou pevnost v ohybu oz.kol ocelových cementovaných a povrchově zpevňovaných z ADI. Nejvyšších hodnot ale dosahují zuby cementované a ještě povrchově zpevněné. Porovnání Hertzových tlaků a zejména jejich pokles cca o 150 MPa při záběru kol z ADI ve srovnání s ocelovými koly je na obr.6.

Obrázky jednotlivých součástí automobilů vyráběných z ADI obsahuje příloha této zprávy.

4.2 Na vozidlech LIAZ

Při vývoji motorů řady M2 byly v r.1980 zkoušeny kladičky vahadel a vahadla ventilů M2.1 z ADI o vlastnostech $R_m = 1000+1245 \text{ MPa}$ a $A = 10+13\%$. Čep vahadel byl povrchově kalený z oceli 12051. Zkoušeli jsme různé varianty legování litiny [8]. Nejvyšší životnost prokázala ADI s obsahem $Mo = 0,18\%$ se strukturou středního bainitu. Z pohledu dnešních zkušeností bychom volili ADI nelegovanou z dolního bainitu proti tepelně nezpracovanému ocelovému čepu.

Úkolem rozvoje techniky M7-6-79 "Využití progresivních metod TZ na ozubená kola ...", byly kromě nitridovaných a povrchově kalených ozubených kol rozvodu M 638 připravena vložná kola a kolo náhonu olejového čerpadla z ADI (dolní bainit). V provozu však běželo jen jedno kolo náhonu olejového čerpadla. Bylo přesazeno se spoluzabírajícím vloženým kolem. Plastická deformace a opotřebení bylo výrazně nižší ve srovnání s kolem jen z perlitické tvárné litiny.

Nejdále dospělo uplatnění ADI na díly kardanů vozů LIAZ (změnové řazení). Návrhy aplikace ADI na náboje kardanů vyplynuly z projektu HA. V československých podmínkách totiž ekonomicky efektivně vycházely jen náhrady výkovků spojené s výraznějšími materiálovými úsporami, tzn. u součástí nábojovitých. Náboje se kovou jako plné. Obráběním se odstraní až 2/3 hmotnosti výkovků. Příklad kalkulace z r.1989 :

Tab.12

název	č.v.	hmotnost [kg]		mat. . původní	úspora Kč/ks
		ocel	LKG*		
posuvný náboj kloubu	442 2 1857 006	11,2	8,2	12050.9	8,-
náboj s přírubou	442 2 1851 033	5,5	4,8	12060.6	-5,-
náboj hřídele kola	442 2 2301 010	18,5	8,5	13240.6	22,-

* ... odlitek ve 3.st. homogenity

Z tabulky 12 vyplývá, že v československých podmínkách bylo nutno ušetřit alespoň 1/3 hmotnosti, aby se přechod na nový materiál vyplatil (náklady na TZ a mzdy započítány).

Náboje z LKG byly odlity se strukturou feritickoperlitickou s max. obrobiteľností. Pak byly izotermicky kaleny na horní bainit $R_m = 850 \text{ MPa}$.

Nejprve se náboje z oceli s ADI porovnávaly na torzní míjivé namáhání v SVUM Běchovice na hladinách 3, 5, 8 kNm - obr.7. Nejslabším dílem kardanu byly křížové čepy, které často musely být vyměňovány a drážkové hřídele, které byly posléze vyrobeny ze speciální oceli. ADI z nelegované LKG vyšla ze zkoušek jako rovnocenný materiál zušlechtné oceli [11] na stejnou hodnotu R_m . Poté bylo 10 nábojů z ADI dáno do sledovaných provozních zkoušek v záv.02. Již tři roky jezdí bez poruchy ve vozidlech LIAZ, přestože obsahují výrazné staženiny v partiích mazacích otvorů (pos. náboje kloubů) a ovalita ok ř 52H7 patrně překračuje povolenou toleranci. Izotermickým kalením totiž dochází k ovalitě cca 0,14 mm. Tento rozměr by měl být (jako jediná operace) obroben po tepelném zpracování. Kontrolní rozměr přes drátky ř 46²⁹⁹/₂₁₉ mm evolventního drážkování 55x2,5 D10 byl vždy po TZ v toleranci (měřeno vždy na 4 místech). Technologie TZ byla pro záv. Velký Krtíš vyvinuta v ZTS Dubnica. Po převedení vývoje kardanů do záv.08 závisl realizace pro sériovou výrobu na přístupu slovenských kolegů.

Na současné provedení motoru M1.2C je z ADI-DB vyráběn axiální kroužek vačkového hřídele (vysoká pevnost v ohybu a výborné kluzné vlastnosti). TZ i pro sérii zajištěno na VUT Brno.

5.0 ZPŮSOBY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ

Klasický postup izotermického kalení spočívá v austenitizaci námi ohřevu na cca 900°C v ochranné atmosféře nebo v solné lázni. Zakalení se provádí do solné lázně (AS 140) horké 250+400°C podle požadované struktury. Nutno volit optimální polohu součásti (deformace) a pohybovat s ní v lázni. Existují dva náhradní postupy :

- Lomové kalení podle Georg Fischera. Lze provádět v běžných víceúčelových pecích bez solných lázní. Po austenitizaci se součásti zakalí ve speciálním vysokoteplotním oleji (Shell-Voluta 71-M) při 220+240°C a ihned (po 1 minutě) se přenesou do popouštěcí pece (300+400°C) a plynouou atmosférou. Horní bainit ADI takto vzniklý má poloviční hodnoty tažnosti A a houževnatosti K_C [12] .
- Izotermické kalení ve fluidní vrstvě [13] . Tento způsob TZ nelze použít pro přeměny nad 300°C, neboť nedochází k plnému vývinu bainitu.

Náhradní postupy izotermického kalení lze využít jen pro součásti z ADI, u kterých je vyžadován dolní bainit (DB).

Kapacity izotermického tepelného zpracování v ČR existují. Zpracování drobných dílů ve větších sériích a kusové zakázky realizuje VUT Brno při katedře materiálového inženýrství. Tepelné zpracování ve větších solných lázních provádí Poličské strojírný. Vlastní technologie TZ připravují MŽ Olomouc a ČKD Praha. Pro záv.08 jsem nechal vypracovat nabídku technologie od fy AICHELIN. V nové kalírně TECHNOMETRA Semily je možno izotermické kalení provádět v solných lázních (Ø 600x1600) pro potřeby sériové výroby.

6.0 PODMÍNKY EFEKTIVNÍHO VYUŽITÍ [7]

chemické složení :

[%]	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cu	P
min.	3,6	2,4	0	0	0	0	0
max.	3,8	2,8	0,3	0,2	1,5	0,8	0,03

výrobní postup :

odlití - feritická struktura - obrábění načisto - austenitizace - izotermické kalení - dokončení vybraných operací - finální povrchové úpravy (pouzení, gestrahlit)

technicko-materiálové podmínky :

- nodularita $> 80\%$ (obsah kuličkovitého grafitu)
- hustota kuliček grafitu $> 100/\text{mm}^2$
- rovnoměrné rozložení kuliček
- nulový obsah volných karbidů
- porézita nesmí vystupovat na povrch součástí
- minimum inkluzí (vměstků)
- výstupní strukturální kontrola (dle mých zkušeností nestačí pouhé měření tvrdosti bainitu, nutno kombinovat s nede-
struktivní metodou)
- optimalizace teplot a výdrží při austenitizaci a izoter-
mickém kalení

7.0 SHRnutí

Z citovaných výsledků výzkumu a aplikací v zahraničí vyplývá, že ADI je i pro nás, výrobce vozů a motorů LIAZ, perspektivně použitelný materiál nejen z pohledu ekonomických náhrad oceli, ale i díky svým specifickým vlastnostem. Vlastní zvládnutí technologie výroby ADI a informační banka vlastností ADI v ČR jsou dostatečné až na finální operaci - povrchové zpevňování. Zvládnutí technologie zpevňování ADI nám umožní další generaci aplikací. TECHNOMETRA Semily je podnik s bohatými zkušenostmi a s výrobním zařízením, které tuto technologii umožňuje provádět.

Poznámka :

Rád bych proto touto zprávou inicioval (finančně minimalizovanou) spolupráci mezi ČKD Slévárny, LIAZ a.s. vývoj motorů, TECHNOMETRA Semily a VUT Brno katedra materiálového inženýrství za účelem poznání vlivu zpevňování a optimalizace technologie zpevňování při zvyšování meze únavy ADI. Spolupráce je předběžně dohodnuta. LIAZ a.s. zabezpečí výrobu zkušebních tyčů a vzorků z odlitků, které zdarma poskytla slévárna ČKD (ing. Sýkora). Izotermické kalení a únavové zkoušky v rámci DP provede VUT Brno.

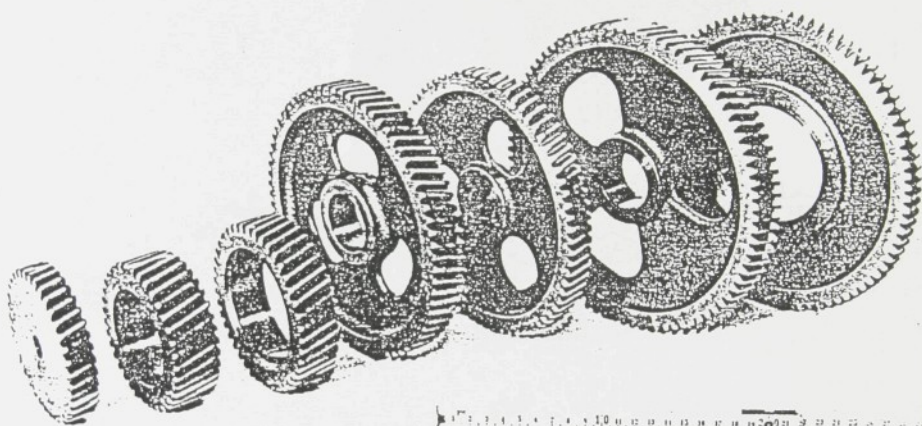
Vypracoval : Ing. Břetislav S k r b e k , CSc.

Ing. František V a n ě k

ved.výv. a zkuš.odd.
a výv.dílen

LITERATURA

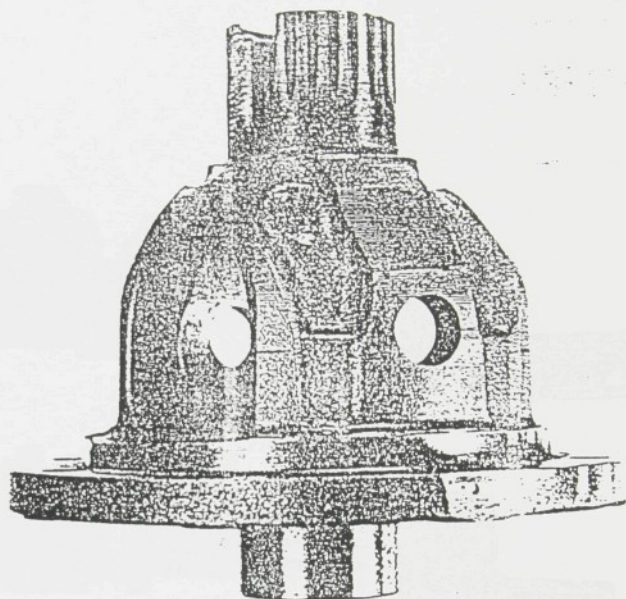
- [1] Georg Fischer : Austempered ductile iron, publikace 1984.
- [2] Weiss Jan : Obravitelnost bainitické tvárné litiny soustružením a broušením. Zpráva Z-89-5985. SVÚM Brno.
- [3] Mayer H. : ADI - Eigenschaften und Anwendungen, VDI Berichte NR.670, 1988.
- [4] Röhrig K. : Isotermisches Umwandeln von Guss Eisen mit Kugelgraphit in der Bainitstufe, HTM, 2/1984.
- [5] Mannes, Hornung, Rettig : Erprobung von Zahnrädern aus bainitischen Guss Eisen mit Kugelgraphit - Erfahrungen mit unlegierten Kugelgraphit Gussqualitäten, Mitteilung aus dem Ressort Forschung, G+F CH-8200 Schaffhausen.
- [6] Váchet St. : Čhování tvárné litiny v podmínkách únavového zatěžování, kandidátská disertační práce VUT Brno, 1989.
- [7] QIT - Fer et Titane Inc. : Ductile Iron Data for Desing Engineers.
- [8] Skrbek, Bárta : Využití bainitické tvárné litiny na díly motoru, Hutnické listy 1983/10, s.722-5.
- [9] Skrbek : podnikový úkol M7-6-79, závěrečná zpráva, LIAZ Jablonec n.N., leden 1983.
- [10] Skrbek : Kola rozvodu z tvárné litiny - vyhodnocení báhových zkoušek, zpráva 274-7-83 LIAZ.
- [11] Skrbek, Habětíněk, Linhart, Bárta : Náboje kardanů z bainitické tvárné litiny, CONMET '92 - mezinárodní konference při MBV 92.
- [12] Bárta : Mechanické vlastnosti ADI bez použití solné lázně, práce dle HS 304000, VUT Brno 7, 1990.
- [13] Pechmanová : Porovnání strukturních vlastností ADI po izotermickém zakalení ve fluidní vrstvě a soli AS 140, zpráva dle HS 3260234 SVÚM Praha 4. 1991.



235°C 460°F

Steuerräder

Timing Gears



Ausgang

Output

235°C induktiv

460°F inductive

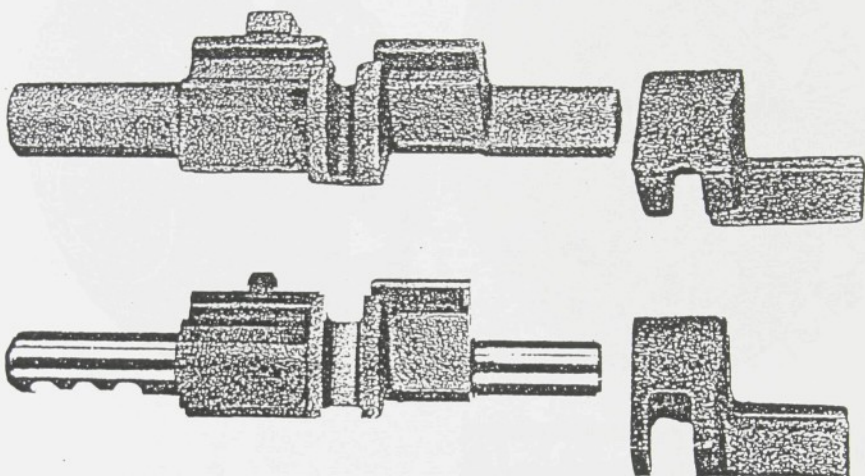
Schaltezeit, Wärmegrad

Differetialgehäuse

Differential House

Sperrdifferential

Limited Slip Differential

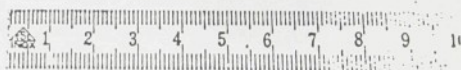
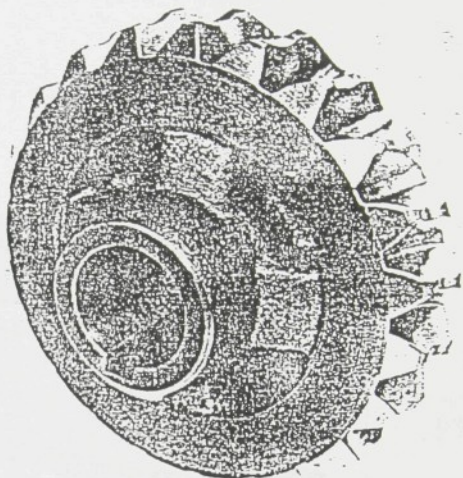
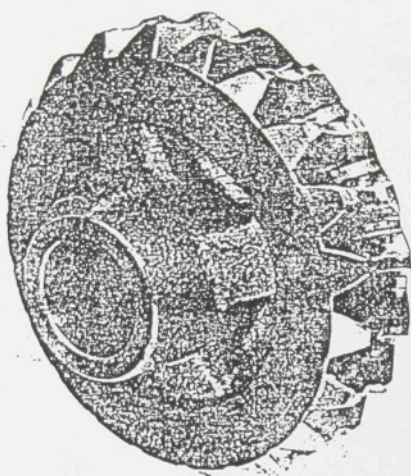


Schaltarm , Wahlbock

PKW Getriebe

Bellcrank

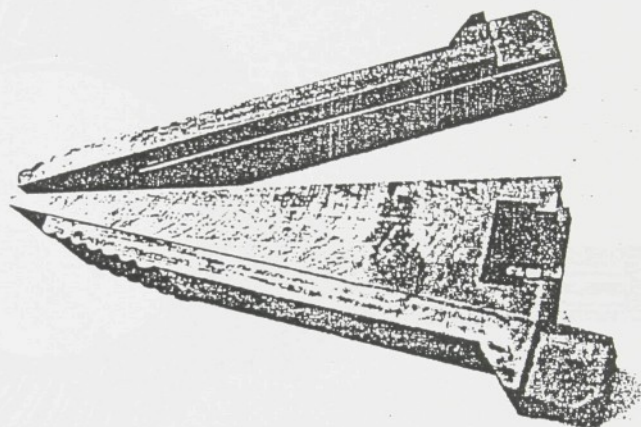
Car Transmission



235°C 460°F

Schneckenräder

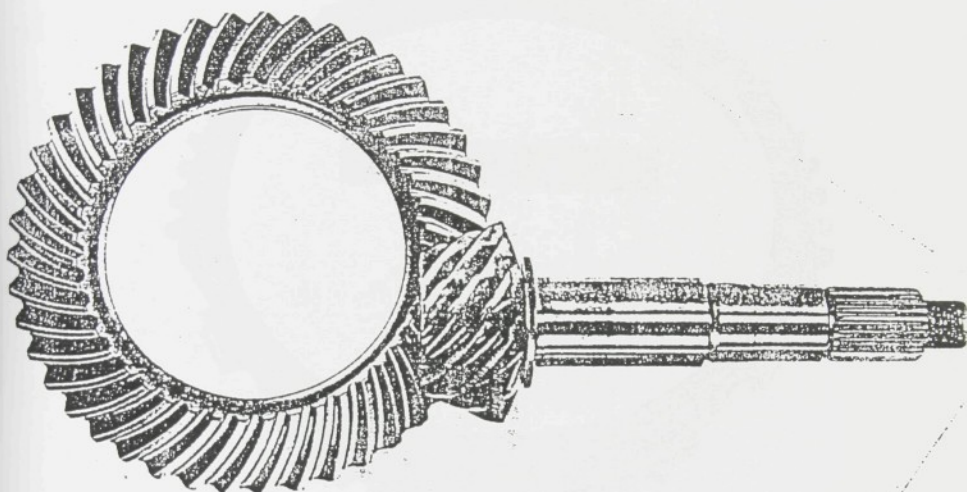
Worm Gears



280°C 520°F

Spreitzerzangen
für Abtrennen
von Speisern

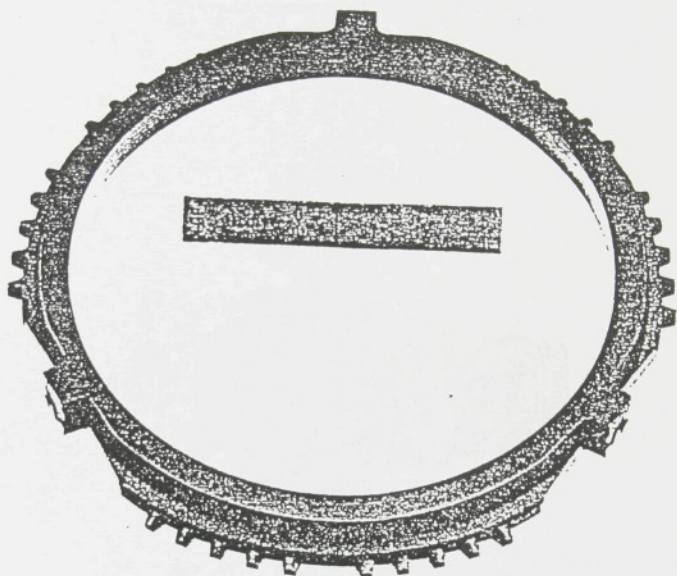
Arms of a wetch
for removing
ingates on Ductile Iron



260°C 500°F

Antriebsrad
Differential

Crown Gear
Differential



290°C 550°F

Synchronring

LKW Getriebe

Synchronizer

Truck Transmission



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Luftkompressor

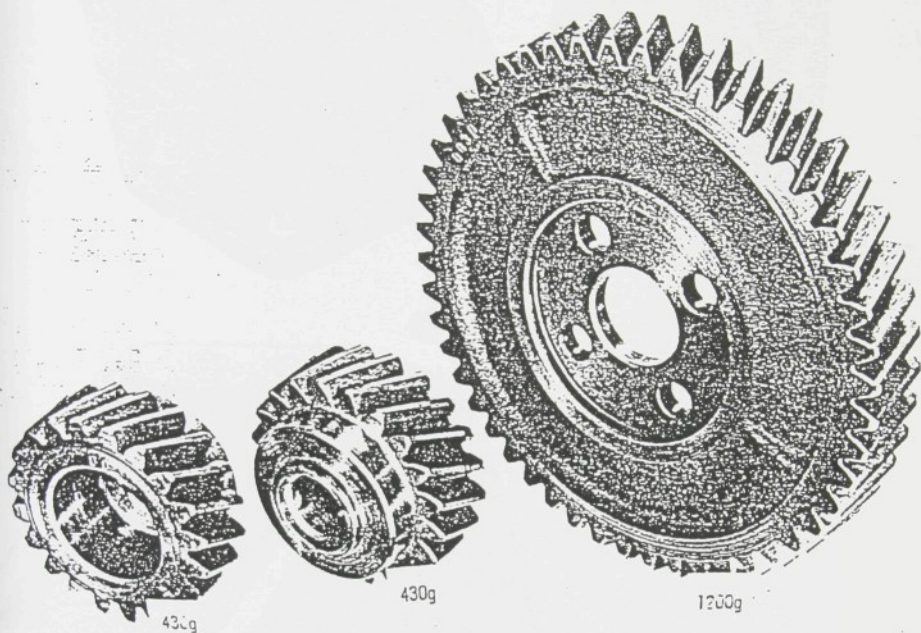
235°C 460°F

Kettenräder

Sprocket

Umlenkgetriebe

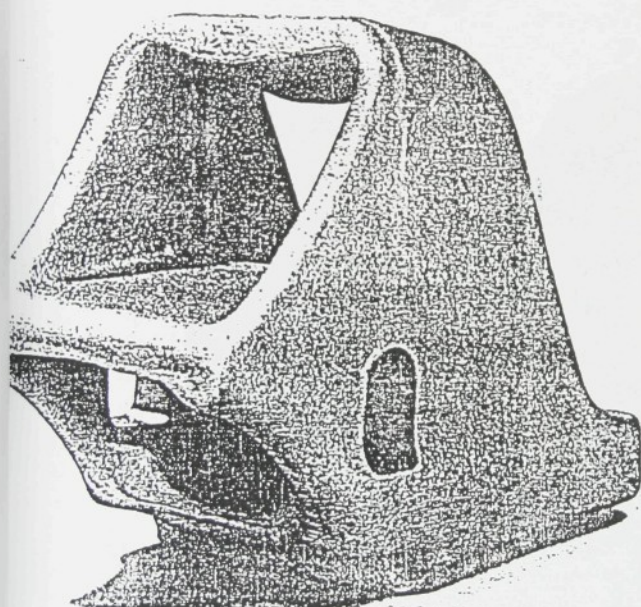
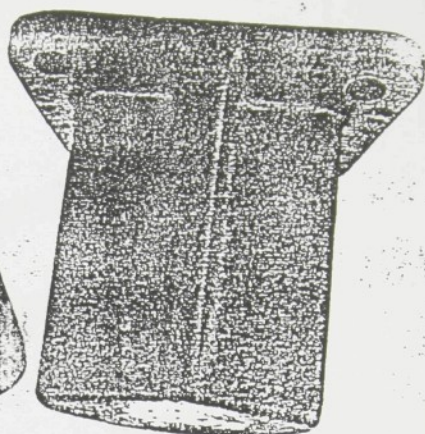
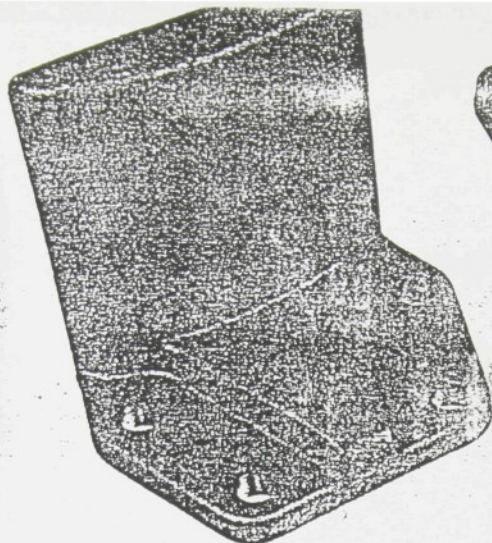
Transmission



235 / 275°C 450 / 500°F

Antriebsräder
Luftkompressor

Gears
Air Compressor



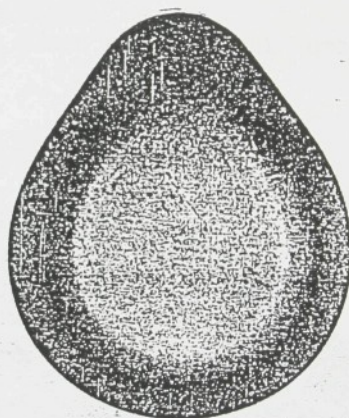
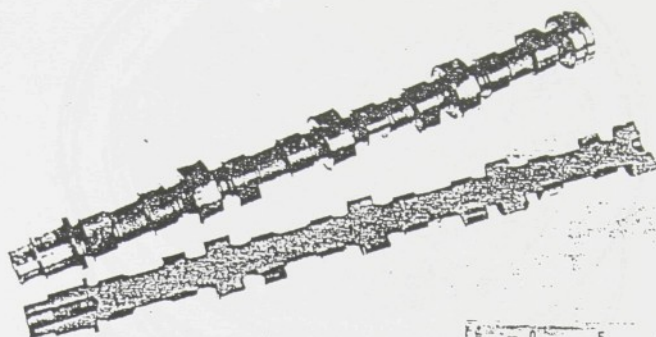
380°C 720°F

Federauflagen

LKW

Spring Suspension

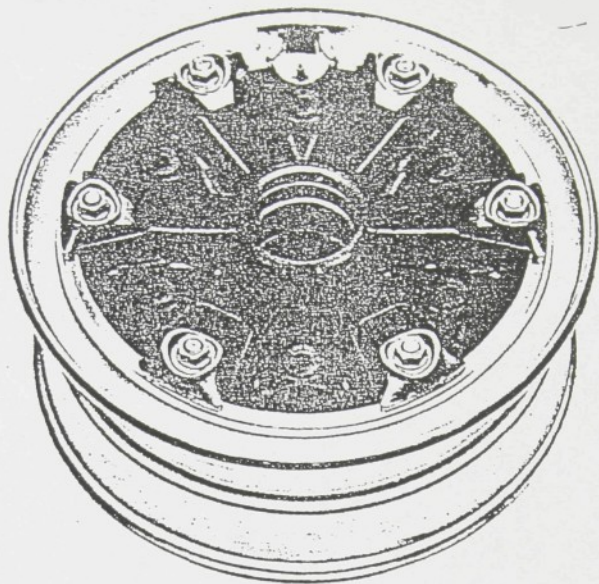
Truck



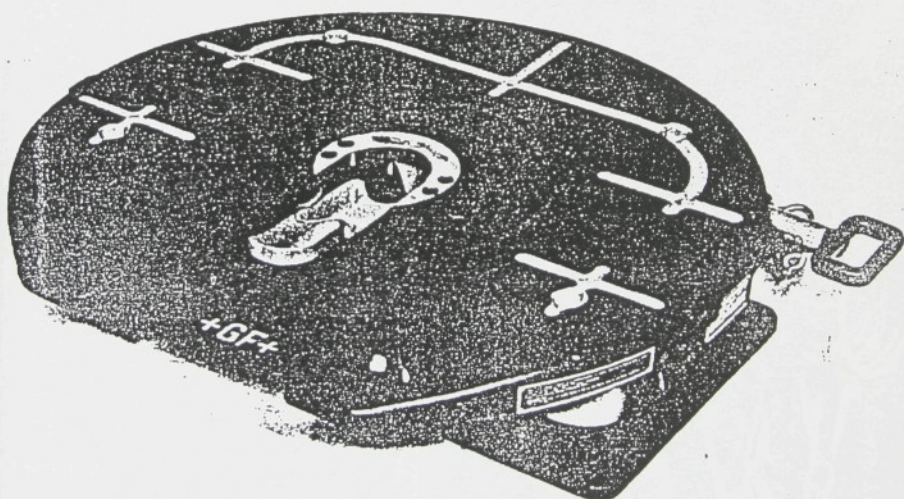
GTS / Malleable
235°C 460°F inductive

Nockenwelle

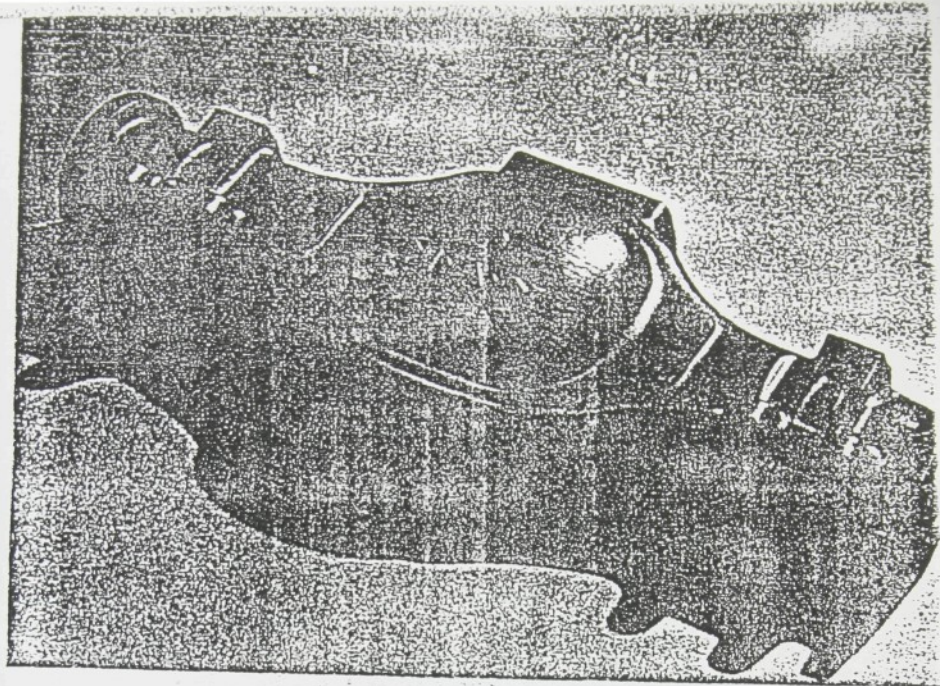
Camshaft



Obr. 8 BEZDUŠOVÝ RÁPEK S NÁBOU PRO NÁKLADNÍ AUTOMOBILY

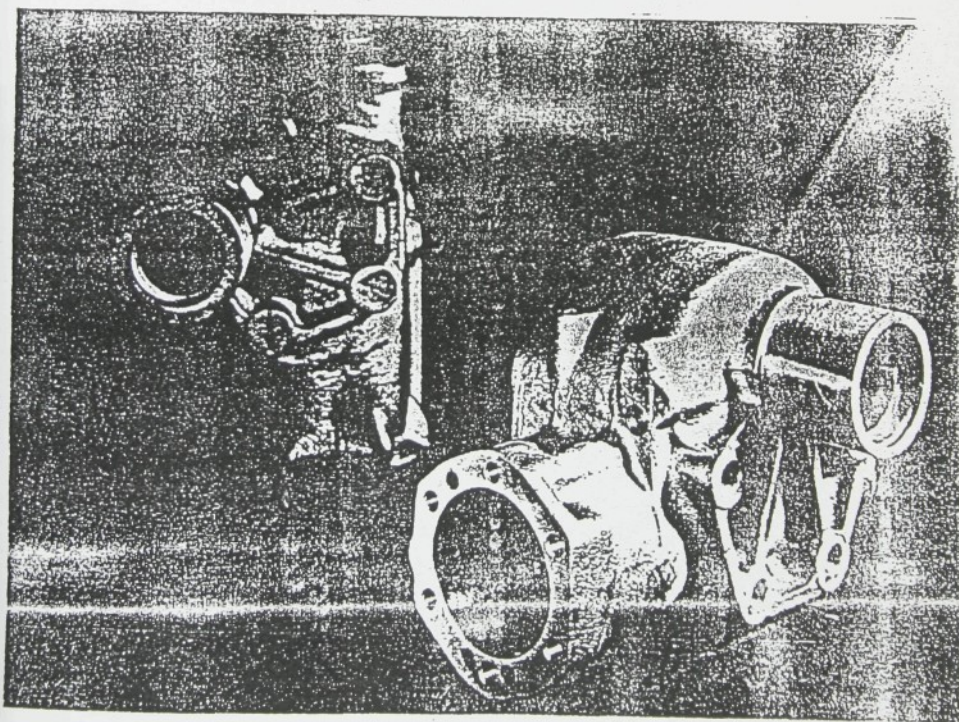


OBR. 9 SEDLOVÁ SPOJKA



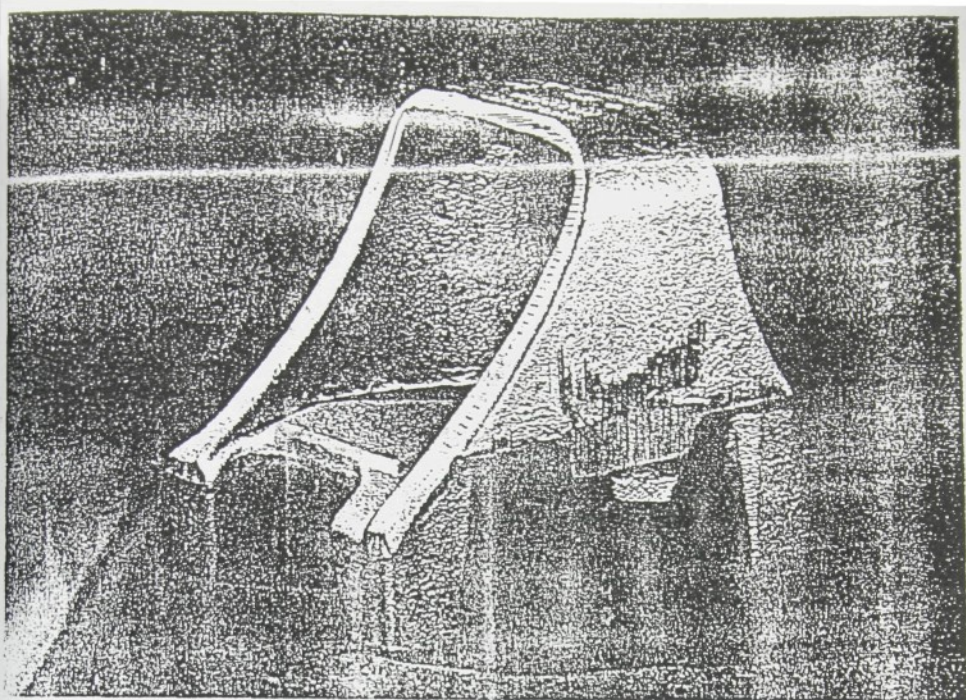
Obr. 10

MOST ZADNÍ NÁPRAVY

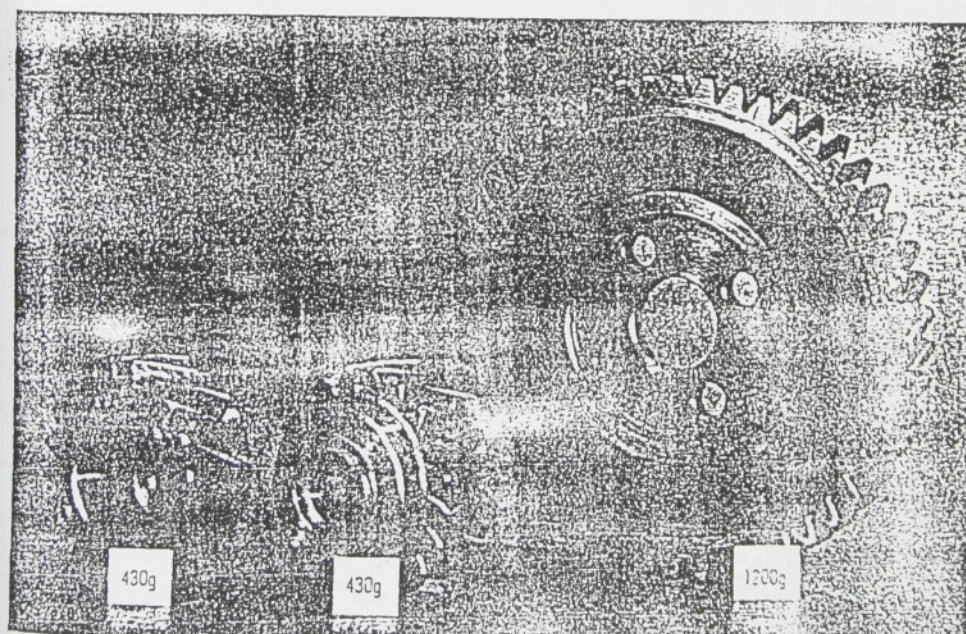


Obr. 11

ŠKŘÍŇ HYDRAULICKÉHO ŘÍZENÍ - VERMICULÁRNÍ LITINA

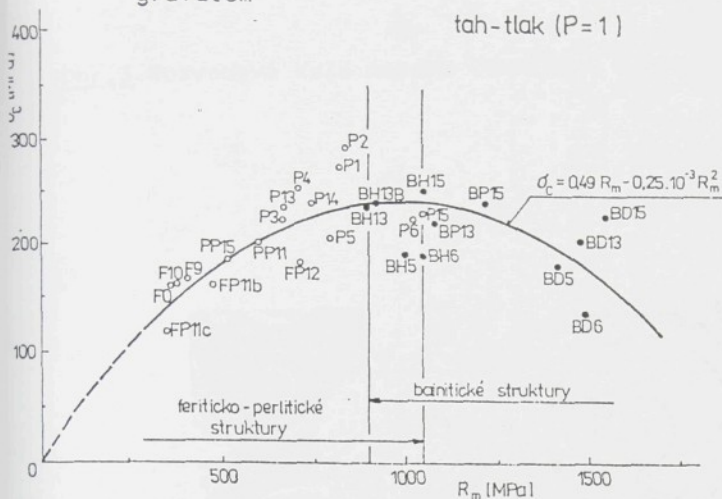


Obr.12 ZÁVĚS PER PRO NÁKLADNÍ AUTOMOBIL BAINITICKÁ LITINA



Obr.13 OZUBENÁ KOLA - BAINITICKÁ TVÁRNÁ LITINA (ADI)

Obr.1 Závislost meze únavy $\tilde{\sigma}_c$ při zatěžování symetrickým cyklem tah-tlak na pevnosti R_m litiny s kuličkovitým grafitem



Obr.2 Závislost přeměny zbytkového austenitu na plastické deformaci

Přeměna zbytkového austenitu A na martensit plastickou deformací u isothermicky kalené tvárné litiny (ADI).

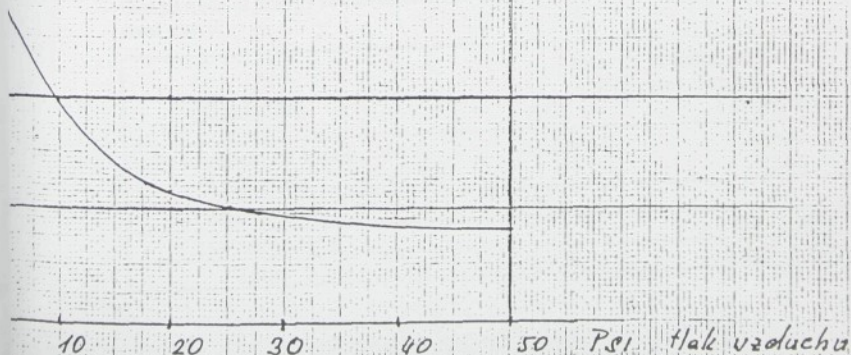
ADI 3,42% C 2,89% Si 0,48% Mn
„horní bainit“

VACU BLAST

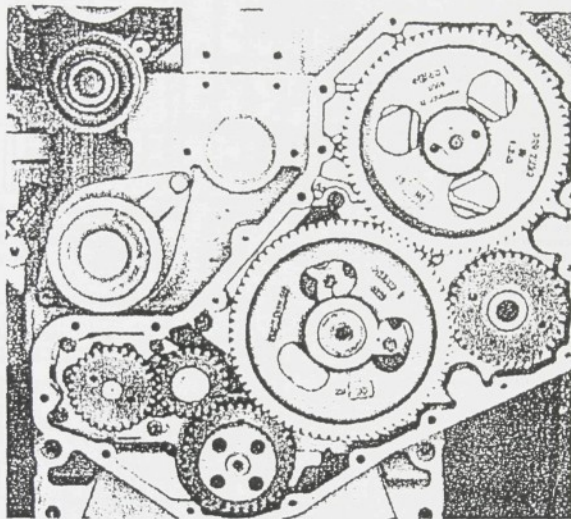
Š170 (ϕ 0,4; 500 HV)

vzdál. trysky 350 mm

posuv trysky 200 mm/min



Obr.3 Rozvodová kola motoru CUMMINS B z ADI



ADI Timing Gears for Cummins B-Series diesel engines. Replaced forged and case carburized 1022 steel with 30% cost saving.

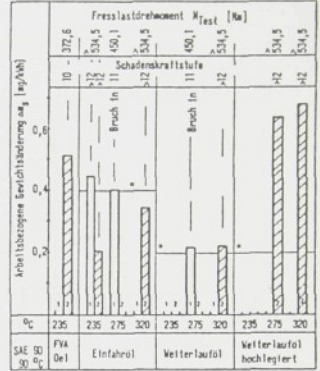
Comparison of energy requirements for the production of ADI and forged and carburized steel gears.

Operation	Energy consumption kWh per Tonne	
	ADI	Forged steel
Production of blank	2,500	4,500
Annealing		500
Austempering	600	—
Case-hardening	—	800-1,200
Total	3,100	5,800-6,200

Obr.4 Vypočtené hodnoty napětí ozubených kol z oceli a litin

Werkstoff		Zahnflanke		Oberfläche	Zahnfuß			Kern
Kurz- zeichnung Sorte	Gefüge Oberflächen Behandlig.	Härte HB (HR _C)	Wälzf. K _D N/mm ²		Schlag- Kraft [N] p _{dyn}	Festigkeit [N/mm ²] Dauer σ _{VD} ¹⁾	stat. σ _{VB} ¹⁾	R _m
TS 25	Perlit	~ 200	3,3	↑	—	67	330	250
TS 35	Ferrit	~ 145	1,8	—	—	225	1000	350
3G 40	Ferrit	~ 170	2,4	b) ± gefräst b) ± 1 % Schürdenfläche	—	286	990	400
	Ferrit/Perlit	~ 210	3,3		—	206	1290	500
	Perlit/Ferrit	~ 230	4,4		—	286	1300	600
	Perlit/Ind.H. ²⁾	(55)	35		—	286	830	600
	Perlit	~ 250	8,5		—	255	1320	700
3G 80	Vergütet	280	21	± 1 % Schürdenfläche	—	291	1400	900
		290	—		—	480	1600	800
90	Bainit ³⁾	260–310	40	0,5 % Schürdenfläche	35 000	525	1520	900
(46–51)		—	25 000		400	1280	1000	
350–390		35	50 000		460	1940	1200	
(43–47)		36	40 000		430	1940	1400	
260–310		—	35 000		325	1520	900	
(46–51)		40	25 000		235	1280	1000	
350–390		35	50 000		310	1940	1200	
(43–47)		36	40 000		250	1940	1400	
290–350		36	—		294	1620	980	
52		vergütet	150		2,0	↑	—	270
45	185		6,0	↑	—	230	1350	650
CrMo4	265		8,0	↑	—	315	1400	900
CrMo4	640		32	↑	—	440	1500	900
MnCr5	0,35 mm A ₂	(58–63)	~ 50	a) ↑ geschabt	49 000	630	1500	~ 980
MnCr5		(58–63)	~ 50		49 000	525	1500	~ 980
CrNiMoG		720	50		54 000	470	2000	1000

◀ Tabelle 2: Zahnradkennwerte von Guß- und Stahlwerkstoffen, geprüfte Werte und Literaturwerte

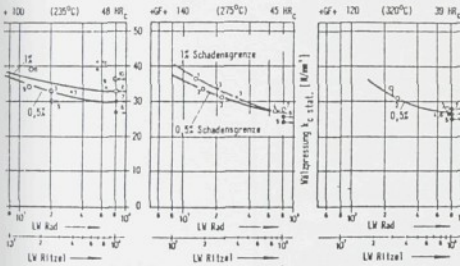


Paarung: 1 Gussritzel / Gussrad
2 Gussritzel / Stahlrad (Einsatz 194Cr5)
* max. zulässig nach DIN 51 354 Blatt 2

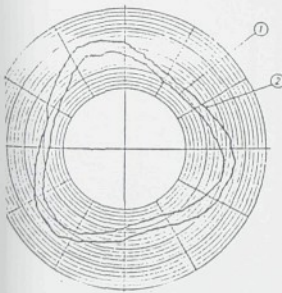
9: Werkstoffpaarung, Hypoid-Ölarten sowie Ergebnisse der Verschleißuntersuchungen im FZG-Zahnradkurztest nach DIN 51 354, Blatt 2

nach Niemann, geprüfte Werte (10 % Ausfallwahrscheinl.)
Einzelzahn Randschichthärtung auf Martensit
Hertzische Pressung $P_H = 1490$ bis 1560 N/mm²
 $k = 2,86 \cdot P_H^2 / E$

Dauerwählfestigkeit $k_{c, stat.}$ für die GGG-Bainit-Varianten +GF+ 100, 3F+ 140 und +GF+ 120



Statistische Auswertung des gesamten Stichprobenumfangs eines Punktes am Antriebskegelrad



20 μm

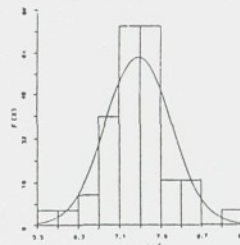
11: Wachstum des Tellerrad-Innendurchmessers
(1) - vor der Wärmebehandlung, (2) - nach der Wärmebehandlung

12: Mehrstufenversuche an Radsätzen aus GGG-Bainit am FZG-Hypoid-Verspannungsprüfstand

Normalverteilung

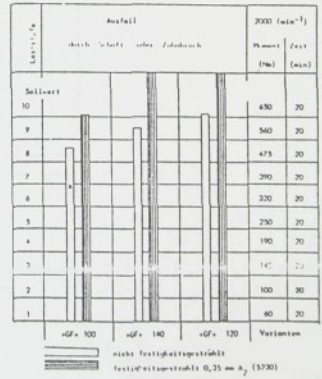
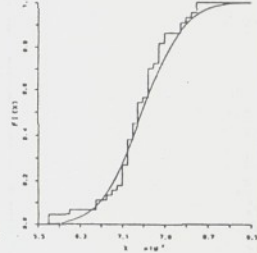
μ = 0,0747
σ = 0,0064

Dichte



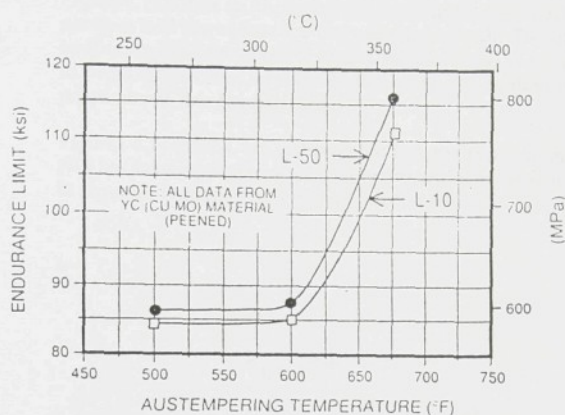
Verteilungsfunktionen

Empirisch und Geschätzt



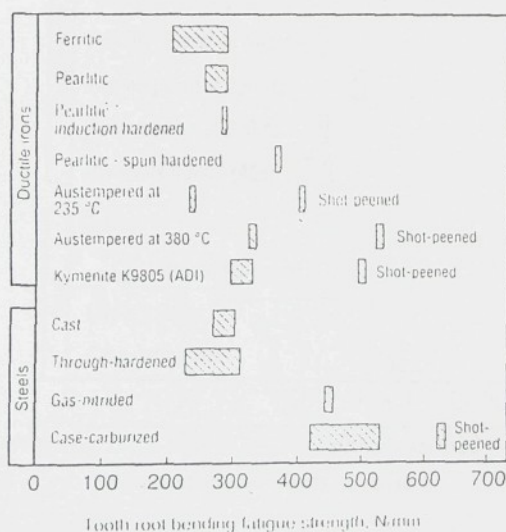
Obr.5 Mez únavy v ohybu materiálů na ozubená kola

Figure 4.13



Relationship between fatigue endurance limit of peened ADI and austempering temperature.

Figure 4.14a



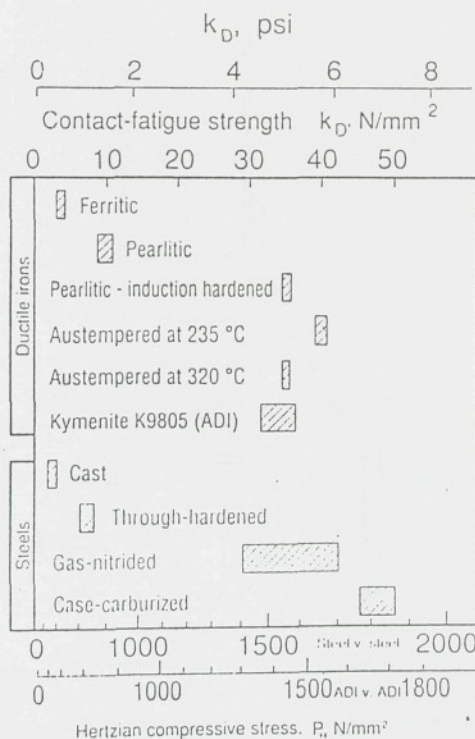
Comparison of bending-fatigue strength of ADI with those of conventional Ductile Iron and steels used for gear applications.

Obr.6 Porovnání Hertzových tlaků při záběru kol z ADI, ocelových nitridovaných, kalených a cementovaných

Figure 4.13 shows an important relationship between austempering temperature and the endurance limit of peened ADI. The dramatic rise in endurance limit above 600°F (315°C) is related to the increased response to peening resulting from the higher austenite content in ADI austempered above this temperature.

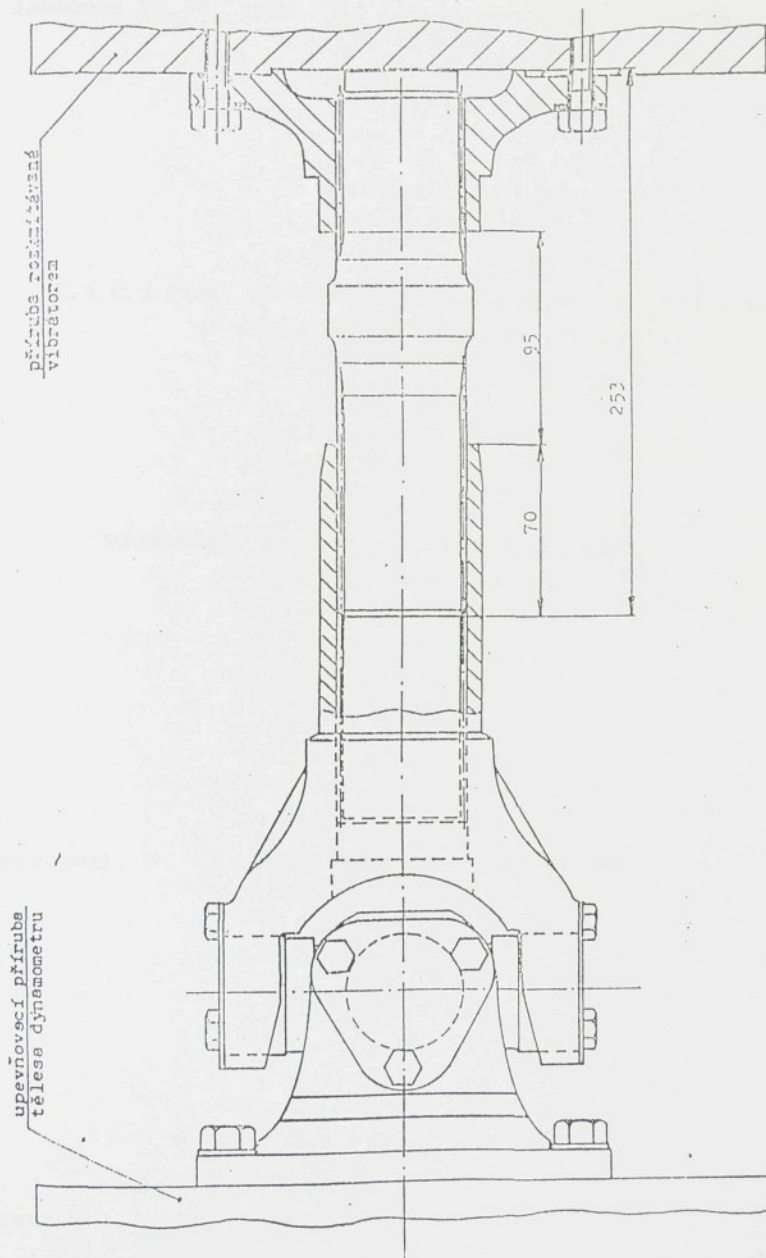
Figures 4.14a and 4.14b indicate that for gear applications, shot peened ADI has bending and contact fatigue properties equivalent to or superior to through-hardened and gas-nitrided steels.

Figure 4.14b



Comparison of contact fatigue strengths of ADI with those of conventional Ductile Iron and steels used for gear applications.

Obr.7 Únavové zkoušky posuvného náboje a náboje s přírubou
kardanů vozů LIAZ



v Jablonci 20. 7. 1995

LIAZ 18 - 790

Litina s kuličkovým grafitem
v dílech vozů LIAZ

Přehledová zpráva o stavu k 30.6. 1995.

Zpáva č.: 950703

Vzpracoval:

Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Stran: 5

1. Úvod

Tato zpráva velmi stručně informuje o stavu aplikací litiny s kuličkovým grafitem na součástech motorů a vozů automobilky LIAZ a. s. Navazuje vlastně na práci [1], která shrnuje výsledky aplikací a vývoje za období 1972 až 1985.

Podrobnosti uvádí dílčí zprávy z let 1985 až 1993. V současnosti nejsou prostředky na aplikační vývoj v oblastech, které uvádím na závěr.

Informace popisují v členění podle konstrukčních skupin a nikoliv jakostí materiálu či doby, i když na voze byly aplikace prováděny postupně v jednotlivých konstrukčních skupinách najednou obvykle týmovou spoluprací s konstrukcí a technologií.

2. V konstrukci vozu LIAZ

K aplikaci na základních dílech konstrukčních skupin jsem přistupoval v rámci úkolů rozvoje nebo hodnotové analýzy v týmech. Tím jsem zavedl potřebnou osvětu informací o litině s kuličkovým grafitem (dále LKG, neboli postaru tvárná litina) mezi techniky tak, že nyní se aplikace provádí na nových dílech automaticky, bez má přímé asistence.

Záměrně neuvádím čísla o spotřebovaných tunách litinových dílů za určité roky, neboť mírný nárůst výroby do r. 1989 vystřídal proměnlivý vývoj spotřeby až na desetinová množství těžko zpětně zmapovatelná.

2.1. Zadní náprava

V této skupině se realizovaly první součásti z "tváené litiny" pro sériovou výrobu. Realizace však byla v Bulharsku díky výrobní krizi v ČSSR první poloviny 80.let

Hlava kola	50kg	2ks/vůz
čelist brzdy	10,3	4
skříň difer. levá	7,1	1
pravá	21	1

celkem

cca 150kg

Snížila se hmotnost vozu o cca 30kg.

2.2. Přední náprava

Hodnotová analýza [3] a studie vlastní slévárny [4].

Čelisti brzd	7,5kg	4ks/v
Držáky č.	11,2	2
Hlava kola	26,5	2

celkem

101kg

snížení cca o 30kg (vhodnější řešení).

2.3. Rám

Držáky per [8]po 2ks/vůz.	42 2306
Přední předního pera	4,8kg
Zadní	3,6
Přední zadního p.	6,8
Z. d. z. p.	7

Při zkouškách odl. LKG litých na model pro ocel úspora jen 6kg. Na nové vozy řady 300 již optimální konstrukce.

Dodavatel odl. byla hlavně Transporta a ROSS.

Další díly:	Kluzná deska	3kg	2ks
42 2305	Válec	7,7	1
	Drž. stab.	5,3	2

2.4. Točna a budka

Točnu- 120kg odlitek bylo nutno spojit s deskou čepů 7,5kg v jeden odlitek (odstr. svar) a pak homologovat. Po r 1991 však i přes konstr. vyřešení vlivem nedostatku prostředků k vývoji nedošlo (ROSS Roudnice). 42 2304 za 42

2709.1

Nyní se nakupují točny cizí z GGG40 DIN1693 B1.1. (ROCKINGER ap.).

Budka: Závěs	4,1kg	2ks	42 2305
podložka	2,1kg	2	04

2,5. Kardan [6], [7]

Spolupráce s VUT Brno, mohu uvést řadu prací.

Nábojovitě díly-velká úspora hmotnosti, ale jen LKG ADI.

TZ osvojeno v ZTS Dubnica. 6 let jezdí 5 vozů s osazením kardanu náboji z ADI, přesto přístup LIAZ V. Krtíš je lhostejný k osvojení výsledku vývoje. Výkovky 12 060.7

Posuvný náboj	6,5kg	1ks
Náboj s přírubou	5,5kg	1ks
Náb. hřídele	6	1

Snížení hmotnosti o 50-150%.

2.5.Motor

Ozubená kola rozvodu nitridovaná LKG jen zkoušena [5].

Na motory EURO 3 (1996) cca 3 kola z ADI D po 2kg- odl. z AGROZET Jičín. Izotermické kal.od r.1997 ve vlastní kalírně.

Ostatní díly zavedené

Pouzdro náhonu vstřík.

čerpadla z ADI S	1 kg	1ks
Kroužek ax. ADI D	0,2kg	1ks
Mezikus	1,2	1 42 23 05
Náboj vent.	4,5	1 "
Konzola	2	1 "
Řemenice	5,1	1 42 2306
Potr. výfuková	8,7	1 42 24304
"	5,1	1 "
Držáky	3	2 "

Výše uvedené díly mají varianty.

3. Závěr.

Kromě rutinních aplikací LKG považují za nezbytné vyvíjet ADI se zvýšenou odolností vůči únavě (sek. transf. zb. austenitu plast def.).

Použitá literatura:

- [1] Aplikace tvárné litiny v n. p. LIAZ, zpráva pro materiálovou komisi při GŘ ČAZ, 1. 7. 1985.
- [2] Vývoj tvárné litiny jako konstr. materiálu pro dynamicky namáhané díly zadní nápravy, podnikový úkol rozvoje M7-4-74. Jablonec 1980.
- [3] Využití tvárné litiny na díly výrobků LIAZ, závěrečná zpráva projektu č.23 hodnotové analýzy, 1980.
- [4] Studie krytí potřeb tvárné litiny n.p. LIAZ, souhrnná zpráva k úkolu M7-4-81.
- [5] Využití progresivních metod tepel. zprac. na ozubená kola z tvárné litiny, zpráva z r. 1983.
- [6] Uplatnění tvárné litiny místo ocelových výkovek, závěrečná zpráva úkolu rozvoje H05-124-687,5/1989.
- [7] Optimalizace podmínek bainitického zušlechťování tvárných litin, zpr. 229-6-Sk/91.6/1991.
- [8] Držáky per z tvárné litiny, zpráva č. 027-01-B/91 úkolu rozvoje T-10-998.
- [9] Izotermicky kalená litina s kuličkovým grafitem..- zkušební zpráva s aplikacemi na nákladních vozech a motorech, souhrnná zpráva 5/1993.
- [10] Recenze výkresové dokumentace motoru M1.2C - litiny, informační báze, souhrn doplňků a námětů. Vypracováno 16.11.1993.

Autor výše uvedených prací Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

2. 9. 1996
Ing. B. Skrbek
Zpr. 960901L3

Hlava předního kola - dokumentace vad

ŠKODA LIAZ
10 - 223
Jablonec n. Nisou

Předmětem této zprávy je hlava předního kola výr. č. 1076 z ROSS Roudnice n. L. ozn. 13 vyřazená na vady odhalené obráběním v koutě ložiskové plochy náboje.

Materiál hlav je litina s kuličkovým grafitem 42 2305.

Hlava byla nejprve proměřena ultrazvukem a posléze byl stáčen na soustruhu náboj po min. 2mm vrstvách. Postupně odhalované vnitřní vady byly fotografovány.

Tato zpráva se předkládá graficky zpracovanou fotodokumentací. Tím se získala přibližná představa o prostorovém uspořádání slévárenských vad a jejich nebezpečí pro funkčnost hlavy.

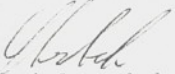
U fotografií je udána hloubka řezu od čela náboje a zmenšení. Čísla napsaná fixem na hlavách slouží k orientaci ech UZ kontroly. Fotografie 1-13 přísluší zprávě dokumentující vady hlavy jiného dodavatele.

Kromě ojedinělých vměstků dominuje v hlavě 1076 výskyt pásem ředin. Magistrální pásmo ředin (zasahuje cca 120° obvodu) se v koutě obrobené ložiskové plochy odhalilo v ploše, kterou v rovinné podobě ukazuje příloha 1B. Max. výška odhaleného pásma je asi $V=13\text{mm}$ v místě ozn. 13. Řez v ose pásma ukazuje příloha 1A. Souvislá největší staženina se nachází v místě 13 a o její velikosti dává představu příloha 1A a 2. Nevystupuje na obrobený povrch. Drobnější staženinky jsem neznázorňoval.

V příloze 2 řez 13 přísluší nejširšímu místu pásma ředin. Stěnu zde silnou asi 17mm zeslabuje na 6,5mm. Pevnost ředinatého pásma dosahuje sotva hodnot pevnosti šedé litiny. Řez 15 ukazuje místo s největší osovou výškou pásma (asi 35mm). Dalšími řezy bylo možno prostorově ztvárnit celé pásmo ředin.

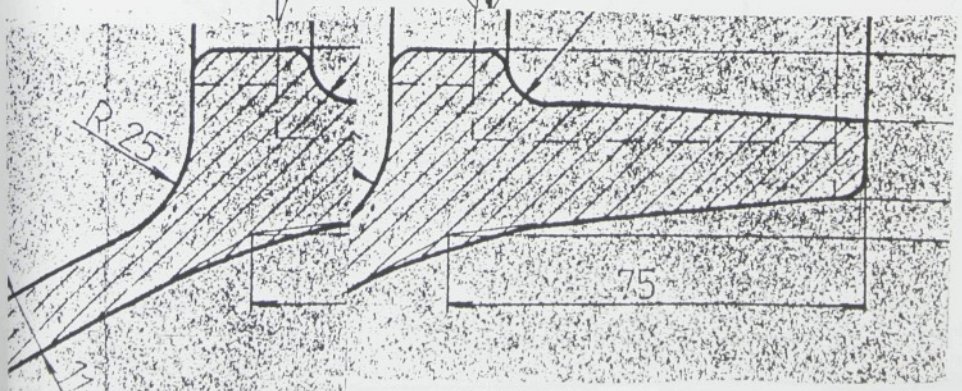
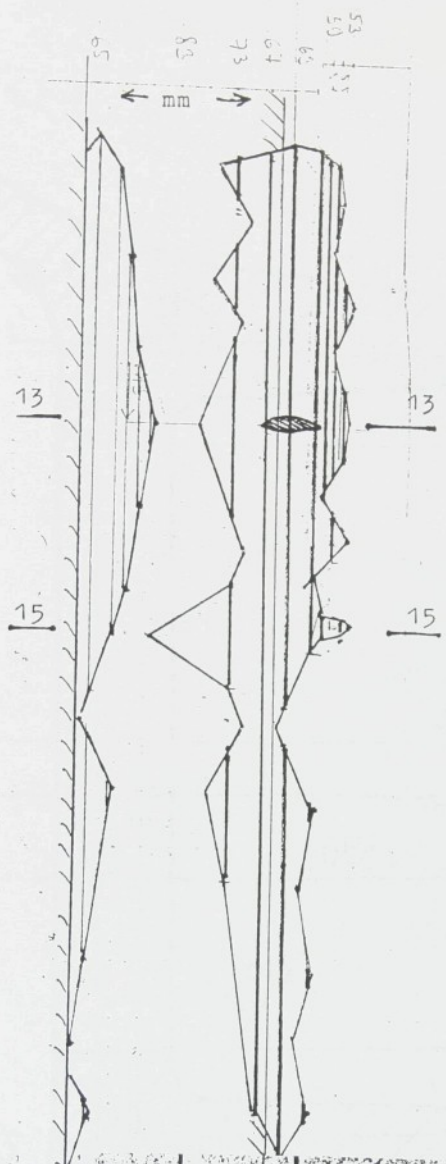
Z rozboru jedné hlavy nelze usuzovat na obecný vztah objemu vadového pásma (a zeslabení stěny) k velikosti plochy vad odhalené obráběním.

Vypracoval

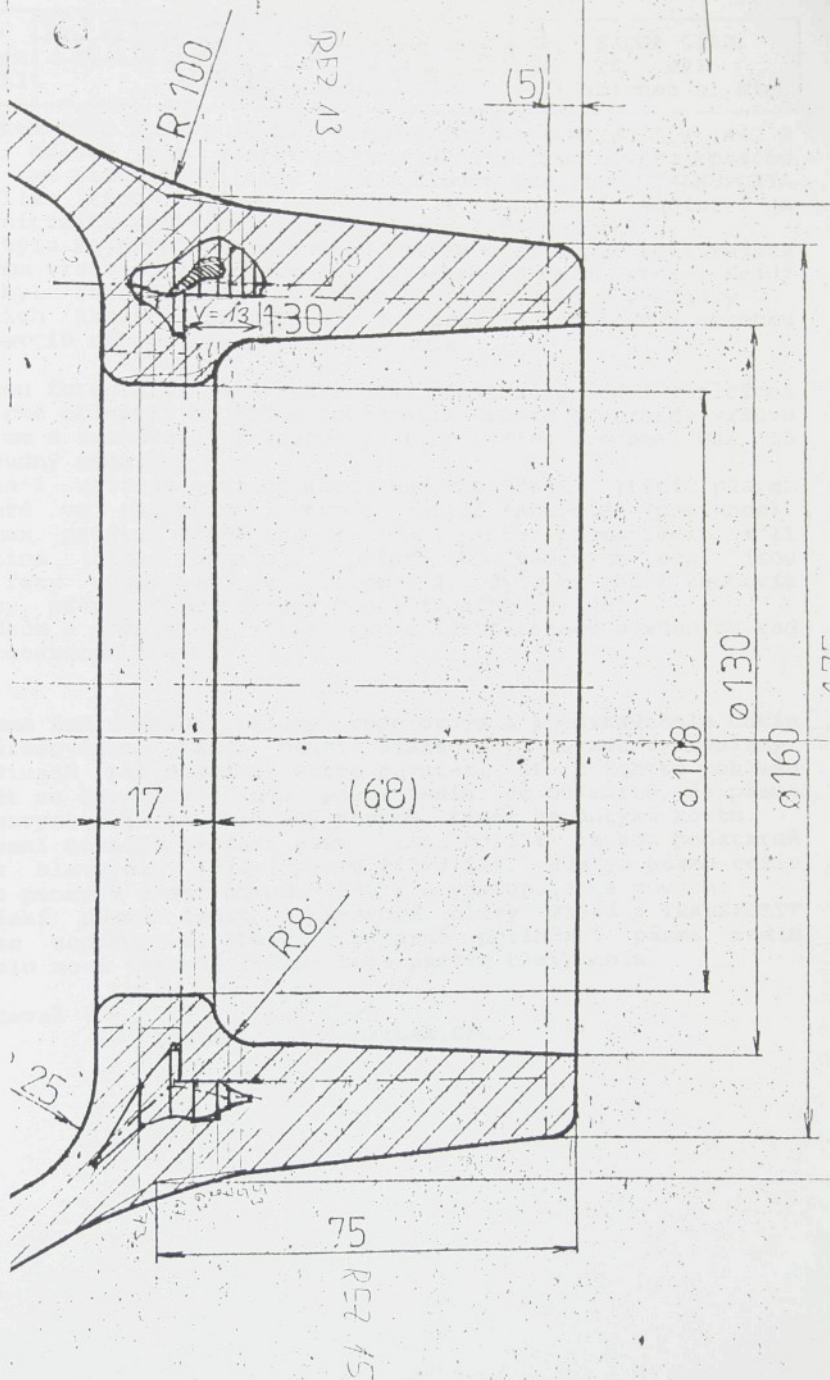

Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

1A

1B



Řez 13



960901L3

4. 9. 1996
Ing. B. Skrbek
zpr. 960902L3

Hlava předního kola TRANSPORTA - vnitřní vadý, nález

ŠKODA LIAZ
10 - 223
Jablonec n. Nis.

Předmětem této zprávy je hlava předního kola M1388 č.v. 442 2 2301 020 5 odlitá jako vzorek po zavedení jejího nového způsobu nálitkování ve slévárně litiny s kuličkovým grafitem TRANSPORTA Chrudim. Cílem této zprávy je nález a zachycení množství a velikosti vnitřních vad v kritickém průřezu (Příloha 2).

Hlava byla nejprve kontrolována ultrazvukem a pak soustružena 16. 8. po 2mm vrstvách v intervalu <50;76>mm od čela náboje. Každý nový řez byl fotografován. V této zprávě uvádím výsledky destruktivních zkoušek promítnuté do profilu odlitku a obrobku ložiskové partie náboje hlavy předního kola.

Analýzou fotografií jsem vypracoval prostorový model rozložení vad v kritické oblasti. U každé fotografie uvádím odebranou vrstvu od čela v mm a zmenšení, v kterém je fotografie uvedena. Obr. 10 vynechán (vadný negativ).

Příloha 1 ukazuje rovinný model osového řezu vnitřním pásmem ředin, které ve skutečnosti tvoří jadýsi "anuloid" (prstenec). V místech max. průřezu pásma ozn. 3 - max. průřez pásma ředin, a 11 - max. dutina (čísla označují pořadí UZ vadových ech) jsou provedeny řezy vyobrazené v příloze 2. Bylo by možné zhotovit i další řezy, případně prostorový model (značně pracné).

Výsledkům a možnostem ultrazvukové identifikace uvedených vad věnuji samostatnou zprávu.

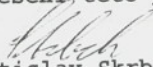
Shrnutí

Pásma ředin uvádí přílohy vodorovným a představitele dutin křížovým šrafováním. Další menší staženinky nejsou vykresleny. Pevnost ředinaté LKG dosahuje sotva pevnosti ŠL, z tohoto pohledu nutno hledět na škodlivý účinek pásma ředin. Je důležité, že pásmo ředin již nevystupuje na obrobený povrch, téměř se dotýká koutu.

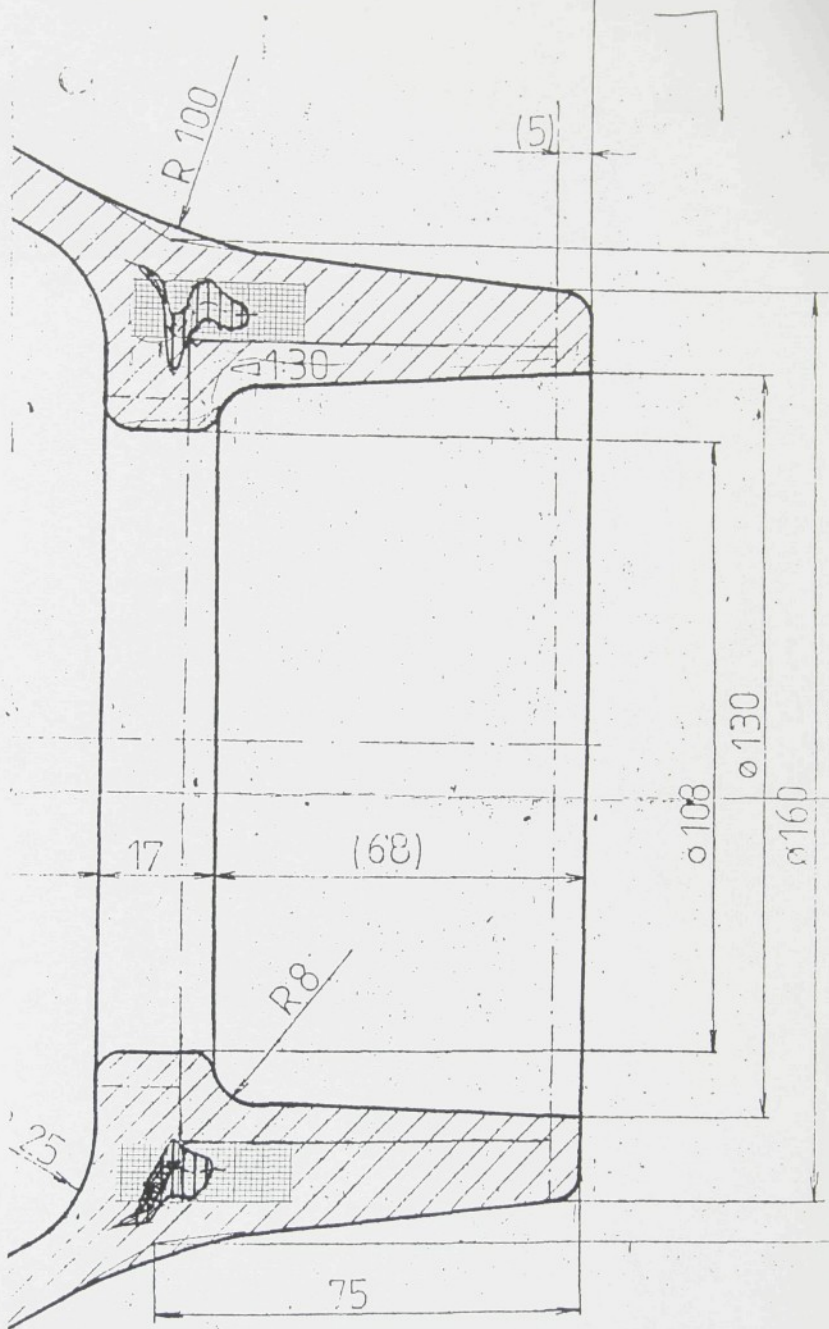
Zeslabení nosného průřezu stěny (max. cca 25%) je zde podstatně menší než u hlavy ozn. 1076 (zpráva 960901L3), kde je pásmo ředin soustředěno pouze v části obvodu (120°) a vystupuje na povrch.

Rozložení pásma ředin u Vzorové hlavy M1388 z TRANSPORTY považují za uspokojivé. Další výrazné potlačení pásma ředin by vyžadovalo nové tvarové řešení této partie hlavy kola.

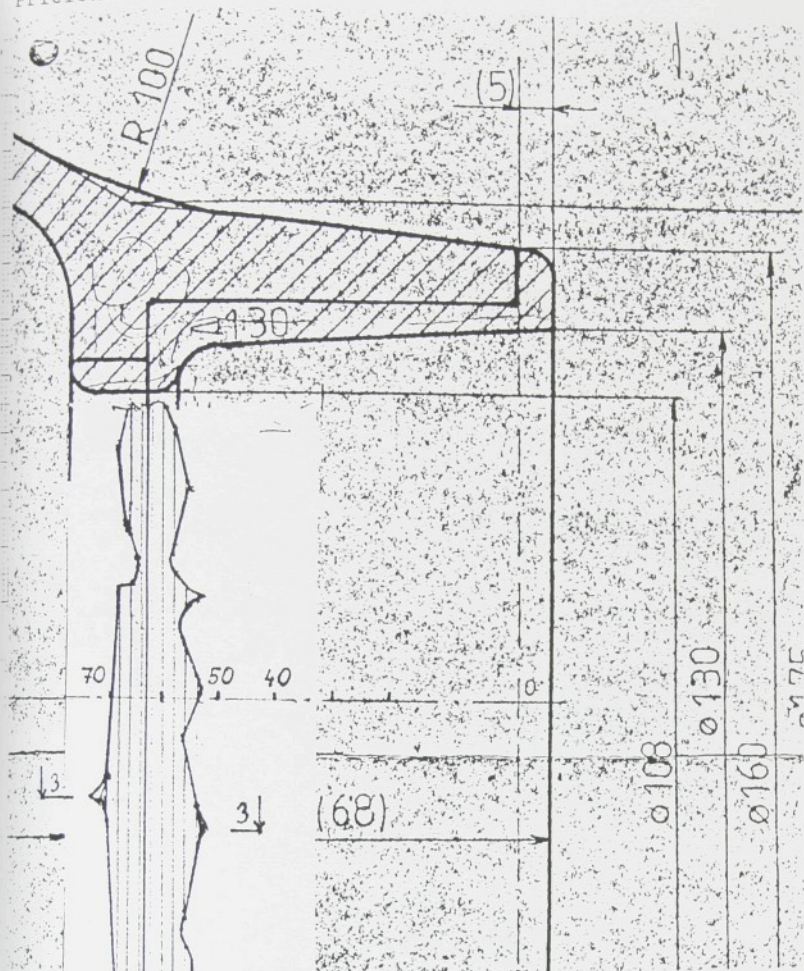
Vypracoval


Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

2A...ŘEZ 3



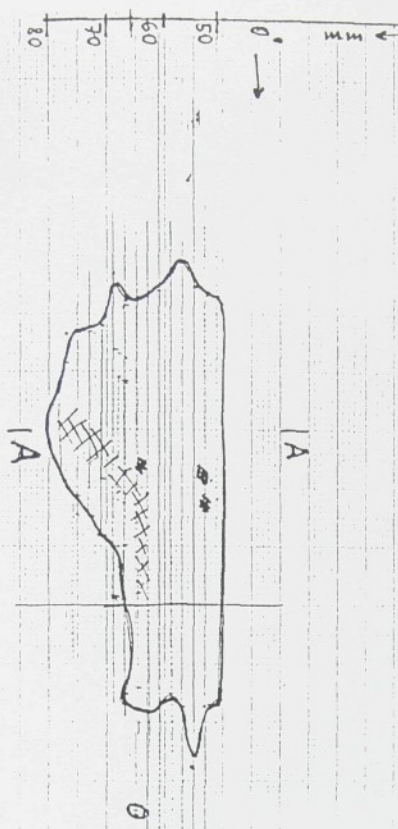
2B... ŘEZ 11



SKODA

$\rho = 11.50 = \gamma_{23} \cdot \pi D = 4 \times 10^{-2}$ *skladba* *skladba*

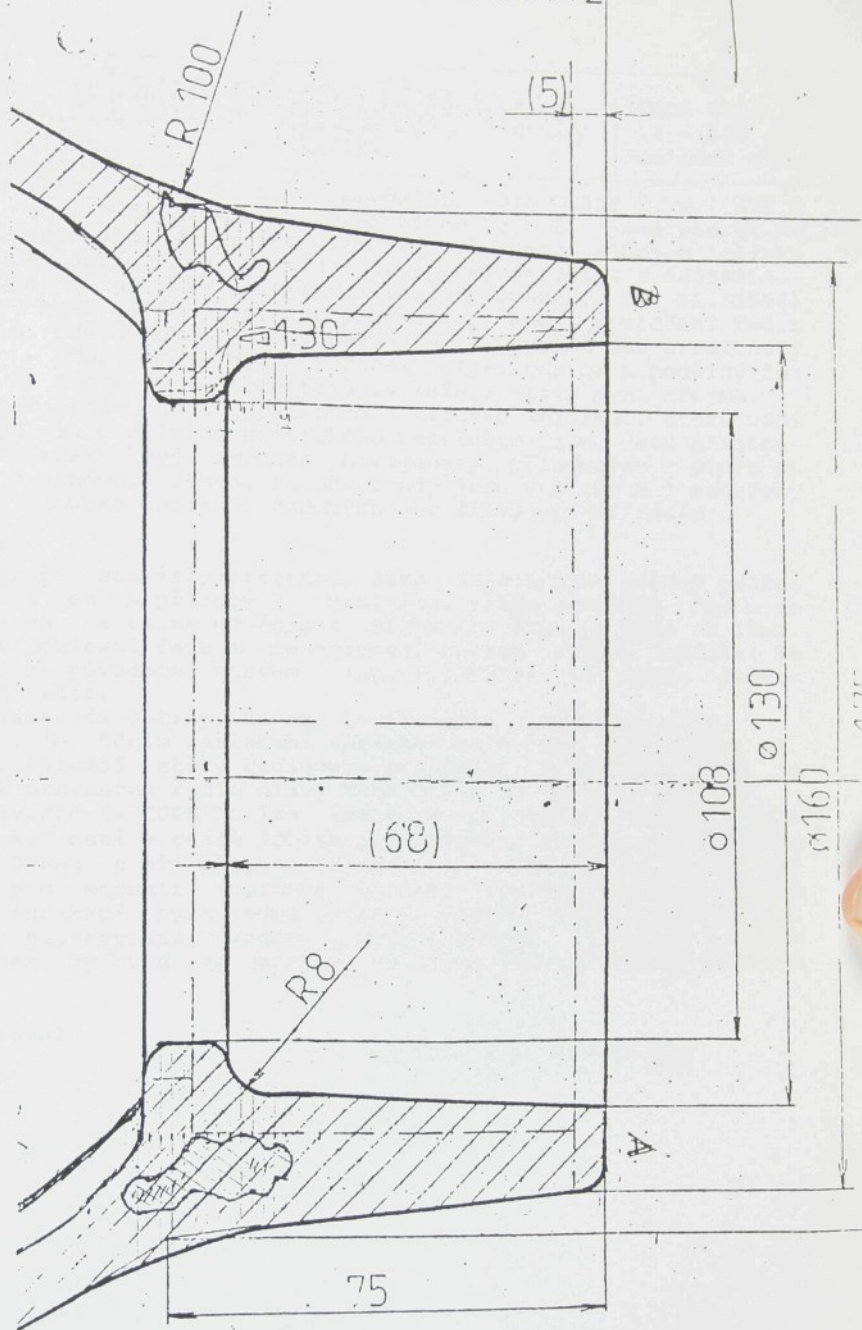
$\phi_{11.6} \cdot \pi = 4.58$
CELO NÁBOJE
 VLAHY



VNĚŠÍ ZNAK

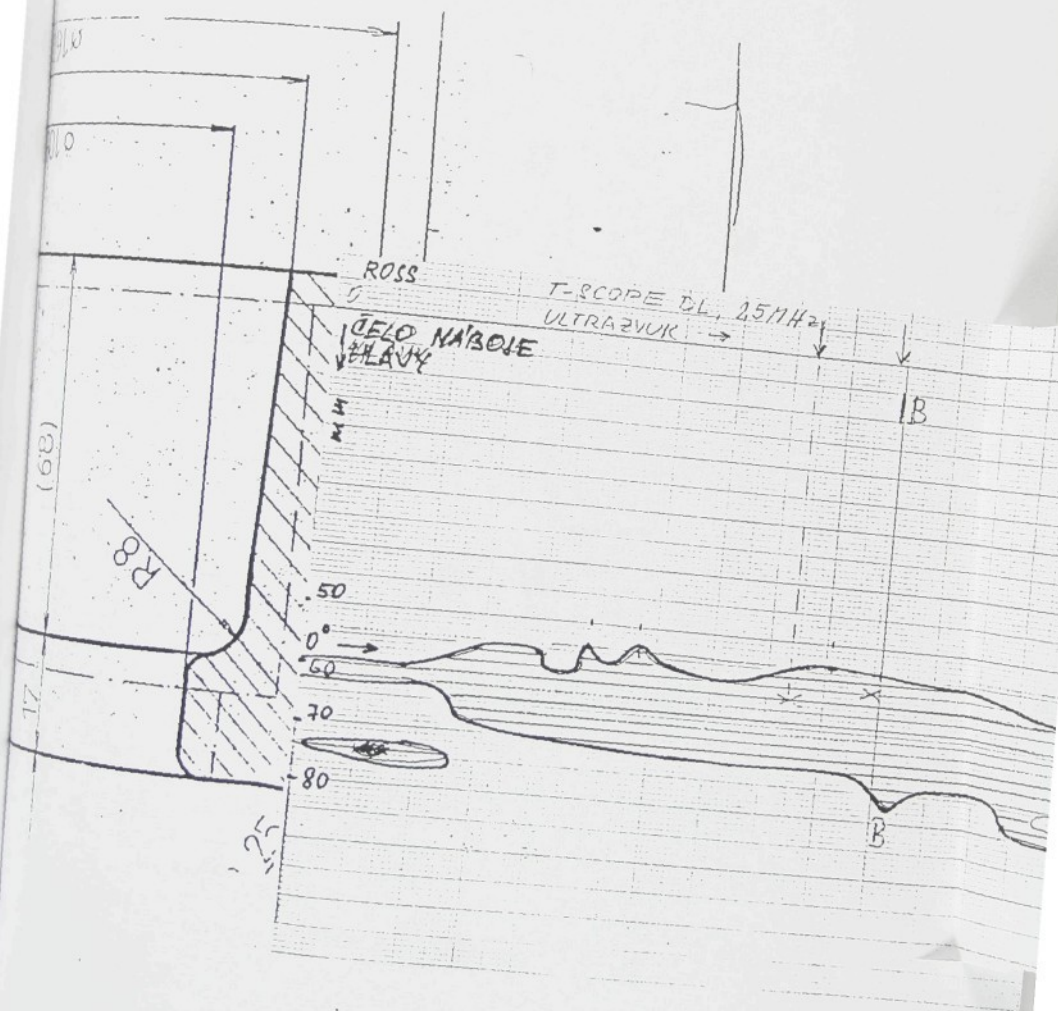


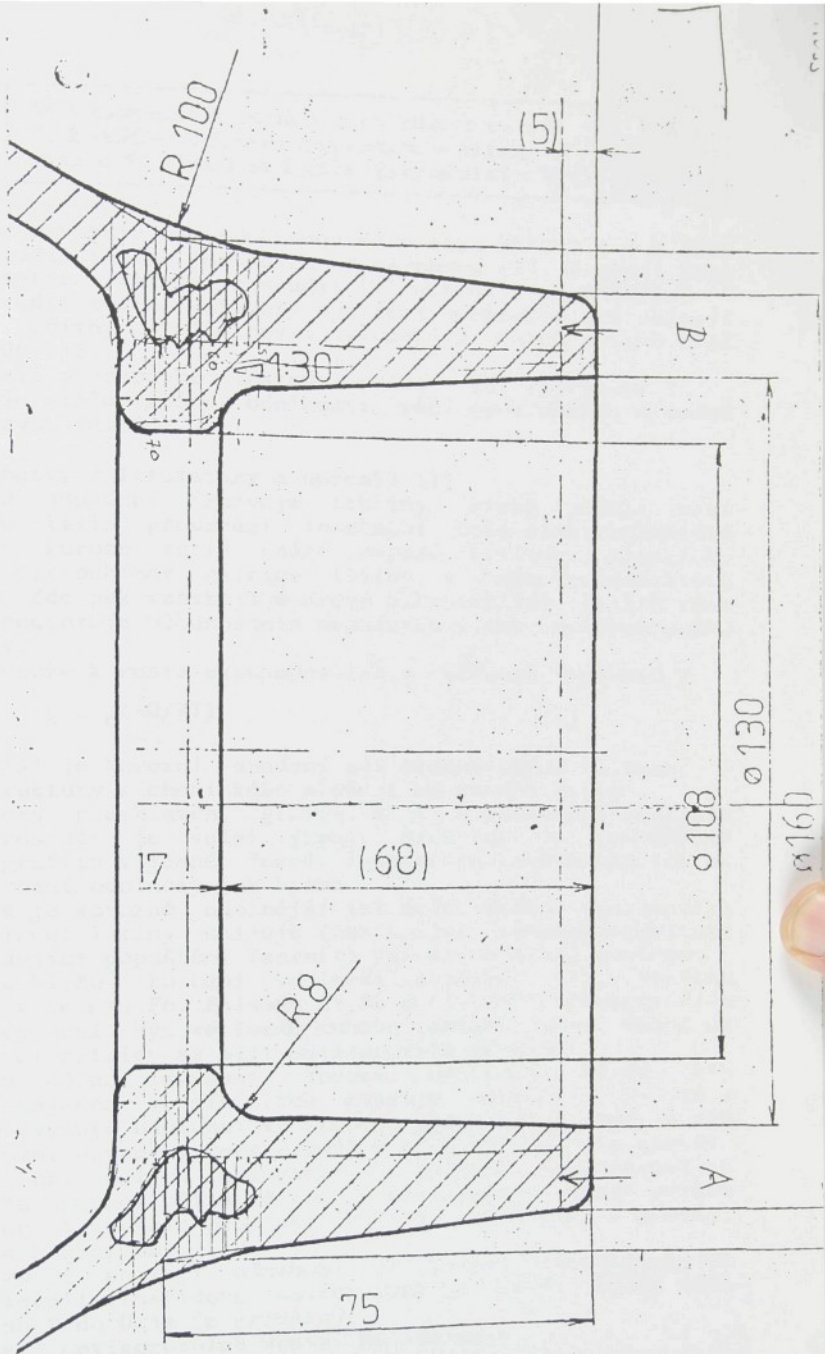
TR 4



26.11.1996
Ing.B.Skrbek
zpr.961103L3

</





13.3.1996 ing.B.Skrbek zpr.96030206	Vložené válce motorů LIAZ-životnost-shr- nutí dalších poznatků	L I A Z 10 - 223 Jablonec
---	--	---------------------------------

Úvod

Tato zpráva navazuje na souhrnnou expertizu 951205 z 4.1.1996 a externí studii [1] po jednáních s výrobcem [2]. Provedl jsem materiálová šetření, která ve studii [1] navrhl Prof.Růžička.

Na závěr uvádím reálné varianty opatření v materiálové oblasti ke zlepšení užitých vlastností vložených válců motorů LIAZ č.v.442 1 1006 013.

V současnosti předepsané vlastosti uvádějí TPP v příloze 1. Dominující je stále řešení odolnosti vůči opotřebení z vodní strany vložených válců

1.Obecné poznatky z literatury a norem[3-11].

Kavitačnímu napadení (rozvoje trhliny, která oddělí část materiálu) u litin předchází inkubační doba elektrochemické koroze. Tato koroze totiž snáze napadá kavitací plasticky deformované mikroobjemy matrice litiny v čele koncentrátorů mech. napětí. Zde pak vznikají únavové mikrotrhliny. Jejich růst koroze dále podporuje přednostním napadením plast. deformovaného čela trhlínky.

Rychlost koroze k roste exponenciálně s rostoucí teplotou T

$$k = e^{(-Q/RT)} \quad (1)$$

Intenzivnější je korozní napadení při mechanických vlivech.

1.1. Vliv struktury a chemického složení na korozi litin

Mezidendritický přechlazený grafit E a D podstatně zesiluje napadení, přestože je velmi jemný. Nezbytné je rovnoměrné vyloučení A grafitu v jemné formě. Jemnozrnná kovová matrice má ale nižší korozní odolnost jak hrubá.

Bílá litina je korozně odolnější jak šedá. Kalení (martenzit) korozní odolnost litiny snižuje (nestabilní vysokoenergetický stav)! Následující popuštění (sorbit) pak mírně zvýší odolnost.

Přísady Cu,Ni,Mo korozní odolnost zvyšuje díky vyššímu potenciálu jak železo Fe. Přísady Cr,Si a Al tvoří ochranný film oxidů. Přísady musí být ve formě tuhého roztoku s Fe. Vazba na karbidy (Ti) či nitridy se mají antikorozním účinkem.

Obsahy pro účinné zvýšení korozní odolnosti Si>3%; Ni> jednotky % zejména v alkáliích zvyšuje odolnost; Cr již v desetinách % zvyšuje odolnost ve slabých prostředích-např. 0,25% Cr sniží korozní úbytek v mořské vodě z 8 na 4ug/cm²; Cu působí příznivě i při malých obsazích v běžných atmosférických podmínkách; Mo působí příznivě jen v kombinaci s jiným prvkem (od 3%), očkování zvyšuje odolnost vůči korozi (jemný A grafit, potlačení D a E grafitu).

Obsahy Mn>0,7% snižují odolnost ke korozi (sorbitizující matrice). Steadit (fosfidové eutektikum) je velmi odolné vůči korozi - obsah P do 0,5% je příznivý.

1.2. Vlastností antikorozních vrstev na litinách

Ni galvanické povlaky chrání až od 22um síly - jsou porovité, běžná tvrdost 250HV, špatné kluzné vlastnosti. Cr povlaky - nutné rovněž tloušťky přes 20um, mléčný Cr je měkký a houževnatější jak tvrdochrom. Zn chrání již od 1um tloušťky. Kavitační

poškození oddálí jen silné vrstvy

1.3. Statická a únavová pevnost šedé litiny

S růstem meze únavy (namáhání tah-tlak) roste odolnost vůči čisté kavitaci.

Poměr pevnosti R_m k mezi únavy R_E v míjivém tahu závisí na kvalitě očkovaní litiny

a) pro nelegovanou

$$R_E = <0,22; 0,32> \cdot R_m \quad (2)$$

b) pro nízkolegovanou dobře očkovanou

$$R_E = <0,32; 0,36> \cdot R_m \quad (3)$$

Zjemňování grafitu G1A působí příznivě na růst R_m . Kromě očkování zde působí způsob formování (do písku, skořepin či kokil). Pro litinu se stupněm eutektičnosti $Sc = 0,789$ byl uveden tento příklad:

$$R_m = 7,1 \cdot L^{(-0,305)} \quad (\text{MPa}) \quad (4)$$

velikost grafitu G1A	číslo dle ČSN 42 0461	2	3	4	5	6	7
	max.délka L lupínek um	1000	490	240	110	50	25
R_m MPa		147	182	227	288	367	453

Grafit mezidendritický G1D, E vel.7 ... R_m 170MPa
rovnoměrný G1A vel.7 ... R_m 450MPa!

Obecně lze konstatovat, že kapalná korozní prostředí působí rychlejší šíření únavové trhliny jak plynná; nejpomalejší šíření nastává v inertním plynu. S růstem rychlosti šíření lomu klesá podpurný vliv korozního prostředí. Při malé rychlosti snáze dochází k anodickému rozpouštění plastické (brzděné) zony čela mikrotrhliny. Obdélníkový cyklus zatěžování z tohoto pohledu vede k intenzivnější podpoře koroze šíření jak sinusový průběh.

Přímá závislost mezi hodnotami pevnosti R_m a mezi únavy R_E platí pro perlitickou litinu. Izotermickým kalením dále R_m roste s klesající teplotou přeměny, ale v oblasti dolního "bainitu" (lépe řečeno ADI struktury) a martenzitu mez únavy klesá s růstem statické hodnoty R_m .

1.4. Poznámky k tepelnému zpracování

Kalení litiny s lupínkovým grafitem do vody i oleje působí vznik mikrotrhlin na koncích lupínek grafitu. Při kalení izotermickým do solné lázně, již trhlinky obvykle nevznikají.

Nelegovanou litinu z hlediska vhodnosti pro tepelné zpracování si můžeme představit jako eutektoidní ocel (0,75%C) legovanou Si (2%) a Mn (0,7%) - např. 13 270.

Legující prvky Cr, Cu, Ni a Mo se tedy nepřidávají k zvýšení tvrdosti nebo pevnosti u litiny, ale podpoře zpracovatelnosti silných průřezů (nad 13mm). Nepůsobí na slevatelnost a výskyt slévarenských vad odlitků. Tenké průřezy lze spolehlivě izotermicky kalit za vzniku struktury ADI bez legování.

Dobré očkování a větší počet jemných rovnoměrně rozložených útvarů grafitu pak způsobí zvětšení pevnosti izotermicky kalené litiny.

Prvky jako Sb, Sn a Cu segregují na hranici grafit/kov a tvoří bariéru pro difuzi uhlíku při nasycování austenitu (tento jev se uplatní při částečně feritické výchozí litině).

Austenitizační teplota pro dosažení max. meze únavy musí být co nejnižší, ale taková, aby již nezůstával proeutektický ferit.

Struktura izotermicky kalené litiny nesmí být pro dosažení max. meze únavy klasicky "bainitická" (směs jehlicovitého feritu a cementitu) jako u ocelí, ale z jehlicovitého feritu a stabilního austenitu (označuje se jako ADI, jinak řečeno "ausferit"). V praxi při výdrži na teplotě (250-420°C) izotermického kalení nejdříve vzniká jehlicovitý ferit s austenitem (díky vysokému obsahu Si), který se posléze rozpadá na cementit a ferit.

Jednou z významných vlastností ADI je odolnost proti opotřebení, která je podstatně vyšší než u oceli stejné tvrdosti. Dochází k vytvrzování povrchu ADI sekundárním rozpadem austenitu na martenzit, který je iniciován kontaktním namáháním.

2. Doporučení studie [1]

Základní mechanismus opotřebení vodních ploch vložených válců motorů ŠKODA LIAZ je přisuzován koroznímu poškození aktivovanému únavou materiálu od provozního zatížení. Z tohoto hlediska jsou doporučeny způsoby tepelného zpracování současně litiny k dosažení vyšší meze únavy pomocí jemného perlitu, bainitu a sorbitu:

- 1) Normalizačně žíhat stávající materiál k zjemnění struktury s dvojí austenitizací
- 2) Izotermicky žíhat na 600°C
- 3) Izotermicky kalit na 250-300°C či termálně kalit..
- 4) Termální kalení a popuštění na 400°C.

Je doporučeno legování litiny Mo při snížení obsahu P do 0,17% a získat strukturu vlož. válců označených D (Detroit Diesel).

Studie uvádí za vhodné použití acikulární litiny (1%Mo, 1,4%Ni) s bainitickou strukturou v litém stavu, která dosahuje po nízkoteplotním žíhání nejvyšších hodnot, až $R_m = 600 \text{ MPa}$.

Vodní povrch obrábět s min.drsností k potlačení povrchových pnutí, vrubů a trhlinek.

Očkovat litinu, aby byl dosažen stav struktury vzorku S z r.1987

Použít účinnější inhibitor v chladicí směsi než dosud používaný.

Je třeba dodatečně:

- provést analýzu Mo válce D a definovat strukturu

- ověřit přítomnost trhlin u vzorku S.

Prověřit možnosti uvedených tepelných zpracování na vzorcích a vl. válcích.

Tyto výsledky uvádí následující stať.

3. Stanovení Mo a struktury

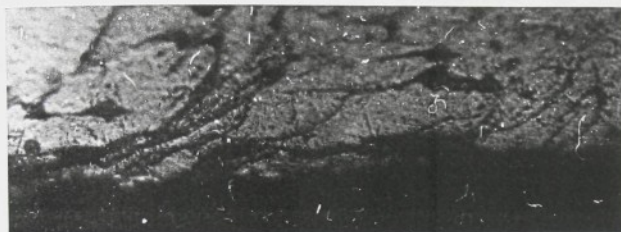
Spektrální analýzou byly ve vzorku vloženého válce "D" zjištěny v laboratoři ŠKODA LIAZ 01 pouze stopy Mo (<0,05%) a struktura se blíží patrně více dolnímu ADI či bainitu než martenzitu. K přesné identifikaci strukturních složek by bylo nutno zadat Rtg. fázovou analýzu např. na VUT Brno.

Ověření přítomnosti trhlin jsem provedl pozorováním při zvětšení 1000x na všech vzorcích vložených válců, které jsou předmětem zprávy 951205. Uvnitř stěny se nevyskytují mikrotrhlinky, ale povrch vodního prostoru je plasticky u vzorku "D" de-

formován se smykovým posunem a uzavíráním konců lupínek grafitu. V této cca 15 μ m silné vrstvičce se proto často vyskytují i mikrotrhlíčky - viz. obr.1. Směřují obvykle kolmo k povrchu. U válce S trhlíčky byly zjištěny pouze u cca 2% lupínek v povrchové partii.

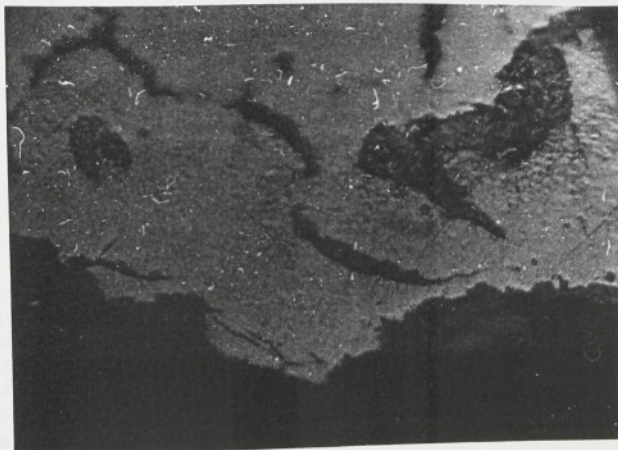
Výskyt trhlinek u vzorků T a L je pouze těsně pod povrchem (do 10 μ m) v oblastech při selektivním důlkovém napadení. Jejich orientace je obvykle rovnoběžná a nemusí být iniciována jen konci lupínek grafitu - viz. obr. 2.

Vzorek S obsahuje poměrně tlusté lupínky grafitu 7,5 μ m bez ostrého zakončení - menší vrubový účinek, naopak nový odlitek N má tenké lupínky grafitu - 2,5 μ m, takže jejich ostré ukončení splývá s identifikací trhlinek. Vzorek z válce D obsahuje rovněž tenké lupínky 2,5 μ m; vzorky T a L 4-6 μ m.



TRHLINKY

Obr.1. Obrobený povrch vloženého válce Detroit Diesel, 1000x zv.



TRHLINKY

Obr.2. Opotřebovávaný povrch vloženého válce T. 1000x zv. NELEPT.

4. Záměry Agrostroje Jičín

Ve snaze přiblížit se zahraničním výrobním technologiím a kvalitě vložených válců a tím posílit konkurenceschopnost svých výrobků přistupuje Agrostroj a. s. k následujícím perspektivním opatřením.

Za optimální považuje Agrostroj z tohoto pohledu tyto materiálové parametry:

- Grafit GlA o velikosti 30-250um
- ferit do 5%, lamelární perlit, volný cementit 0%,steadit v souvislém síťoví
- tvrdost >220HB.

Statisticky deklarovaný současný stav:

- GlA/B, velikost do 250, ojediněle přes 250um na pracovní ploše a na vodní ploše GlA/B místy D6, převažuje vel. 60-120um, místy 250um

- perlit 100% lamelární velmi jemný 0,3um

- steadit v nesouvislém až souvislém síťoví o vel. max.750um a útvarech max. 10 000um²

- tvrdost na vodní ploše 240-270HB, pracovní 230-250HB

- Rm na přílitých tyčích formovaných do písku 260-300MPa

- složení v %: C 3,05-3,2;Si1,75-1,85;Mn0,65-0,7;P0,35-0,4;Ni0,25-0,3;Cr0,35-0,4;s max.0,04.

Tvrdost a složení válců současných renomovaných evropských dodavatelů vložených válců VIZEMANN, PLEUCO a JOHN DEER se až na výjimky neliší od produkce Agrostroje. Odlévají válce jak do kokil tak na výstelku. Tabulky se složením a strukturními parametry uvádím v příloze 2 a 3.

Zamezit výskytu grafitu vel. 3 (250-500um) Agrostroj chce nyní:

- 1.Změnou ostřiva o vyšší tepelné vodivosti.

- 2.Změnou chemického složení náhradou Ni mědi, použití očkovačla s prvky KVZ (Ce,Yt ap.) k zjemnění grafitu.

- 3.Změnou odlévání na výstelku litím do kokil. Od února 96 zkušební lití.

Perspektivně: Dodávky kokilově litých vožených válců pro ŠKODA LIAZ od konce roku 1996.

5. Shrnutí

Opotřebení vložených válců motorů LIAZ na vodním povrchu tvoří shluky hlubokých důlků na opakujících se lokalitách geometrie povrchu pod nákrůžkem či nad těsnicemi kroužky. Toto opotřebení je dlouhodobý proces.

Dominujícím procesem opotřebení je koroze. Podle studie [1] podporovaná únavovým napětím z provozního zatížení (tlaky v spalovacím prostoru), které má tečný směr vzhledem k vodnímu povrchu, po obvodu má stejnou velikost a klesá směrem od podnákrůžkové oblasti k partii těsnicích kroužků. Mikrotrhliny od tohoto napětí ve směru kolmém k povrchu však nejsou obvyklé. Dodatečná expertiza upozornila na výskyt mikrotrhin (do 15um délky) rovnoběžných s opotřebovávaným povrchem v místech momentálně bez vrstvy korozních splodin nebo vycházejících z konců lupinek grafitu, které jsou paralelní s povrchem (obr.2). Tyto trhlinky svědčí o kavitačním namáhání jako hlavním podpůrném mechanismu koroze. Touto nyní doloženou skutečností lze vysvětlit i lokální charakter napadení vložených válců

v místech, která vlivem rychlosti, tlaku a teploty mají k tvorbě kavitačních bublinek nejvhodnější podmínky.

Současné provozní namáhání vložených válců není za mezím stavem použité litiny, který již iniciuje vznik trhlinek. Motory M1.2C pracují se sníženými špičkami tlaku ve spalovacím prostoru a přesto napadení vložených válců předmětným důlkovým opotřebením je intenzivnější jak u motobů M1.2A,B. Opatření ke zvýšení meze únavy matrice a změně chemického složení litiny by měly sloužit především ke zvýšení odolnosti vůči kavitační únavě a koroznímu napadení. Můžeme zvýšit pevnost matrice, jak např. doporučuje [1], což se pojí s výrobními i cenovými problémy, nebo vyžadovat od výrobce vložených válců taková metalurgická opatření, aby litina při přibližně stejné nákladném chemickém složení obsahovala jemný rovnoměrně rozložený grafit, který (jak dokládám v 1. kapitole) svojí velikostí ovlivňuje výslednou hodnotu pevnosti litiny stejně jako kovová matrice.

Nejvyšších užžitných vlastností vložených válců bychom samozřejmě dosáhli získáním matrice s max. mezí únavy při jemném rovnoměrně vyloučeném grafitu se zaoblenými konci lupínek (menší vrubový účinek). Nabízí se proto i perspektivní vyzkoušení litiny s červíkovitým grafitem pro vložené válce. Její kluzné vlastnosti se blíží litině s lupínkovým grafitem (šedé litině) a nikoliv litině s kuličkovým grafitem (tvárné litině), která pro dlouhoživotnostní vložené válce není doporučována podobně jako ocel.

Západoevropští výrobci (viz přílohy 2, 3 a [12]) vložených válců jdou cestou bez tepelného zpracování s matricí litiny s legováním 0,3-0,4%Cr nejjemnějším perlitem Pd0,3 a vyšším obsahy P 0,25-0,6%. Grafit je jemný 4-6 rovnoměrně vyloučený. Přísady Ni, Cu a Mo nejsou jednotné. Podle rozborů vl.válců Agrostroje (tedy v dodávkách vl.válců pro ŠKODA LIAZ) tyto parametry jsou běžně dodržovány. Musíme je přenést do přijímacích podmínek.

U ostatních výrobců, pokud používají tepelné zpracování, patrně nejčastěji se vyskytuje izotermické kalení, jehož cílem by měla být ADI struktura matrice litiny. Vzorový vložený válec "D" obsahuje především legury Cr a Cu k zvýšení korozivzdornosti. Obsah Mo není pro získání "bainitu" v těchto tloušťkách stěn izotermickým kalením nutný. Vodní povrch je poměrně hrubě obroben.

Při srovnání nákladovosti navržených postupů tepelného zpracování dle [1] a dosažených pevností litiny je nejvýhodnější izotermické kalení.

Agrostroj jako slévárna i dodavatel hotových vložených válců nemá možnost provádět velkoseriové tepelné zpracování odlišků. Bylo by zde možno snáze realizovat jemné opracování vodního povrchu.

Z uvedených poznatků plyne, že pevnost a odolnost vůči korozi lze za daných podmínek zvyšovat zjemněním grafitu (rovnoměrně vyloučený) a vhodným legováním Cu.

Opatření 1 a 2 Agrostroje jsou v tomto směru operativní a nyní zaváděná. Musíme je z pozice odběratele podporovat a urychlovat jejich zavedení do výroby. Očkování s přísadou KVZ povede i k zaoblování konců lupínek grafitu - snižování jejich vrubového vlivu.

Izotermické kalení by vyžadovalo jej provádět jako externí meziproceduru např. v TESET Semily a. s. Vysoký obsah P by bylo nut-

no snížit na $<0,07\%$. Vlastní postup TZ je však třeba optimalizovat řadou zkoušek. Zkoušky lití acikulární litiny (nutno porovnat náklady na izotermické kalení a legování 1Mo) by bylo vhodné provádět až po zavedení kokilového lití. Nutno upozornit, že veškeré změny chemického složení mimo rámec běžné výroby (Agrostroy dodává vl. válce i ostatním výrobcům motorů) slévárna velmi nerada přijímá.

6. Opatření

Operativní zvýšení životnosti vložených válců dosahneme

1. Snížením velikosti grafitu litiny o jeden stupeň na vodním a pracovním povrchu (G1A 5, ojedinelě 4 na vodním povrchu).
2. Matricí litiny s jemným perlitem Pd0,3.
3. Legováním Cu místo Ni.

Tyto parametry neprodleně promítnout do TPP, neboť dodavatel vložených válců nyní k splnění těchto opatření realizuje změny ve výrobní technologii.

Perspektivně vyvinout variantu litiny s ADI matricí a grafitem se zaoblenými konci, která poskytne pravděpodobně podstatně vyšší životnost. Se vzorkovými zkouškami tepelného zpracování na vloženém válci "D" a stávajícím materiálu je možno začít ihned.

Vypracoval

Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Literatura:

- [1] Růžička Dalibor: Možnost zvýšení životnosti vložek spalovacího motoru ŠKODA LIAZ, studie Brno 2/1996.
- [2] Kracík Miloš: Výroba vložených válců v Agrostroji Jičín a.s., zpráva o stávající situaci a aktivitách k zvýšení konkurence- schopnosti, Jičín 19.1.96
- [3] Exner J.: On Some Physical Properties Of Dynamically Stressed Automobile Gray Iron Castings, 49. International Foundry Congress Chicago 1982.
- [4] Giršovič N. G.: Šedá litina, SNTL Praha 1955.
- [5] Klesnil, Lukáš: Únava kovových materiálů při mechanickém namáhání, ACADEMIA 1975.
- [6] Exner, Čech: Hodnocení vlastností litin podle tahových deformačních charakteristik, Slévárenská ročenka 1993.
- [7] Skrbek B.: Oběžná kola 002 a 005 - materiálové zkoušky, zpráva LIAZ 931001.
- [8] Kovacs Bela: Austempered Ductile Iron: Fact and Fiction, MODERN CASTING 1990, American Foundrymen's Society.
- [9] Bárta B.: Šedá litina a její únavové vlastnosti, Slévárenství 3/1984.

[10] Vetiška A.: Teoretické základy slévárenské technologie, SNTL 1972.

[11] Sedláček: Neželezné kovy a slitiny, SNTL 1972.

[12] Skrbek B.: Vložené válce diesel. motorů - materiály, zpráva č.96010206 vývoje motorů ŠKODA LIAZ, 1/96.

Agro stroj Jiřín

Materiálový list č. 345/5

Název odlitku: vložený válec, odstředivě litý do výstelky

Číslo výkresu odlitku: 345/3-10

442 1 1006 - 015.5

Číslo výkresu součástí: 013.5
011.5

Skupina:

Odběratel: LIAZ a.s.

Materiál: 422425 legovaná

Chemické složení:

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Ni + Cu
3,10-3,40	1,70-2,00	0,65-0,75	max. 0,04	0,35-0,50	0,20-0,35	0,35-0,45	max. 0,50

Pevnost v tahu: 260 MPa

zkušební tyče podle ČSN 4203 30 z těles ø 30 mm
odděleně litých do pískové formy

Tvrdost v HB:

230-270

Brinellova zkouška 10/3000/30 podle ČSN
420371 na těle odlitku v oblasti prac. části
vložky na 3 místech v jedné rovině po 120 stup.

Vyhodnocení struktury podle ČSN 420461

Struktura pracovní plochy po honování do hloubky 2 % průměru
/u průměru menších než 100 mm minimálně 2 mm/

Místo pro odběr vzorku je určeno na výkresu č. 345/3-10

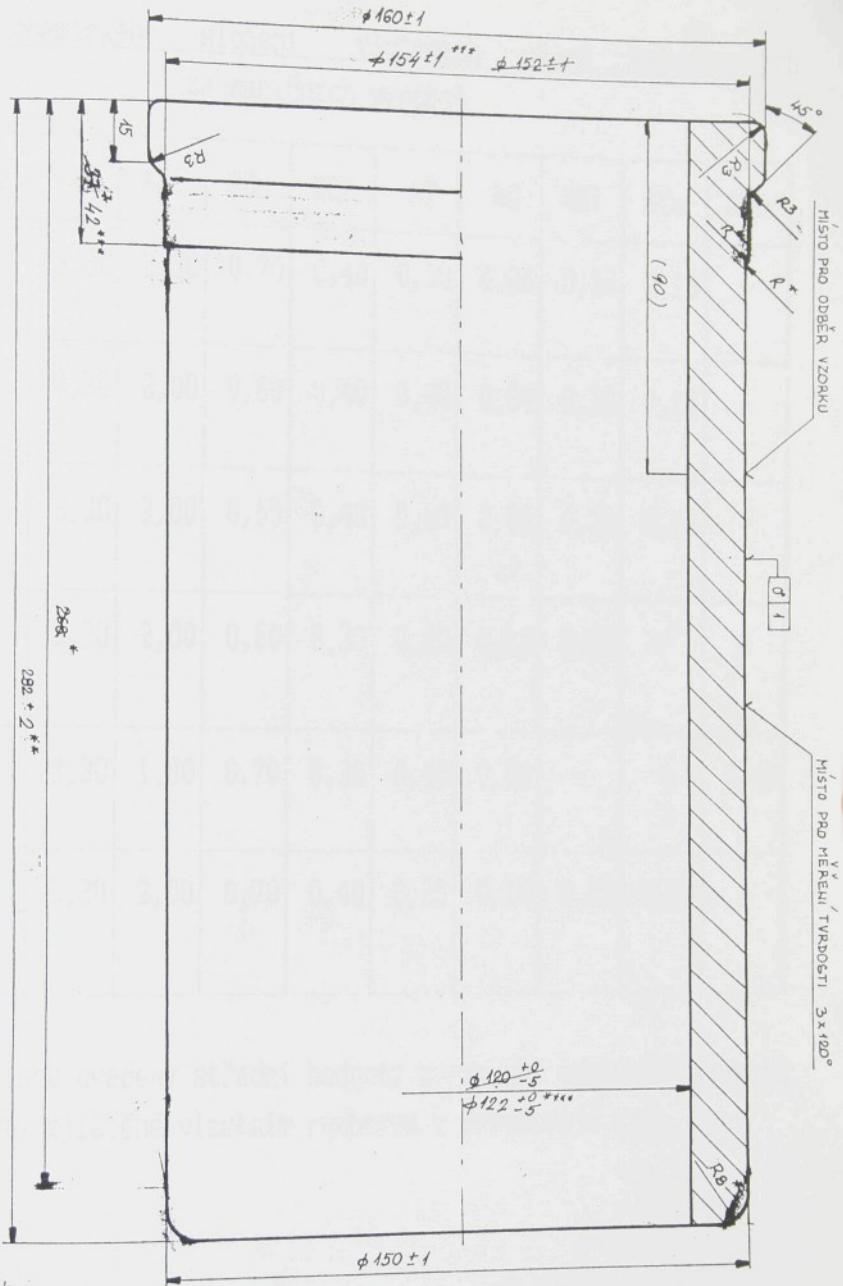
Grafit	lupínkový I A, B		velikost (3 ojedíněle)
Perlit	lamelární P 1	Pd 0,5 Pd 0,3 přípustné	Pd 1, -
Steadit	tvoří nesouvislé až souvislé síťoví Fr 2 - Fr 3		
Perit	Povolen do 5 %		
Cementit	nesmí být volně přítomen		
Nepropustnost	Vložené válce musejí být naprosto nepropustné při zkoušce tlakem po celé délce vložky 11-13 MPa po dobu 5 min. petrole- jem.		

Poznámka: Pro odlitek vloženého válce platí ČSN 093131 včetně norem v ní
uvedených.

Souhlas odběratele:

D. tum:

Agro stroj Jiřín
divize stávkáren
technický odbor
13.2.86
13.2.86



MÍSTO PRO ODBĚR VZORKU

MÍSTO PRO MĚŘENÍ TVRDOSTI 3x120°

PRO VLOŽENÝ VÁLCEK PLATÍ ČSN 037131 VČETNĚ NOSEM VNI UVEDENÝCH
POŘADKOVÉ VÁDY NELEŽE OPRAVOVAT ZAMÁKOVÁNÍM
MATERIÁLOVÝ LÍST JE SOUČÁSTÍ TOTOHO VÝKRESU

STUPĚŇ PŘESNOSTI ČSN 014470.2
NEPŘEDPUSITELNOST ZARUČENA
Ø TVAROST 400 - 600 - 110
230 - 270

ODSTŘEDIVÉ LÍP DO VSTĚLKY

422425

31. ledna 1996

Souhlas 7.7.1996 24.12.1996
13.50 24.9

Období 20.12.1996 - 21.12.1996
22.12.1996 - 23.12.1996
24.12.1996 - 25.12.1996
26.12.1996 - 27.12.1996
28.12.1996 - 29.12.1996
30.12.1996 - 31.12.1996

Přehled chemického složení vložených válců renomovaných zahraničních výrobců

Výrobce	%C	%Si	%Mn	%Cr	%P	%S	%Ni	%Cu	%Mo
DAF	3,30	2,00	0,70	0,40	0,50	0,06	0,10	0,15	-
SCANIA	3,30	2,00	0,60	0,40	0,40	0,04	0,30	0,12	-
VOLVO	3,30	2,00	0,65	0,40	0,60	0,05	0,25	0,18	-
KOLBEN SCHMIDT	3,30	2,00	0,60	0,30	0,30	0,12	0,50	-	-
MERCEDES	3,30	1,80	0,70	0,30	0,40	0,08	-	-	0,40
JOHN DEERE	3,30	2,00	0,70	0,40	0,25	0,10	0,15	0,60	-

V tabulce jsou uvedeny střední hodnoty z rozsahů uvedených výrobců nebo hodnoty zjištěné vlastním rozbořem v Agrostroji a.s.

Hodnocení metalografické struktury vložených válců vybraných
zahraničních výrobců

Výrobce	Grafit	Ferit	Steadit	Perlit	Buňek
JOHN DEERE	I A,B m.E A:B 50:50 4,5,6	Fe0	Fv 2000 F1,2,Fr2,3 Fd 400	P1 Pd 0,3	348- 388
WIZEMANN	I A,B A:B 70:30 4,5,6	Fe0	Fv 2000 F1,Fr2,3 Fd 250,400	P1 Pd 0,3	428- 468
PLEUCO	I B,A,m.D,E B:A 60:40 5,6,7	Fe0	Fv 2000,6000 F1,2,Fr2,3 Fd 250	P1 Pd 0,3	972- 1012
VANDERVELL	I A,B A:B 60:40 4,5,6	Fe4	Fv 2000,6000 F2,Fr2,3 Fd 250,400	P1 Pd 0,3	908- 948

19.1.1996
Ing. B. Skrbek
96010206

Vložené válce diesel. motorů - materiály.

L I A Z
10 - 233
Jablonec

Přehled je získán z literárních podkladů a vlastních rozborů LIAZ.
představuje období let 1980-1995. Všechny vložené válce jsou ze
šedé litiny!

Uživatel/dodavatel		Chemické složení v %							
ozn.	spec. leg.	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
Caterpillar 1	Mo								
	0,13 0,25	3,1 3,45	0,64 0,63	2,1 2,0	0,24 0,25	0,08 0,17	0,35 /	0,04 0,03	0,06 /
ELCO 2	V	0,08	3,2	0,58	2,1	0,3	0,16	/	0,5 0,09
STEYR 3	-	3,38	0,6	1,81	0,29	0,34	/	0,65	0,06
NIPPON A PISTON LTD 4	B								
	0,05 0,1	3 3,7	0,5 1	1,5 2,5	- -	- -	- -	0,2 0,5	0,12 MAX.
B	-	2,9 3,5	0,5 1	1,2 2,2	- -	- -	0,2 0,5	0,1 0,5	"
Detroit D 5		3,4	0,5	1,9	0,3	0,15	0,6	0,05	0,07
VOLVO 6 Mo	-	3,22	0,72	2,32	0,74	0,33	/	0,25	0,05
SCANIA OS14 7	0,12	3,1	0,58	2,36	0,67	-	/	0,76	0,03
GEHRING 8	-	3,39	0,73	1,8	0,23	0,11	/	0,22	0,03
PLEUCO 9	-	3,2 3,5	0,6 0,8	1,8 2,2	0,15 0,4	- -	- -	0,4 0,6	0,1 MAX.
LIAZ/AGROJ 10	-	3 3,5	0,6 0,9	1,6 2,4	0,25 0,5	0,2 0,4	0,1	0,3 0,5	0,08 MAX.

/... neanalýzováno
V...vodní povrch

-...ve stopovém množství
P...pístový povrch

Ozn. uživatele	Struktura		úprava	tvrdost
	Grafit	matrice		
1	G1A velikost 4,5 (max. 250um) (Cr vrstva někdy)	P...Mart.bainit	Kal.povrch	47-49HRC
		V...perlit	litý stav	230-250HB
2	G1A " 5-7	perlit,steadit	"	244HB

	(max. 120um)			
3	G1A "	4,5	perlit, <5%F, Stead.	"
4A	G1A 4, 5		PERLIT, STADIT	LIT. STAV
4B	"		" , CEMENTIT	"
				211-224HB 93-103HRB Rm > 270MPa 183-235HB
5	G1A, B 4,5		martenzit, bainit	celokaleno
				393-404HB
6	G1(IV)A, B, 4(5)		perlit, steadit	lit. stav
				272-285HB
7	G1A, max. 70um, 6		perlit, stadit	lit. stav
				262-292HB
8	G1A, C 3-5		PERLIT.	"
				234-260HB
9	G1A, B 4-6		P100, <5%F, STEADIT	"
				220-260HB 220-260Rm Eo=105GPa
LAYSTALL	G1A 5		P100 STEDIT	"
				244-260HB
10	G1A, B, C 4,5 (3)		P100 F<5 STEADIT	"
				220-260HB

Komentář

Až na vyjimku jsou citované vložené válce strukturou zaměřeny na max. odolnost proti opotřebení (případně proti kavitaci) a jen nepřímo proti korozi (jemným grafitem). Vždy se používá šedá litina.

V zásadě existují dva směry jak toho lze dosáhnout.

Mater. válců 2,3,4 a 7 dále 9,10 vlivem vysokého obsahu P krystalizují s tvrdou sítí tvrdého, ale křehkého fosfidického eutektika při 100% obsahu perlitu - nosné kostry proti opotřebení.

Mater. válců 1, 5, řeší odolnost kalením litiny s nízkým obsahem P.

Válce 6,8 mají střední obsah P a nekálí se. Válec 8 má asi proto nejnižší odolnost k opotřebení. VOLVO (6) řeší odolnost vysokým obsahem karbidotvorného Cr.

Japonci (4) řeší opotřebení velmi úsporným legováním (B) při zvýšeném obsahu P (4A), nebo (Cu) při sníženém obsahu C a Si a tím s podílem volného tvrdého cementitu ve struktuře.

Vypracoval

Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

3. 4. 1996
Ing. B. Skrbek
Z, č. 96040515

Sedla ventilů výf. - opotřebena

ŠKODA L I A Z
10 - 223
Jablonec n. N.

Předmětem této zprávy jsou sedla ventilů výfuková z plynového motoru "B" M636 M1.2B č. LA1 5001 646s různým stupněm opotřebení sedlové ventilové plochy.

Cílem materiálového šetření je nalézt případné souvislosti kvality materiálu a opotřebení.

1. Předpis

Výkres 442 1 1215 011

model M1707

Materiál: legovaná šedá litina BX, tvrdost HRC 33-44.

C Si Mn P S Cr Ni+Cu Mo
3,5/3,9 2,2/3,5 0,5/0,8 0,3/0,6 <0,08 1,1/1,6 <0,35 1.1/1,6

2. Výsledky

Dvě výfuková sedla z 1. a 5. válce jsou opotřebena značně, ale sedla 2. a 6. méně. Propad B sedel měřen na jejich řezech.

2.1. Popis opotřebení.

Řezy sedly předkládá obr.1. Na rozměrech A, B, C v mm specifikují velikost opotřebení:

tab.1.	sedlo	A	B	C	celk.výška sedla
	1	2,1	4,5	0,85	11,1
	2	0,46	0,86	4,17	11,1
	5	0,96	2,25	2,78	11
	6	0,3	0,64	4,52	11,1

Sedlové plochy:

- 1 - lesklá s reliéfem eutektických buněk struktury litiny
- 2 - hladká se soustřednými ryskami a místními mělkými otlaky
- 5 - lesklá se slabým reliéfem EB
- 6 - lesklý povrch je modulován jemným zvlněním

Vně sedlových ploch se opět usadily "keramické" nánosy splodin spalovacího procesu.

2.2. Mechanické vlastnosti

Tvrdost HB_{2,5/187,5} měřena na řezu sedla a HRC na čelní dosedací ploše. Modul pružnosti E₀ změřen ultrazvukem.

	.HB	HRC				E ₀ GPa Grafit		matrice
					φ			
1	341	33	30,8	28,5	30,8	130,9	G1A5	Fr3, Fv12000, FO
2	365	34	34	36,5	34,8	151	G1A5	Fr3, Fv20000, FO
5	322	30,8	35	36	33,9	144	"	"
6	325	28,5	37,3	36,2	34	156,7	"	"

Závěr

Sledovaná sedla (mater.BX) ventilů strukturou a hodnotami tvrdosti, až na sedlo 1 vyhovují materiálovým předpisům. Opotřebení sedla 1 je nejvýraznější. Číselně vyjádřená souvislost mezi velikostí propadu sedel (A) a materiálovými parametry matrice (HRC) a grafitu (E₀) je u měřených sedel velice těsná.

$$A = 7,62 - 1,3675 \times HRC \times E_0 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$K = -0,99951$$

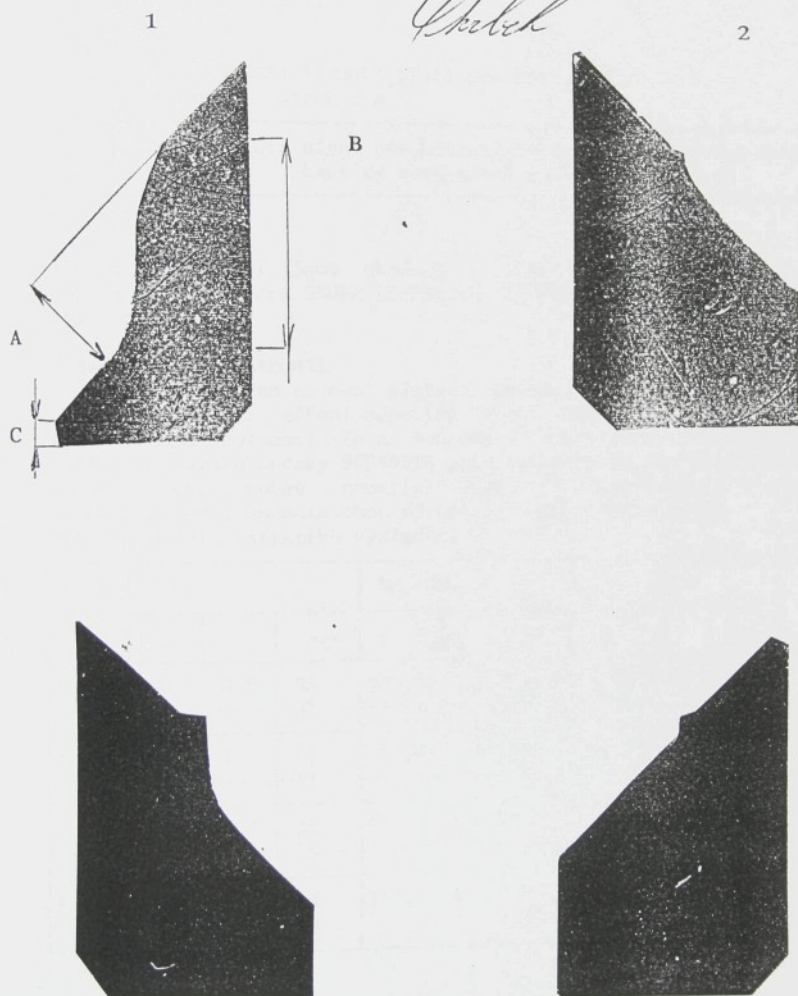
Například pro nulové opotřebení $A=0$ by při platnosti uvedeného vztahu stačilo montovat sedla s tvrdostí $HRC > 37$ při $E_0 = 150 \text{ GPa}$. Souvislost mezi opotřebením sedel BX a parametry materiálu doporučuji proto ověřit na více plynových motorech.

Podobně jako v předešlých případech (zprávy 951208, 96020115) byly pozorovány vně sedlových ploch abrazivní úsady splodin, které patrně opotřebení působí. Doporučuji zadat fázovou a chemickou analýzu těchto splodin, aby jsme mohli opotřebení ovlivnit přímo.

Vypracoval

Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Skrbek



Obr.1. Profily sedel v řezech.

04.12.1996 Ing.B.Skrbek zpr.96120315	Sedla ventilů pro ply- nové motory BY-nález	ŠKODA LIAZ 12 - 230 Jablonec n.N.
--	--	---

Úvod

Předmětem kontrolního materiálového nálezu jsou sedla ventilů odlitá z materiálu BY pro plynové motory ŠKODA LIAZ v Buzuluk Komárov a.s. 16. 10. 1996.

Provedl jsem měření tvrdosti HRC a modulu pružnosti Eo po obvodu sedel a hodnocení struktury ve vybraných řezech.

Sedla byla hodnocena jednak v litém stavu (ozn.1 a 2) a pak po zušlechťení (ozn.3 a 4).

2. Předpis

Dle předpisu KOMA 42 0072 platí pro litinu BY:

stav	tvrdost	struktura
litý	33 - 48	G1A mírně přechlazený, martenzit, bainit až sorbit karbidy rovnoměrně rozloženy v síťoví
TZ	31 - 40	"

Hodnoty tvrdosti jsou shodné s materiálem BX (materiál pro běžnou výrobu motorů ŠKODA LIAZ), od kterého se liší BY jen chemickým složením.

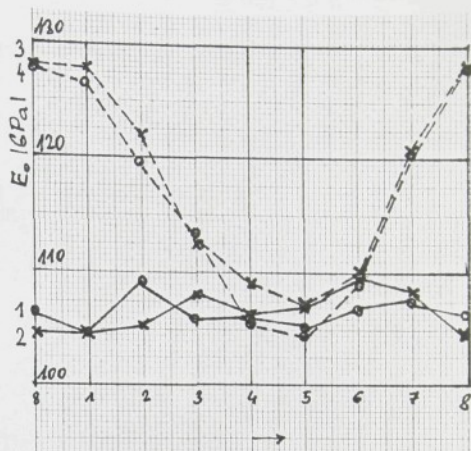
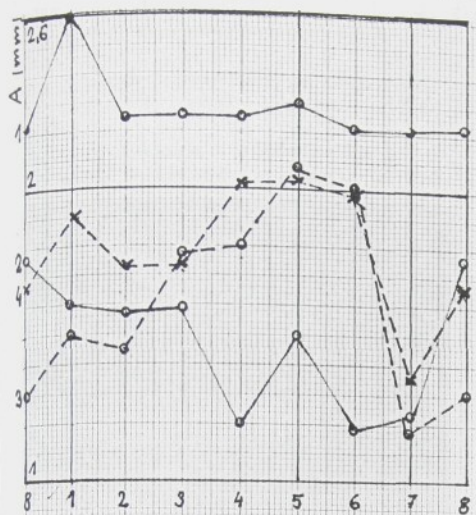
3. Mechanické vlastnosti

Měření prováděno na osmi místech obvodu odlitku ve směru hodinových ručiček. 1. měření odpovídá vtoku. Průběhy veličin tvrdosti HRC, modulu pružnosti Eo a hodnoty A charakterizující opotřebení litiny ve smyslu zprávy 96040515 jsou vyneseny do grafů na obr. 1-3. Eo měřen ultrazvukem - nezávisle dvěma UZ tloušťkoměry. Do výpočtů uvedena střední hodnota obou měření jednoho průřezu sedla.

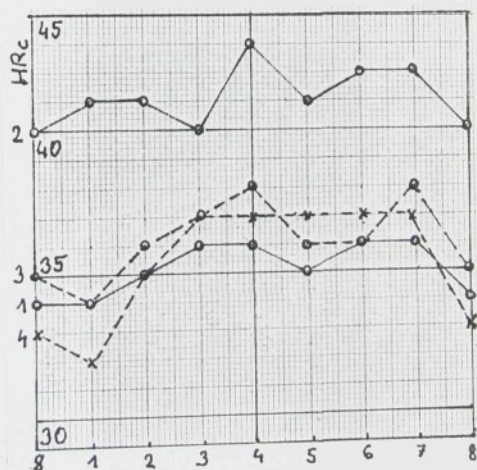
Tabulka uvádí statistiku výsledků:

sedlo	HRC			Eo GPa			A mm			
	$\bar{x}$	s	min max	$\bar{x}$	s	min max	$\bar{x}$	s	min max	
1. sací	36,5	0,8	35 37	106,55	1,4	104,8 109,2	2,31	0,13	2,13 2,6	litý stav
2. výf.	42,3	1	41 44	106,8	1,9	104,5 109,6	1,45	0,22	1,18 1,76	
3. výf.	37,2	1,4	35 39	117,3	8,5	107,3 128,2	1,66	0,36	1,3 2,19	TZ
4. výf.	36,6	2,1	33 38	115,9	9	104,4 128	1,83	0,27	1,36 2,19	

Obr.1. Průběh parametru A
zahrnujícího veličiny E_0 a
tvrdost HRC po obvodu sedel.



Obr.2. Průběh modulu pružn. E_0 .



Obr.3. Tvrdost na sedlech 1-4.

4. Struktura

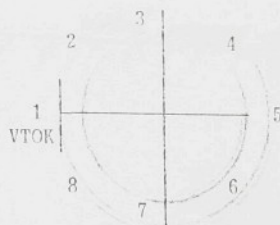
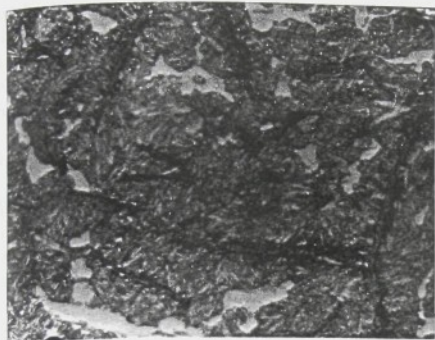
K rozboru struktury jsem odebral 4 vzorky :

sedlo	1	2	3	4	Řez 1-1 odpovídá materiálu s největším předpokládaným opotřebením z 4 zkoumaných sedel.
místo	1	3	1	5	

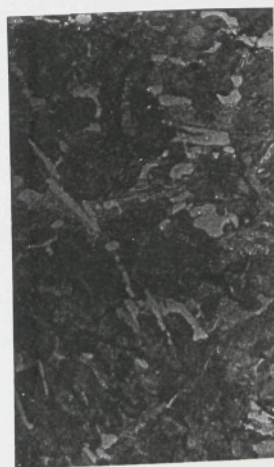
Rezy 3-1 a 3-5 přísluší velkému rozdílu vlastností na jednom sedle. Ze sedla 4 nebyl výbrus udělán. Struktury matric dokumentují obr. 4-6.

Obr. 4. Struktura v jádře sedla 1 v místě 1 (řez 1-1). 400zv. NITAL5.

Místa měření na sedlech:



1 - 1 Strukturu tvoří poměrně hrubý lupínkový grafit G1A4 a matrice z jemného lamelárního perlitu Pd0,5, ojedinělých zrn bainitu (5%) a pole mezidendritických karbidů (10-15%, bez výraznějšího síťoví).



Obr. 5. Struktura sedla 2 v místě 3. Obr. 6. Struktura sedla 3 místa 5. zv. 400x NITAL.

2 - 3 Povrch G1 a 2 lupínkový o velikosti 5/6 Jádru G1A4.

Matrice-sloupcovitý bainit a zrna perlitu (25%), karbidy v jemných útvarech bez výrazného síťoví (6-10%).

3 - 1 Matrice je sorbitická; karbidy tvoří nevýrazné síťoví.
Povrch - přechlaz. grafit.

Jádro - grafit lupínkový a pavoučkovitý (G1,2) vel. 5/4.
Na řezu je dutina 0,56x0,85mm a v ose ostře ohraničený členitý vměstek 1,12x1,22mm. Jejich tvar a polohu dává obr.7.:

Vměstek je obklopen póry a tvoří ho lupínkový grafit G1A4 v třísluškové světlé matici o tvrdosti 125-155 HV5 (sorbit v okolí 310-320HV5).

3 - 5 Rez je bez vad. Větší podíl mezidendritických bainitů. Sorbit, grafit shodný s 3 - 1.

5. Shrnutí

Všechna sledovaná sedla vyhoví širokým tolerancím mech. vl.předpisu nejen v středních ale i v extrémních hodnotách.

V litém stavu vlivem rozdílných podm. ochlazování po odlití se mohou jednotlivá sedla výrazně lišit v matici, při shodném typu grafitu, podílem vyloučeného bainitu, který je méně teplotně stabilní jak perlit. Nízké hodnoty E_o sedel v litém stavu souvisí i s vysokou hladinou jejich vnitřních pnutí.

Teplné zpracování sice sjednotí matici a potlačí hladinu pnutí (růst hodnot E_o), avšak rozdíly v tuhosti jednotlivých průřezů jednoho sedla mohou být značné! Pro znázornění hodnoty E_o běžných jakostí šedé litiny:

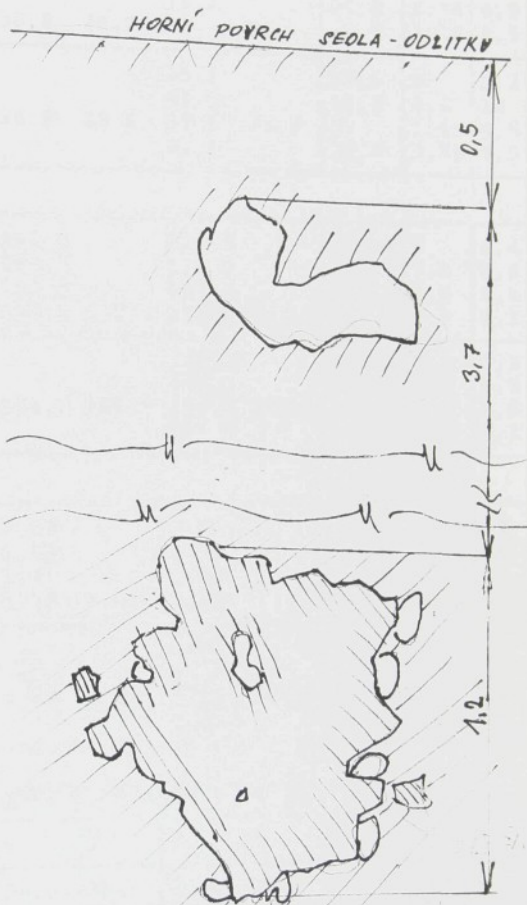
CSN 42 2415	97 GPa
42 2420	110
42 2425	125
42 2430	144

Souvislost hodnot E_o resp. jejich rozdílu se stabilitou či životností sedel v motoru nebyla zatím zkoumána.

Nepřípustný je výskyt dutin, které obrobením vystoupí na povrch a makrověstků, jako v případě sedla ozn.3. Vměstek je patrně nerozpuštěná metalurgická přísada. Jejich odhazení by bylo možné RTG prozářením nebo mechanizovanou UZ kontrolou.

Vypracoval

Ing. Břetislav Skrbek, CSc.



Sedla BY před montáží

Ozn.	HRC										
	1	2	3	4	5	6	7	8	X	S	V%
1V	40.3			38.9			35.2		38,1	2,6	6,8
2V	37			32.8			37.6		35,8	2,6	7,2
3V	33.6			37			36.1		35,6	1,76	4,9
4V	37	32.5	37.5	37	36.8	36.2	34	35	35,8	1,76	4,9
1S	37.5			39.5			35.5		37,5	2	5,3
2S	34			42.5			41.5		39,3	4,6	12
3S	36.3	36.5	33.6	38	38.5	38.8	37.5	36.8	37	1,65	4,5
4S	35.5			42.2			41.8		39,8	3,76	9,5
Eo GPa											
1V	108.7		109.5		119.2		115.3		113,2	5	4,4
2V	122.7		125.6		108.9		113.7		117,7	7,8	6,6
3V	122.7		115.3		112.9		112.4		115,8	4,8	4,1
4V	117.4	112.4	114.2	116.1	117.2	127.7	131.8	127.7	120,6	7,3	6,1
1S			124				110.8		117,4	9,3	7,9
2S			116.3				107.1		111,7	6,5	5,8
3S	105.5	111.4	120.7	119.6	104.1	102.7	104.8	106.9	109,5	7,1	6,5
4S			108.4				107.6		108	0,6	0,1
A											
1V	1,63		1,795		1,28		2,06		1,69	0,33	19
2V	1,41		1,99		2,73		1,77		1,98	0,56	28
3V	1,98		1,79		1,4		1,58		1,69	0,25	15
4V	1,68	2,62	2,37	1,75	1,72	1,29	1,49		1,85	0,48	26
1S			1,09				1,94		1,52	0,6	39
2S			1,53				1,46		1,5	0,1	6,7
3S	2,38	2,06	2,07	1,4	2,14	2,17	2,25	2,24	2,09	0,3	14
4S			1,69				1,47		1,58	0,16	10

Sedla BX z různých let běžné výroby, L...odlitky, O...hotová

Výfuková	2	3	4	5	6	7	8	x	s	v
HRC										
095A	32,5	33	34,5	36,2	35,0	36,1	35,6	35,5	34,8	1,4 4
095B	40,2	40	39,8	36,8	34	35,5	37,8	38,8	37,9	2,3 6
096A	30,8	32,1	33,2	34,7	34,3	35,5	34	33	33,5	1,5 4,4
096B	34	35,5	37,2	36,8	37	36,5	37,5	35	36,5	0,9 2,5
L92A	37,5	40,6	41,2	43,7	44	43,3	44,2	42,5	41,7	2,5 6
L92B	39,8	41	41,1	44,1	43	43,5	42,8	39,2	41,4	1,7 4
L92C	40	42,8	41	43,5	42	42,2	40,1	39	41,3	1,6 3,8
Eo										

ŠKODA LIAZ 10-223 Ing.B.Skrbek,CSc.96040515 zadal p.Houska zkušebna

095A	145,3	144,9	144,9	145,3	149	150,9	148,8	146,6	147	2,3	1,6
095B	141,2	143,8	143	142,2	145,3	145,3	143	140,7	143,1	1,7	1,2
096A	142,9	140,6	141,8	144,1	144,7	147,1	145,8	142,7	143,7	2,1	1,5
096B	152,8	155,7	152,6	151,3	152,6	152,2	155,3	156,7	153,7	2	1,3
L92A	156,1	160,7	157,8	158	157,1	158,2	160,3	164,2	159	2,6	1,6
L92B	154,7	152,5	157,6	153,3	151,9	148,1	154,7	156,6	153,7	3	1,9
L92C	141,4	141,6	139,9	137,5	136,5	137,6	137,6	139,2	138,9	1,9	1,4
A											
095A	1,16	1,08	0,78	0,43	0,49	0,18	0,38	0,5	0,625	0,35	
095B	-0,14	-0,25	-0,16	0,46	0,86	0,57	0,23	0,15	0,215	0,39	
096A	1,6	1,45	1,18	0,78	0,83	0,48	0,84	1,17	1,04	0,37	
096B	0,52	0,06	-0,14	0,006	-0,1	0,023	-0,34	0,12	0,02	0,25	
L92A	-0,38	-1,3	-1,27	-1,82	-1,83	-1,75	-2,06	-1,92	-1,54	0,55	
L92B	-0,8	-0,93	-1,24	-1,63	-1,31	-1,19	-1,43	-0,77	-1,16	0,31	
L92C	-0,11	-0,67	-0,22	-0,56	-0,21	-0,32	0,07	0,2	-0,23	0,29	

Saci

	HRC										
095	47	45,8	36,8	41	45,6	47,5	48	45,8	44,7	3,8	8,6
092	37	37,1	37	36	35,8	34	32,6	34,5	35,5	1,6	4,5
096	30,8	35,5	36	36,8	37,1	37,2	37	35,2	35,7	2,1	5,9
L92A	49,5	50	48,8	49	50,5	49,1	49,8	48,5	49,4	0,7	1,4
L92B	40,8	41,5	45,8	44,8	45	47,2	43	43,2	43,9	2,2	5
L92C	35,5	37,3	40	46	41,2	40,8	38,8	33,8	39,2	3,8	9,6
	EO										
095	150,3	153	146,6	145	145	146	145,9	150,3	148,2	3	2
092	150,8	157	157,3	162	163,5	158,8	155,8	153,3	157,3	4,2	2,7
096	149,5	148,2	148,7	146,9	147,4	151,9	150	147,4	148,7	1,8	1,2
L92A	149,2	149,3	148,2	146	142,9	142	146,6	149,3	146,7	2,9	2
L92B	150,1	147,9	146,2	148,8	150,3	150,7	150,2	149,2	147,7	2	1,3
L92C	150,3	149,7	148,4	147,2	143,8	146,4	148,7	147,6	147,8	2	1,4
	A										
095	-2,04	-1,96	0,24	-0,51	-1,42	-1,86	-1,96	-1,75	-1,4	0,83	
092	-0,01	-0,35	-0,34	-0,36	-0,38	0,24	0,68	0,39	-0,02	0,41	
096	1,32	0,43	0,3	0,23	0,14	-0,11	0,03	0,52	0,36	0,44	
L92A	-2,48	-2,6	-2,27	-2,16	-2,25	-1,91	-2,36	-2,28	-2,25	0,23	
L92B	-0,75	-0,77	-1,54	-1,5	-1,63	-2,11	-1,21	-1,19	-1,34	0,46	
L92C	0,32	-0,02	-0,5	-1,64	-0,48	-0,55	-0,27	0,8	-0,29	0,721	

Sedla po provozu

	1	2	3	4	5	6	7	8	x	s	v%
HRC											
96020115 BY											
saci	41	36,5	37,1	38,6	36	36	40	40,8	38,3	2,1	5,6
zlom	38,8	35,5							37,2	1,6	4,4
vyf.	41	39,8	38,7	38,8	34,8	33,5	34,8	38,8	37,5	2,6	6,8
951208—19 436											
3V		48,3	48,2	49,5	48,8		48,8	49	48,8	0,5	1
6V	47,3		49	49,1	49,2	49,2	49	48,9	48,8	0,7	1,3
10V	50		49	48,7	49,1	49	49,5	49,8	49,3	0,5	1
96040515—BX											
1V		35	35,8	34,3	33,7	33,5	30,8	35,7	34,1	1,7	5
2V		37,3	37,1	37	35,1	30,2	37,1	38,2	36	2,8	7,6

ŠKODA LIAZ 10-223 Ing.B.Skrbek,CSc.96040515 zadal p.Houska zkušebna

095A	145,3	144,9	144,9	145,3	149	150,9	148,8	146,6	147	2,3	1,6
095B	141,2	143,8	143	142,2	145,3	145,3	143	140,7	143,1	1,7	1,2
096A	142,9	140,6	141,8	144,1	144,7	147,1	145,8	142,7	143,7	2,1	1,5
096B	152,8	155,7	152,6	151,3	152,6	152,2	155,3	156,7	153,7	2	1,3
L92A	156,1	160,7	157,8	158	157,1	158,2	160,3	164,2	159	2,6	1,6
L92B	154,7	152,5	157,6	153,3	151,9	148,1	154,7	156,6	153,7	3	1,9
L92C	141,4	141,6	139,9	137,5	136,5	137,6	137,6	139,2	138,9	1,9	1,4

A											
095A	1,16	1,08	0,78	0,43	0,49	0,18	0,38	0,5	0,625	0,35	
095B	-0,14	-0,25	-0,16	0,46	0,86	0,57	0,23	0,15	0,215	0,39	
096A	1,6	1,45	1,18	0,78	0,83	0,48	0,84	1,17	1,04	0,37	
096B	0,52	0,06	-0,14	0,006	-0,1	0,023	-0,34	0,12	0,02	0,25	
L92A	-0,38	-1,3	-1,27	-1,82	-1,83	-1,75	-2,06	-1,92	-1,54	0,55	
L92B	-0,8	-0,93	-1,24	-1,63	-1,31	-1,19	-1,43	-0,77	-1,16	0,31	
L92C	-0,11	-0,67	-0,22	-0,56	-0,21	-0,32	0,07	0,2	-0,23	0,29	

Sací

	HRC										
095	47	45,8	36,8	41	45,6	47,5	48	45,8	44,7	3,8	8,6
092	37	37,1	37	36	35,8	34	32,6	34,5	35,5	1,6	4,5
096	30,8	35,5	36	36,8	37,1	37,2	37	35,2	35,7	2,1	5,9
L92A	49,5	50	48,8	49	50,5	49,1	49,8	48,5	49,4	0,7	1,4
L92B	40,8	41,5	45,8	44,8	45	47,2	43	43,2	43,9	2,2	5
L92C	35,5	37,3	40	46	41,2	40,8	38,8	33,8	39,2	3,8	9,6
	EO										
095	150,3	153	146,6	145	145	146	145,9	150,3	148,2	3	2
092	150,8	157	157,3	162	163,5	158,8	155,8	153,3	157,3	4,2	2,7
096	149,5	148,2	148,7	146,9	147,4	151,9	150	147,4	148,7	1,8	1,2
L92A	149,2	149,3	148,2	146	142,9	142	146,6	149,3	146,7	2,9	2
L92B	150,1	147,9	146,2	148,8	150,3	150,7	150,2	149,2	147,7	2	1,3
L92C	150,3	149,7	148,4	147,2	143,8	146,4	148,7	147,6	147,8	2	1,4
	A										
095	-2,04	-1,96	0,24	-0,51	-1,42	-1,86	-1,96	-1,75	-1,4	0,83	
092	-0,01	-0,35	-0,34	-0,36	-0,38	0,24	0,68	0,39	-0,02	0,41	
096	1,32	0,43	0,3	0,23	0,14	-0,11	0,03	0,52	0,36	0,44	
L92A	-2,48	-2,6	-2,27	-2,16	-1,91	-2,36	-2,28	-2,25	-2,25	0,23	
L92B	-0,75	-0,77	-1,54	-1,5	-1,63	-2,11	-1,21	-1,19	-1,34	0,46	
L92C	0,32	-0,02	-0,5	-1,64	-0,48	-0,55	-0,27	0,8	-0,29	0,721	

Sedla po provozu

HRC	1	2	3	4	5	6	7	8	x	s	v%
96020115 BY											
saci	41	36,5	37,1	38,6	36	36	40	40,8	38,3	2,1	5,6
zlom	38,8	35,5							37,2	1,6	4,4
vyf.	41	39,8	38,7	38,8	34,8	33,5	34,8	38,8	37,5	2,6	6,8
951208—19 436											
3V		48,3	48,2	49,5	48,8		48,8	49	48,8	0,5	1
6V	47,3		49	49,1	49,2	49,2	49	48,9	48,8	0,7	1,3
10V	50		49	48,7	49,1	49	49,5	49,8	49,3	0,5	1
96040515—BX											
1V		35	35,8	34,3	33,7	33,5	30,8	35,7	34,1	1,7	5
2V		37,3	37,1	37	35,1	30,2	37,1	38,2	36	2,8	7,6

ŠKODA LIAZ 10-223 Ing. B. Skrbek, CSc. 96040515 zadal p. Houska zkušebna

5v		32,8	33,	33,2	35,7	36,7	35,7	36,7	34,8	1,8	5,1
6v		35,2	36,7	38,5	38	39	38,5	38,8	37,8	1,4	3,7
80											
	BY	GPa									
sací	106.6	106.4	113.4	125	126.9	128.9	116.1	112.3	117	8.4	0.7
zlom	110	110							110	-	-
výf.		109.1	119.1	127.3	127.3	129.4			124.2	7.9	0.6
	19	436						133			
3v		206		211		208.5		207.3	207.3	1	0.05
6v		208.5		208.6		208.5		209.6	208.8	0.5	0.02
10v		205.4		204.3		207.8		208.4	206.5	1.7	0.08
	BX										
1v		145.9	139.7	139.9	140.3	154.5	155.5	135.4	144.5	7.2	0.5
2v		140.7	145.7	147.3	141	149.7	145.7	147.3	145.5	3.2	0.22
5v		141.8	146	150.5	146.4	152.9	150.3	145.2	147.6	3.5	0.24
6v		147	148.2	147.4	148.3	147.6	149.6	151.9	148.6	1.6	0,1
A	BY										
sací	1.64	2.31	1.87	1.02	1.37	1.27	1.27	1.35			
zlom	1.78	2.28									
výf.		1.68	1.32	0.87	1.56	1.69		0.56			
	190436										
3v		-6		-6.7				-6.3			
6v				-6.4		-6.4		-6.4			
10v				-6		-6.3		-6.6			
	BX										
1v		0.64	0.78	1.1	1.1	0.54	1.1	1			
2v		0.44	0.23	0.17	0.73	1.3	0.23	0			
5v		1.26	1.03	0.79	0.47	0	0.28	0.33			
6v		0.54	0.18	-0.14	-0.08	-0.25	-0.25	-0.44			

14.01.1997
Ing. Skrbek
zpr. 970103/5

Sedlo motoru pro ply- nový motor VAUKESHA - analýza

ŠKODA LIAZ
12 - 230
Jablonec n/N.

1. Úvod

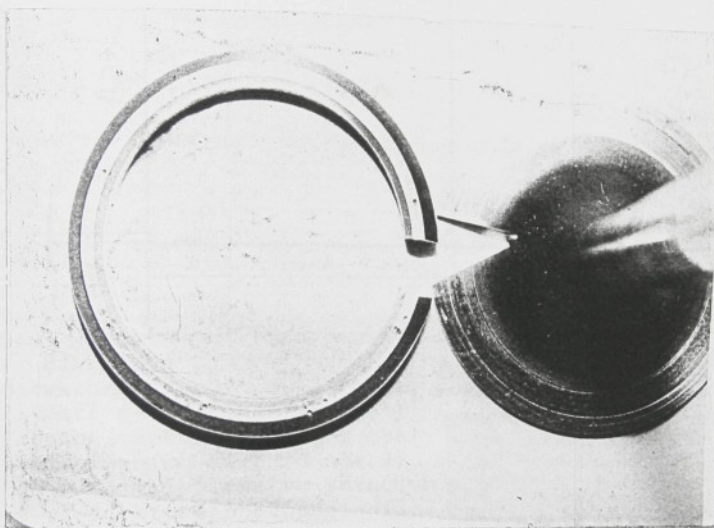
Předmětem této zprávy je sedlo ventilů z motoru na plyn VAUKESHA (dále jej označuji jen V). Firma se specializuje na plynové motory. Z provedené analýzy materiálu odvozují možný způsob výroby těchto sedel.

2. Výsledky

Před destrukcí sedla pro určení struktury a chemického složení jsem změřil jeho rozměry, tvrdost a rychlost zvuku.

Výrobní znak na sedle 304010K.

Celkový pohled na sedlo a ventil po odběru vzorků je na obr.1.



2.1. Tvrdost a rychlost zvuku

Měřena byla užší čelní plocha na osmi místech s počátkem u výrobního znaku - tab.1:

Místo	1	2	3	4	5	6	7	8	průměr
v_L m/s	6196	6274	6212	6080	6110	6214	6193	6196	6184 ± 61
HRC	39	39	39,5	38,5	38,5	38	39	39	$38,8 \pm 0,5$

Ocel standardní $v_L = 5930$ m/s.

2.2. Chemické složení

Analýza provedena na kvantometru ve Slévárně Liberec - tab.2:

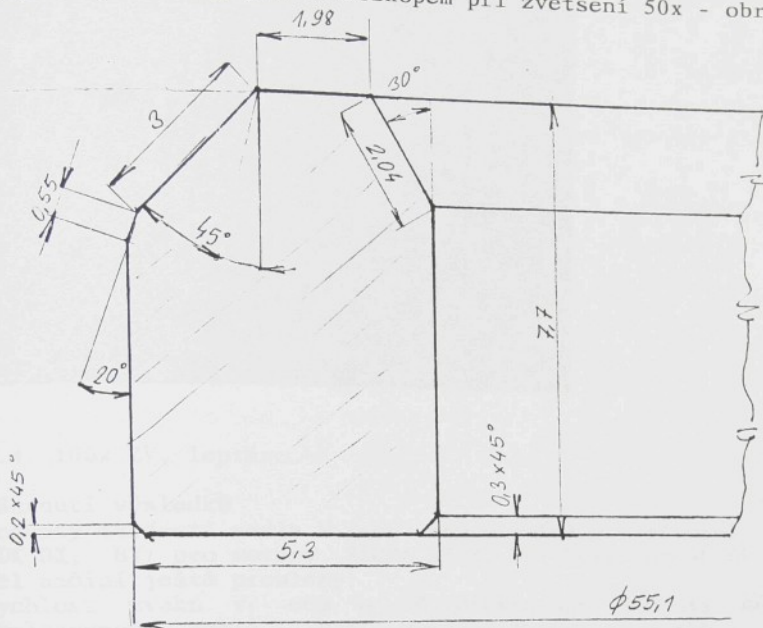
% C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	V	W
1,665	0,608	0,383	0,035	0,04	3,48	0,44	5,65	1*	1,6	2,6

As	Sb	Sn	Cu	Mg	Al	Pb	Bi	Fe
0,123	0,58	0,226	0,091	0,017	0,054	0,096	0,028	93,73

*...jen kvalitativní analýza.

2.3. Rozměry

Stanoveny na řezu pod mikroskopem při zvětšení 50x - obr.2.:



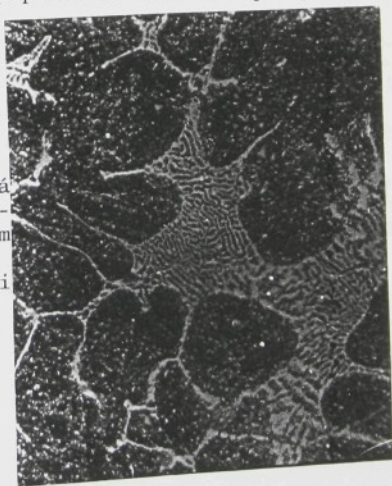
2.4. Struktura

Strukturu tvoří oblá zrna popuštěné struktury (sorbitu) o velikosti 6-7 (jemné "zrnění") obklopená tenkou souvislou obálkou komplexních karbidů (obr.3).

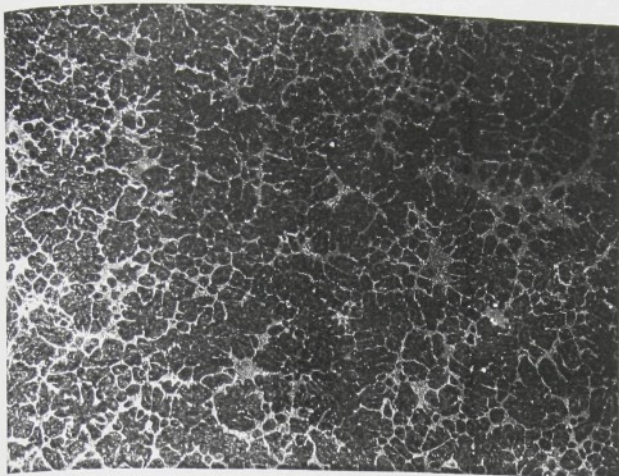
Zrna jsou vyloučena ve shlucích o vel. 3-4, které obklopují silná nepravidelá pole komplexních eutektických karbidů (obr.4).

Karbidy tvoří jednotlivá ostrohranná zrna jak to bývá zvykem u legovaných ocelí s podobným obsahem uhlíku.

Karbidy mají lamelární morfologii



Obr.3. 1000xZV, leptáno.



Obr.4. 100x ZV, leptáno.

3. Shrnutí výsledků

Hodnoty tvrdosti sedla V jsou srovnatelné s tvrdostmi sedel BU-ZULUK BX, BY1 pro motory ŠKODA LIAZ. Třískové obrábění takových sedel nečiní ještě problémy.

Rychlost zvuku v_L cca o 5% překračuje hodnoty běžné pro nízkolegované oceli. Při vyšší měrné hmotnosti pak lze předpokládat i výrazně vyšší hodnotu modulu pružnosti E_0 materiálu sedel V ($E_0 > 240 \text{ GPa}$). Sedla LIAZ z mater. BX mají E_0 asi 140 GPa a BY jen do 120 GPa.

Podle chemického složení materiál V se blíží komplexně legované nadeutektoidní oceli. Důraz není dáván na velmi vysoký obsah Cr (jako u ocelí POLDI 2002 ap.), jak se původně očekávalo, ale na vyšší obsahy standardních karbidotvorných legūr Mo, Cr, V, Ti a W. Zcela nekonvenční legování kovy As, Sb, Sn. Jde o komplex prvků se stabilizačními účinky na strukturu.

Struktura odpovídá litému stavu. Při tuhnutí se však nevytvořila vlivem pomalého ochlazování dendritická a jehlicovitá struktura orientovaná směrem toku tepla, nýbrž neorientovaná mozaika oblých zrn matrice se souvislou karbidickou obálkou. Takový tvar struktury se chová příznivě z hlediska adhezního opotřebení vůči protikusu - sedlové ploše ventilu.

Lití bylo provedeno do předeřtáté formy. Přitom dosažená vysoká jemnozrnnost a tvar struktury mohl být podporován očkovaním.

Konečná struktura byla získána zušlechťením. Kalení v proudícím vzduchu, popouštěcí teplotu a dobu by bylo nutno stanovit experimentálně.

Vhodná je metoda přesného lití na vytavitelný model. Pro ověření materiálu není nutné dodržení přesných rozměrů, ale odlití do předeřtáté keramické formy ($T \text{ cca } 900^\circ \text{C}$) a obstarání surovin.

Vypracoval

Ing. Bratislav Skrbek, CSc.

ŠKODA LIAZ Ing. B. Skrbek, CSc, 97010315 zadal Ing. K. Havlín

Jablonec	Oběžná kola	LIAZ 10-290
	002 a 005	Ing. B. Skrbek, CSc.
11.10.93	mater. zkoušky	01 10 93

1. Úvod

V současnosti probíhá změnové řízení NZ 01 0632/93 k oběžným kolům vodních čerpadel 1 1216 002 a 005. Cílem NZ je, aby materiál byl jednotný a skutečně odpovídal jakosti litiny ČSN 42 2420 při dostatečné obrobiteľnosti.

Výkres 1216 002 z r. 1968 vlastně povoluje mat. ČSN 42 2410 a 15. Tj. max tvrdost 180 HB. Při tom kontrolu na kuželi náboje nelze udělat. Výkres 1216 005 předepisuje na náboji 180 až 240 HB, což odpovídá jakosti 42 2420 až 25. Tvar náboje kontrolu umožňuje.

Cílem této zprávy je posouzení jakosti odlitků ob. kol ze sléváren Stráž a Cinobaňa, které byly v srpnu v LIAZ 01. Byla ověřena možnost tep. zprac. těchto kol. Byly upřesněny podmínky pro dosažení vyhovujících vlastností šedé litiny.

2.0. Materiál a zp. měření

Všechna kola byla změřena tvrdoměrem a ultrazvukem pro výpočty E_0 a R_m - viz. zprávy 93-28.

Tabulka 1 vlastností šedé litiny

Litiny L mm		4-8	8-15	15-30
42 2410	E_0 GPa	97,3	93,8	88,9
	HB	150-210	130-190	120-180
	min. R_m MPa	150	130	100
42 2415	E_0 GPa	110	106	97,3
	HB	170-230	150-210	140-200
	min. R_m MPa	200	180	150
42 2420	E_0 GPa	125	119,8	110
	HB	200-260	180-240	160-220
	min. R_m MPa	250	230	200

D

N

Hodnoty E_0 jsou orientační, neboť ve spojení s hodnotami HB

musí zaručit R_m . Tedy odlitek s dolní mezní tvrdostí musí mít vysokou tuhost-vysoký modul pružnosti E_0 a naopak.

2.1. Odlitky žihané a v litém stavu

Měřeno 12.8.93. Namátkový výběr z beden. Zbytek odl.v zářív.

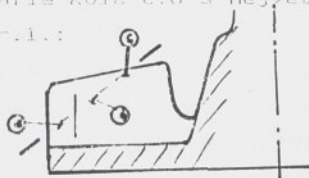
2.1.1. Odlitky M1674 ze Straže

Dávka cca 1500ks odl. 002 - výsledky jsou v tab.2

OZN.odl.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Náboj										
E_0 GPa	83,9	85,2	112,8	79	106,6	116,1	87,7	89,1	115,9	127
Deska										
E_0 GPa	84,3	82,4	102,4	87,2	96,5	108,7	84,1	95	106	122
R_m MPa	135	138	201	151	180	215	151	163	195	255
HB 1	164	175	207	180	195	207	187	167	182	218
L mm	6,5	5,9	5,7	5,8	5,5	5,8	5,8	6	6,1	5,9

Vnější ostře ukončení lopatek mělo v partii při vtloucích vždy menší nebo větší zavalení-studený spoj.

Metalografie kola č.6 s největší šancí na zákalku- na řezu lopatkou-obr.1.:



a) ledeburit do hl.1mm 50%,40%FERITU,bodový grafit.Studený spoj rozděluje oblast s 25 a 55%Perlitu spojitě, dvě bubliny 0,25mm 0,3mm pod povrchem.

b) GIA6, P vrstva 0,1mm,jádro 70%F,perlitP po hranicích eut. buněk s bodovým grafitem D,E.

c) hlava lopatky neobsahuje cementit.

Kolo 10 vybráno později - vráceno z LIAZ V.Krtiš kvůli neobrobitelnosti - cementit převážně i v hlavě lopatek.

Odlitky pak byly vyzhánány ve vozové peci 23.9.93-tab.3:

OZ.	DESKA						NÁBOJ	
	L mm	E_0 GPa	HB5/750	HB2,5/187	R_m MPa	L mm	E_0 GPa	
1	5,7	123,1	140	191	187	185	21,3	116,7
2	5,8	79,6	144	198	191	115	21	73,1

13	5,5	105,9	182	184	217	190	21,2	118,1
14	5,4	94,2	157	211	195	149	21,1	94,8

Žiháním došlo k snížení Rm asi o 70MPa.

2.1.2. Slévárna Cinobaňa-kola M3880

Dodávka cca 800ks. z LIAZ Krtíš, údajně se zákalkami a kola Cinobaňa s pomalým ochl. v peci. Výchozí stav-tab.4:

Kolo ozn.		C1	C2	C3	C4
RABOJ H	HB	146	155	173	198
	Eo GPa	80,2	78,9	86,1	93,9
	Rm MPa	117	120	144	174
DESKA D	HB	168	157	173	224
	L mm	5,75	5,85	6,6	5,8
	Eo GPa	127,4	108,5	110,3	121
	Rm MPa	218	169	192	258

Hodnoty Eo a Rm je třeba upřesnit skutečnými hodnotami z pevnostních zkoušek na zkusebních tyčích pro litinu sl.Cinobaňa. Kolo C4 má v hlavách lopatek zákalky.

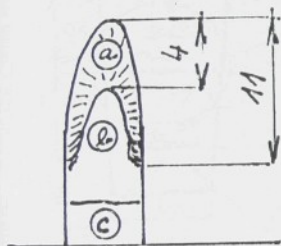
Po žihání v kalírně LIAZ01 v šachtových pecích vytaženy přípravky s koly na teplotu dílny.Tab.5:Kola C01,02 jsou ohrubována. Tímto žiháním se snížila Rm jen o asi 30MPa.

Kolo		C1	C2	C3	C4	C01	C02
H	HB10/3000	165	135	131	170	135	138
	Eo GPa	77,1	76,7	77,3	90,7	80	92,2
	Rm MPa	120,3	105	103	151	108	148
D	L mm	5,5	5,5	6,2	4,9	3,4	2,4
	HB5/750	168	158	173	198	145	180
	Eo GPa	127,4	108,5	110,3	121	92,2+	72,5+
	Rm MPa	182	159	159	222	137	-

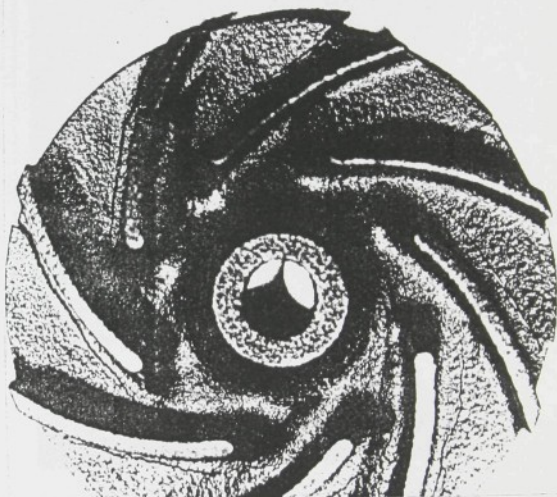
+...litina rozrušena trhlínkami.Deska kola C01 jednou magistralní a C02 celým vejírem mezi každou lopatkou-obr.3

Statist. kontrola 21 odlitků-tab.6:

místo	N		D			
Vlastnost	HB10/3000	Eo GPa	L mm	Eo GPa	Rm MPa	HB5/750
průměr X	155	79,2	5,17	99,2	164	166
sm.od. s	18.4	8,3	0,44	14,9	36,6	25,2
max.	192	97	6,2	126,7	231	222
min.	131	65	4,4	62	90	138



Obr.2 Blava lo-
patky kola C4.



Obr.3 Kolo M3880 č.C02 po
záhání.

Va srovnání s odlitky 002 ze Straže, kde deska je XL=5,8mm
s=0,28mm silna, maji odl. Cinobano velký rozplyt tloušťky
desky.

Metalografie lopatky kola C4 dle obr.2.:

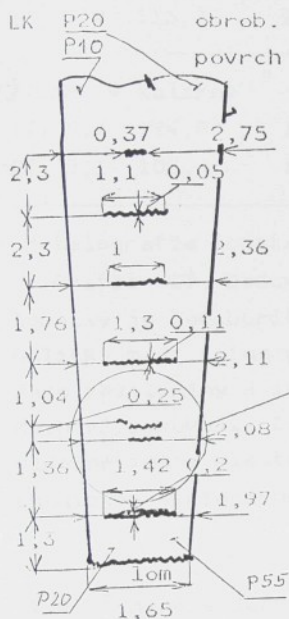
- GV-temperovy, u povrchu velmi jemny, 30 až 70% cementitu, v okolí grafitu ferit
- GIA6-tvoří síťoví EB, v kterých je grafit G bodovy. Perlit vrstva 0,1mm a hranice EB-eutektických bunek. 70%feritu F
- GIA5(D,E) v palě.

Metalografie desky kola C02 dle obr.4:

Ze strany obrob. povrchu vrstva 0,09mm perlitu a 0,096P50+F50
vrstva chybí v místech bodového grafitu na povrchu. Jádru

tvorí GIA v různých, EB 0,2mm s bod. grafitem, hranice EB GIA6 max.100um v tlustší stěně až 230um dlouhé lupínky gr.Ze strany licí kůry vrstva 0,15mm s 70%P. GI tenký smíšený. Rozložení perlitu- obr.4.

Polohu vnitřních trhlin ukazuje rovněž obr.4 v řezu A z obr.3. Na obr. 5 je trojitá trhlina z obr.4



Obr.4 Geometrie vnitřních trhlin desky kola CO2
Obr.5 Vnitřní trhlina trojitá ZV50x NITAL

Průběh lomové plochy se neorientuje k EB. Trhlinou uvolněná část desky B (obr.3) je vyhnuta k lopatkám.

Telefonicky nahlášené výsledky kontroly tvrdosti v LIAZ V. Krtiš na kolech 005 dodatečně odlitých bez zakalek v září 93 v Cincbani :

	HB
průměr X	176,5
směr. odch. s	5,2
přes 179 HB	23%
170 až 179	68%

2.1.3. Odlitky M3880 z Týniště nad Orlicí

Jde o zkušební dávku z (konce září 93) několika ks.-TAB.7:

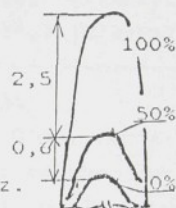
č.	D					N		
	Lmm	Eo GPa	HBS/750	HB2,5/187	Rm MPa	HBS/	Eo GPa	Rm MPa
1T	5,4	120,8	200	-	237	207	105,2	207
2T	5,5	129,1	184	207	245	196	108,6	206
3T	5,2	113,7	202	198	226	207	104	205
Žitáno v kalírně								
1T	5,4	124,8	185	-	235	167	100	166
2T	5,1	108,4	168	-	182	171	104,5	178

Metalografie lopatky kola 2T při vnitřním průměru dle obr.6:

Grafit GI bodový přechlazený v středu lopatky, HLAVA lopatky je ledeburitická-100% cementitu.

Odličky mají četné slávací vady, jako zavaleniny a zadrobeniny.

Mech.vl.vyhovují. Žitání působí nepřehledné změny vlastností i při vhodném chemickém složení-nerovnoměrné podm.ochlaz.



Obr.6. Průběh žitalky v lopatce kola 2T.

2.2. Žitáno s dochlazením na proudícím vzduchu

V laboratorní pecce, ochlaz. fénem. Všechny popisované žitací cykly mají austenitizaci při 900±20 st.C.Výdrž 2h.Tab.8.:

M3880	N			D			+ HBN +HBD	
	HBS/750	Eo	Rm	HBS/750	Eo	Rm	L	
C01	179	65,7	109	198	64,2	114	3,3	44 53
C4	158	94,3	150	179	113,4	211	5,3	12 1
C2	143	71,5	101	176	106,8	175	5,6	8 15
01047								
		100,5		176	99	170	6,1	9

Při žitání v kalírně bylo kolo C01 vystaveno dostatečně rychlému ochlazení. Tato skutečnost žitání ověřila provedení vý-

robního procesu žíhání v šachtových pecích.

2.3. Kalení a popuštění - mezní možnost k zvýšení tvrdosti.

2.3.1. Kalení do oleje 900/20

Provedeno na čtyřech vybraných odlitcích-tab.9.:

Kolo	kaleno olej 20stC					Popuštěno 620/1h				
	N		D			N		D		
	HRc	Eo	HRc	Eo	L	HRc	Eo	HRc	Eo	L
M3880										
C2	28	62,2	28	102,2	5,8	158	75,7	149/169	101	
C1	29	55	37/48	92	5,5	191	60	217	91/112	
M1647										
8		96,6	40/53	66	6,1		85,7	174/177	81/120	
10		84,9	41	97,8	5,8		64,7	210/217	97/101	

Metalografie-kolo C2-nekalitelně v oleji:

lopátka-grafit bodový, v desce EB 0,4mm GIA5, ferit vrstva 0,15mm, hranice EB jemná zrna F a rozpadlého martenzitu M, uvnitř EB řídce rozptýlený glob. cementit perlitický. Místy konce lupínek spojeny prasklinami. V hlavě lopatky není temp. grafit- v litém stavu zde nebyla zákalka.

2.3.2. Kaleno do vody - tab.10:

Kolo	Kaleno					pop.550					pop.600/1h				
	N		D			N		D			N		D		
	HRc	Eo	HRc	Eo	L	HRc	Eo	HRc	Eo	L	HRc	Eo	HRc	Eo	L
M1647															
9	81		95	50	6,2	80		91	304	75			83	285	
08+	96		106	52	5,4	97	325	109	321	85	321	103	317		
M3880	40							112	292					202	
C6	60	22	96	43	5,1	64	285	96	230	60	260	81	278		
C3	65	23	95	42	6,1	67	282	100	285	63	239	99	275		
		32		23					229					239	

+...oběžné kolo uvedené ve zprávě 93/28.

Metalografie kola 08:

lopatka - temperový grafit GV, ve stěně GIA6, na povrchu 0,17mmF a uvnitř homogenní sorbit (popuštěný martenzit).

Deska je prasklá. Lomová plocha prochází EB, řada vedl. prasklin přes lupínky grafitu. I mimo oblast lomu některé lupínky propojeny mikroprasklinami kolmými na celkové strukturální napětí v kole.

Prasklina začíná na obvodě ve studeném spoji-zavalenině a vede k ose kola přes lopatku.



Obr.7. Průběh lomu ob.kolem OB.

3.0. Chemické složení

Provedeno na kvantometru ve slévárně Ostašov Liberec, tab.11: SE...stupeň eutektičnosti

Kolo	Prvek	C	Mn	Si	S	Cr	SE	C/Si
04	%	3,75	0,32	1,35	0,108	0,06	0,98	2,78
001		3,58	0,5	1,84	0,153	0,04	0,97	1,95
6		3,56	0,67	1,93	0,075	0,08	0,972	1,84
8		3,77	0,65	1,86	0,065	0,15	1,02	2,03
21		3,5	0,5	1,75				

4. Shrnutí výsledků

Podle přísného kritéria z tab.1 z deseti obehých kol 002 sl. Stráž lze sestavit tab.12:

ks odl.002	Rm	2	4	2	1	HB	2	5	3
CSN 42 24	pod	10	10	15	20		10	15	20
vyhovuje		10%					30%		

Návrh změny doporučuje tedy kompromisní toleranci tvrdosti desky 180-240HB, do které se vešlo 70% měřených kol davky(až na 1 bez zakalky). Většina kol, ale měla na ostrém obvodovém konci lopatek zavaleniny v partii vtoků. Pokud mají jen povrchový char., nepůsobí rušivě. Jinak působí jako iniciátory lomů při namáhání - viz. lalene kolo OB.

Ustrá zakončení lopatek budou vždy s nějakou zakalkou. Při zkoušení je rovněž kritický výskyt zakalek na hlavách lopatek

při vnitřním průměru desky. Na odlitku proto doporučuji zaoblit vnější hranu lopatek a kontrolovat zákalku na vnitřním rohu lopatek. Toto by mělo platit pro kola M1647 i M3880.

Dávka kol M1647 ze Stráže obsahovala i tavbu se zákalkami, což namátková kontrola v LIAZ01 neodhalila. Hromadné přežíhání pak vedlo k nepřipustnému snížení mecch. vlastností kol původně bez zákalek, která tvořila většinu dávky. Pokud nebudou odlitky přejímány s atestem a po oddělených tavných bude nutno provádět jejich 100% kontrolu pilníkem na zákalku.

Ze 4 kol M3880 ve výchozím stavu pouze jedno C4 bylo se zákalkami a vyhovující tvrdostí. Některá kola neobsahovala původně zákalky - C2. Po žihání s ochlaz. na vzduchu dílny je rozložení jakosti 21 kontrolovaných odlitků :

42 24 pod10	10	15	20	Těžiště hodnot HB bylo v roz-
HB5	5	6	9	sahu 178-180HB, 62%. Kontrola
Rm	7	10	4	0 v LIAZ Krtiš po 100% přeměření

přijala (HB přes 179) jen 1/6 odlitků z celé dávky.

Částečně obrobená kola žiháním se potrhala. Lomy vedly vždy mezi lopatkami. Příčinou destrukce jsou napětí vyvolaná brzděním smršťováním velmi tenké desky vůči lopatkám. Velmi měkké kolo C01 s deskou L=3,4mm mělo 1 trhlinu a C02 s HB180 a L=2,4mm mezi každou lankou.

Vnitřní trhliny svědčí o tahovém napětí uvnitř stěn a tlakovém u povrchu. Licí kůra je pevnější jak obrobený povrch proto lomem uvolněná část desky kola C02 se vyhnula k lopatkám. Tento příčný gradient napětí vzniká při brzděním smršťování jádra stěny z nepevné litiny vůči oduhličenému a tedy pevnějšímu rychleji chladnoucímu povrchu. Tyto vnitřní lomy jsou uspořádány v rovinách, které prochází osou oběžného kola - paprskovitě. Magistrální lom deskou pak nastal v místě superpozice tahových makro a mikropnutí - nejde o nejtenčí místa desky. Tloušťka desky by neměla být tedy příliš nízká.

Velmi rozdílné hodnoty modulu E_0 mezi náboji a deskou těchto odlitků a celkové nízké hodnoty E_0 v nábojích kol M3880 svědčí o málo účinném očkovaní litiny.

Zařizovací dávka odlitků M3880 měla 2/3 hodnot tvrdosti v rozmezí 170 až 179HB, který není v rozporu s ČSN 42 2420 pro guartit náboje L=20mm, bylo proto povoleno zpracování odlitků s tvrdostí od 170HB.

Laboratorní žíhání s ochl. proudem vzduchu a žíhání v kalírně nerozložilo cementit lopatek kola C4. Podst. se zvýšila HB kola C01-viz.tab. Z rozborů plyne, že žíhání dle NZ je účinnější pro kola s nižším obsahem C a se zákalkou. Kolo C4 má extrémě vysoký poměr C/Si, který zaručuje stabilitu zákalky i při vysokém obsahu C a žíhání, ačkoliv tvrdosti nejsou vysoké.

Ani klasické zušlechťení nepřineslo zcela (dostatečně) vyhovující vlastnosti odlitků oběžných kol. Po kalení do oleje se podařilo zvýšit HB kola 8, kde žíhání nepomohlo, ale kola C1 a C2 s ještě asi vyšším obsahem C či SE dle Eo se dostatečně nezakalila. Kalení do vody zakalí kola i s nepříznivým chem. složením. Konečná tvrdost je vysoká. Lze ji řídit teplotou popuštění. Vysoká strukturní pnutí však u kol s nízkým SE vedou k praskání - kolo 08. Mikrotrhliny propojující konce lupínek grafitu byly zjištěny jak u kol kalených do vody tak do oleje a měkkých. Tuto vnitřní degradaci litiny citlivě popisují záporné změny hodnot modulu pružnosti Eo. Mikropraskliny usnadňují vylamování mikroobjemů mater. při kavitaci, proto zušlechťování oběžných kol nedoporučuji. Y tohoto hlediska by mohlo nadějně výsledky přinést isothermické kalení na bainit, neboť kalením do 400 st. teplé solné lázně přivádí podstatně menší pnutí do odlitku.

Desky kol nutno hlavně po žíhání měřit metodou HB5/750. Metoda HB2,5/187,5 vede k chybným výsledkům.

Kola z lyniště n. O. vynikají mech. vlastnostmi, ale mají nepřipustné zákalky a slév. vady. Změny mech.vlast. žíháním byly nerovnoměrné. Bude nutno pečlivě sledovat kvalitu litiny mnového dodavatele i způsob žíhání. Slévárny Straž n. M. a Cinobaňa se snažily předejít vyloučení zákalek litím kol o nízké jakosti-neoprávněné žíháním- nebo laborováním s chem. složením a nikoliv účinným grafitizacím očkovaním očkovaďly např. f. ELKEN do lici pánve nebo lépe ve formě. Při ceně žíhání v hromadě na vozové peci 2Kč/kg a množství 1,5% očkovaďla při 70% využití tohoto kovu si slévárna může dovolit cenu očkovaďla do 100Kč/kg bez úpravy ceny odlitku.

Závěry

a) Soubory odlitků ze Straže i Cinobani obsahovaly různé

tavby s takovým rozptylem vlastností, že je bez předchozího 100% roztrídění nelze bezezbytku dobře obrobit ani vyžíhat na vyh. mech. vlastnosti.

b) Oběžná kola je třeba dodávat odděleně po tavbách s atestem chem. slož. C, Si, Mn, Cr a výšky zákalky na klínku (nejběžnější slévarenská zkouška materiálu). Smíšené dávky je třeba 100% roztrídít na výskyt zákalky na vnitřním konci lopatek.

c) Zaoblit vnější konce lopatek, aby netvořily ostré cementitické hrany náchylné na odlamování a zavalení. Po obrobení musí vyjít tyto konce ale s ostrými hranami.

d) Odlitky s nízkými hodnotami tvrdosti v litém stavu nelze žiháním opravit.

e) Měření tvrdosti na deskách kol pouze metodou HB5/750.

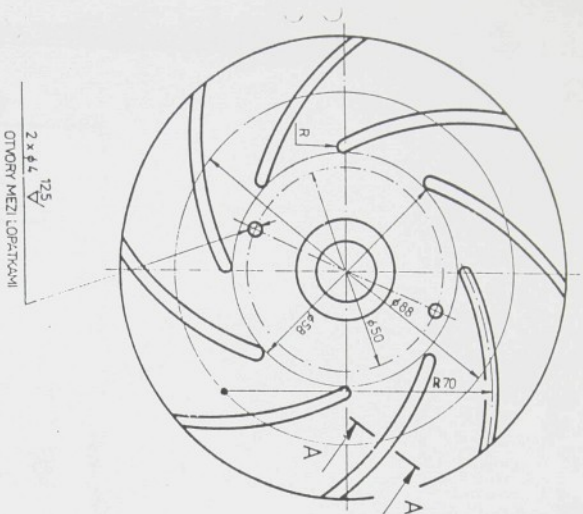
f) Při měření tvrdosti na nábojích kol lze tolerovat rozsah tvrdosti 170-230HB. Neodporuje ČSN 42 2420.

g) Pokud slévárna dodává smíšené tavby a odlitky s nízkými mech. vlast. v litém stavu, je z hlediska užitných vlastností vhodnější dodávat odlitky s vysokými hodnotami mech. vl. vhodné pro opravné žihání (účel slévárny).

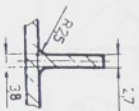
Vypracoval 
Ing. Brěetislav Skrbek, CSc

Technical drawing of a mechanical part, likely a bracket or support, showing dimensions and features. The part has a central vertical section and two side flanges. Key dimensions include a total width of 115h11, a central hole diameter of 26, and various radii and angles. Features are labeled with callouts A, B, C, D, E, and F. Surface textures are indicated by symbols like 0.1, 0.05, and 0.8.

10 93


$$\frac{2 \times \phi 4}{\text{OTVORY MEZI LOPATKAMI}}^{125} \text{ A}$$

A-A ○



- 7) PRÍDA ODPADU DLE ČSN 42 0030
- 6) MÍSTO PRO ZNAČENÍ
- 5) HRUBÁ HMOTNOST COHADEM
- 4) MÍSTO PRO MĚŘENÍ TVRĐOSTI
- 3) T/RDOST 180-220HB
- 2) PŘÍRUKA DLE ČSN 01 44703

1. OD: TEK DLE ČSN 42 1241 M

[illegible]

14.07.1998 Ing. B. Skrbek zpr. 980788SZ	Zdvihátka ventilů ŠKODA pro os. vozy NDT měř. hl. zákazky	ŠKODA MOTORY 22 - 242 Jablonec n. N.
---	--	--

1. Úvod

Touto zprávou završuji experimentální část technické pomoci slévárně Žandov (objednávka 64/98 z 18.2.1998).

Tvoří komentář k paralelně vypracované diplomové práci [1], jejíž příslušná část byla slévárně již zaslána, s rozvedením dílčích výsledků k dalším poznatkům.

2. Zadání

Válcové odlitky $\phi 23 \times 47,5$ mm lité na kovovou desku se obrábí do konečné podoby dle výkresu v příloze (pro motory f. VW). Zachlazené čelo má předlito drážkování 0,3 až 0,5 mm. Vtok $\phi 11$ mm ústí v druhém čele odlitku. Materiál odp. jakosti ČSN 42 2420.

Předepsaná tloušťka Z zákalky na odlitku

$<3,5;5,5>$ mm

(předpokládám měření Z ode dna drážek),

tvrdost $<51;55>$ HRC $<548;626>$ HV.

Měření zákalky se provádí nyní po rozlomení válce vizuelním odhadem na předepsaném statistickém množství odlitků. Měření tvrdosti po odbroušení drážek čela se provede v ose.

Cílem technické pomoci je aplikovat efektivnější nedestruktivní kontrolu tloušťky zákalky odlitků bez speciální úpravy jejich povrchu.

3. Výsledky

Množství vzorků (odlitků zdvihátek) pro zkoušky je dostatečné. Skladba četnosti tlouštěk zákalek Z v souboru však není optimální; pro dosažení optimální regrese tak nebyly dostatečně zastoupeny odlitky se slabšími zákalkami:

intervaly Z mm	<0,5/1,5/2,5/3,5/4,5/5,5/6,5/7,5/8,5>8,6									
četnost N ks	0	2	0	1	1	4	5	3	5	3

Tabulky magnetických hodnot M měřených přístrojem DOMENA (M_{*L} režim krátké a M_{*LL} dlouhé magnetizace) a modulu pružnosti E_0 měřených ultrazvukem, chemického složení jsou v příloze.

Pro magnetické stanovení Z platí optimální vztah

$$z_M = 0,0654 \times M_{*L} + 6 \quad K = 0,9 \quad (1)$$

Pro ultrazvukové stanovení (není uvažován vzorek 19)

$$z_U = 0,10607 \times E_0 - 13,8 \quad K = 0,906 \quad (2)$$

kde počáteční modul pružnosti v MPa

$$E_0 = (437,8 \times L/L_u)^2 \quad (3)$$

3. Porovnání přesnosti měření tl. zákalky.

Za objektivně nejpresnější určení hloubky zákalky z musíme považovat metalografické, neboť respektuje podmínky normy pro zdvihátka [2]. Její definice respektuje požadavek max. kontaktní odolnosti.

Tabulka 1 obsahuje tloušťky zákalek stanovené různými postupy kontroly. Výstupní kontrolor slévárny z_{d1} a vstupní TK obrobny z_{d2} . Tvrdost je měřena na řezu v ose zdvihátek a svými maximálními hodnotami většinou přesahuje doporučenou toleranci. Tloušťka

z_T měřena na hladině 540HV10. V oblasti výskytu grafitových ok a přechodové zóny je měření HV zatíženo velkým rozptylem hodnot.

Tab.1		z		z tvrdosti		nedestruktivně		vizuelně	
vzorek	mm	HVmax	z_T	z_M	z_U	z_{d1}	z_{d2}		
1	8,8	723	6,5	6,1	8	9,5	9,8		
2	7,9	730	7,5	6,6	7,5	7,5	5,0		
3	6,3	686	5,9	6,5	5,9	8	5,8		
4	5,7	686	3,7	7,4	6,1	6	4,9		
5	5,6	764	4,5	7,1	5,4	5,5	4		
6	4,6	730	4,8	4,7	5,13	5,5	3,8		
7	7,3	720	6,5	7	6,6	8	4		
8	7,6	740	5,5	6,4	6,7	8,5	6,5		
9	8,6	764	5,5	8,8	8	10	6,7		
10	5,6	668	5,2	5,8	5,4	6	4,5		
11	4,7	705	4,3	5,7	5,6	5,5	3,5		
12	6,3	720	5,5	6,2	5,4	6	4,6		
13	5,7	723	4	5,2	5,7	4	2,7		
14	7,6	530	5	6,7	7	9,5	5,1		
15	7,5	667	7,5	3,9	7,7	8	4,3		
16	2,6	676	2,2	2,2	3,6	3,5	2,8		
17	0,8	506	0,5	0,8	0,9	1,5	1		
18	1,2	635	0,8	1,1	1,8	2	1,9		
19	7,4	730	7	6,2	3,3	4,5	3,3		
20	7,7	704	7,2	8	6,2	9	4,4		
21	5,5	743	5	8,7	6,4	8,5	6		
22	0,5	627	>8	8,6	12,4	10	10,4		
23	8	780	7,5	7,5	5,9	8	5,3		
24	3,6	743	3,8	5,4	4,9	3,5	3,1		
25	5	705	5,7	7,6	5,7	5,5	4,1		
26	4,9	786	3,8	7	6	6	3		

Hodnocení tloušťky zákalky z průběhu tvrdosti proto není vhodné ani jako destruktivní metoda.

Střední δz a maximální δz_{max} chyby stanovení Z jednotlivými metodami doplňuje v tab.2 odhad t času na kontrolu jednoho odlitku.

Tab.2.	tvrdost	magneticky	ultrazvuk	vizuelně 1.	vizuelně 2.
mm					
δz	0,9	1,1	0,92	1,0	1,7
$\delta z_{\max}$	3,1	3,6	4,1	3	4,3
t [s]	1800 D	6	24 (6)	15 D	15 D
tab.3					
$<Z_{\min}$	0	0	2	1	8 !
$>Z_{\max}$	3	1	1	1	0

D...destruktivní metoda.

Tab.3 ukazuje kolik odlitků s výrazně vyšší zákalkou ($>Z_{max}$) a s nedostatečnou tloušťkou zákalky ($<Z_{min}$) daná metoda v rámci provedeného experimentu na 26 odlitcích neodhalila. Naprosto vyhovující v tabulce 3 je tedy údaj rovnající se nule.

4. Shrnutí

Všechny metody jsou zatíženy přibližně milimetrovou chybou v odhadu tloušťky zákalky!

Z tabulek 2 a 3, pokud bereme za prioritní kritérium odhalení příliš silných zákalek (předcházení ztrát na nástrojích při obrábění) a kadenci kontroly, vychází nejlépe magnetická kontrola přístrojem DOMENA. Přístroj po zadání výrazu (1) do paměti přímo ukazuje hodnotu Z. Těto metodě může spolehlivostí (nikoliv kadenicí) konkurovat dobře zacvičený kontrolor vizuelním odhadem, ale s vyšším rizikem neodhalení příliš tenké zákalky.

Ultrazvuková kontrola je méně spolehlivá při odhadu tenkých zákalek. Nutno měřit ultrazvukem fiktivní délku L_u odlitku a skutečnou L posuvným měřítkem. Z_u se pak stanoví výpočtem. Pro dodržení vysoké kadence měření 6s se měří jen ultrazvukem a zanedbává se rozptyl délky odlitku (počítá se střední délkou $L_{str}=47,8$). Tímto postupem se však zvýší pravděpodobná chyba určení Z o dalších 0,5mm s rizikem max. přírůstku chyby o 1,3mm. Jiné spolehlivé využití ultrazvuku spočívá (ve spojení s měřením tvrdosti) v určení pevnosti v tahu R_m dítku či jiných částí odlitků z grafitických litin.

Vizuelní kontrola zákalek je velmi subjektivní metodou. Vzájemné odhady tloušťky zákalky různými kontrolory se mohou lišit v průměru o 2mm a max. až o 4,6mm!

Další zpřesnění odhadu Z i magnetickou metodou vyžaduje zahrnutí stupně eutektičnosti SE nebo hodnot M5Ld z dítku do výpočtu. Výraz dle DP však doporučuji revidovat s ohledem na určení chemického složení všech zdvihátek (příloha).

$$Z = f(M5L, SE) \quad Z = f(M5L, M5Ld)$$

Zvětší se však jednotkový čas min. na 15s, neboť výpočet Z bude třeba provést na kalkulačce.

Přístroj DOMENA STRUKTUROSKOP B2 navíc spolehlivě měří množství perlitu a tím i tvrdost odlitků z grafitických litin a ocelí.

5. Závěr

Pro kontrolu tlouštěk zákalek na odlitcích válcových zdvihátek je optimální aplikovat metodu magnetického bodového pólu přístrojem DOMENA B3. Po dodání přístroje od firmy ELKOSO Brno provedu ve slévárně Žandov přenos výrazu (1) do jeho paměti a seřízení totožnosti hodnot M podle dodaného litinového etalonu. Bude zaškolená obsluha dle kontrolní návodky. Další zpřesňování metody doporučuji provádět metalografickým stanovením [2] Z odlitků s extrémními hodnotami M5L.

Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Literatura:

[1] Fiala Stanislav. Nedestruktivní materiálová diagnostika tvrzené vrstvy zdvihátek ventilů. Diplomová práce, KM TU Liberec 1998.

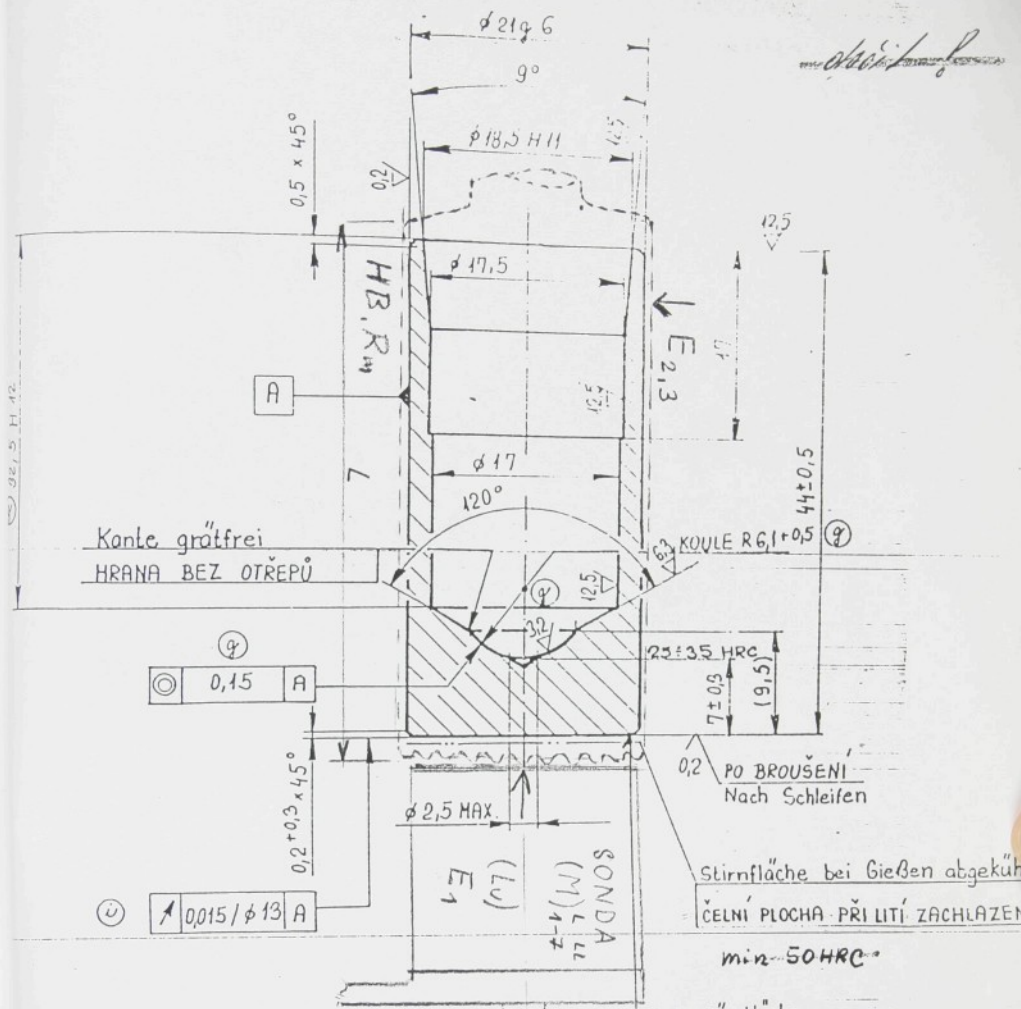
[2] ČSN 30 2205. Zdvihátka ventilů.

Ozn.	SE $\times 10^{-3}$	C/Si	C	Si	P	Mn	S
1	969	1,92	3,48	1,81	0,32		
2	1016	1,98	3,66	1,85	0,24	0,51	
3	952	1,9	3,44	1,8	0,26	0,63	
4	1023	1,88	3,62	1,93	0,34		
5	1022	1,94	3,65	1,88	0,3		
6	1022	1,79	3,61	2,02	0,31	0,72	0,075
7	914	1,73	3,22	1,87	0,47		
8	906	1,72	3,24	1,88	0,3		
9	906	1,83	3,25	1,78	0,34		
10	1009	2,1	3,65	1,74	0,28		
11	1005	1,775	3,55	2	0,43		
12	1049	1,76	3,66	2,08	0,42		
13	985	1,82	3,5	1,92	0,33		
14	1006	1,9	3,61	1,9	0,24	0,53	
15	935	1,83	3,33	1,97	0,26	0,66	0,086
16	1054	1,49	3,66	2,46	0,07		
17	1088	1,57	3,76	2,39	0,19		
18	1075	1,59	3,73	2,35	0,18		
19	988	1,79	3,52	1,97	0,26	0,66	0,086
20	1020	1,93	3,67	1,9	0,21		
21	1000	1,88	3,59	1,9	0,23		
22	846	1,92	3,11	1,62	0,22		
23	989	2	3,62	1,72	0,18	0,72	0,075
24	1047	1,87	3,73	2	0,22		
25	1007	1,84	3,55	1,93	0,42	0,86	0,075
26	1029	1,95	3,68	1,89	0,28		

Měření zdvínátek Žandov.

tabulka naměřených a interpolovaných hodnot

	M7L	M4LL	M1LL	M2L	M3L	M4L	M5L	M7L	M7LL	M4L	E1	E2	E3	HB	Rm
1	266	157	84	106	129	169	184	353	342	244	195.1	136.0	132.1	214	275.7
2	281	171	89	110	137	174	192	350	363	240	189.3	130.5	129	203	257.7
3	276	175	85	105	137	171	191	340	366	221	174.4	129.4	105.1	250	239.0
4	289	182	97	119	147	175	205	366	387	257	160.2	124.0	156.8	211	257.9
5	285	172	94	117	143	160	200	367	395	259	157.9	119.9	122.2	207	246.0
6	247	145	78	89	120	142	153	361	380	256	159.4	117.9	119.7	230	260.2
7	285	180	94	115	135	170	188	339	334	212	179.9	127.2	129.3	234	287.9
8	276	165	85	104	132	165	189	337	339	223	171.5	127.5	116.5	224	247.2
9	314	189	102	122	160	191	227	362	341	238	190.0	135.9	137.5	245	319.5
10	253	158	86	103	126	157	181	375	378	244	160.0	119.7	119.7	215	247.3
11	256	152	82	105	127	153	179	387	369	249	158.0	121.0	124.5	224	266.8
12	278	166	88	109	135	157	186	355	338	223	172.9	119.8	117.3	202	230.4
13	245	147	79	98	123	150	171	370	374	253	166.4	121.6	128.6	229	281.5
14	287	175	88	113	141	173	194	348	352	216	178.9	129.8	129.5	219	274.1
15	225	136	75	86	110	133	151	344	355	224	190.8	133.8	135.6	228	298.1
16	204	106	65	70	92	105	124	305	289	212	139.4	108.5	108.5	170	185.1
17	185	86	53	60	74	91	104	332	348	240	111.2	91.7	94.7	177	163.3
18	187	92	56	61	79	96	108	354	327	226	109.1	87.3	97.2	184	173.3
19	279	164	89	103	132	159	186	496	429	267	159.3	106.7	102.7	306	271.5
20	318	185	99	120	151	191	213	370	374	254	190.7	124.4	126.4	236	282.4
21	346	191	105	128	158	198	224	368	388	309	170.7	125.8	127.1	229	277.7
22	339	185	98	115	153	191	222	311	333	240	20.8	162.8	151.9	285	401.5
23	303	180	94	113	146	178	206	602	469	339		122.7	86	450	297
24	280	153	82	97	134	148	174	380	371	277	130.6	116.4	118.7	211	241.3
25	322	176	91	110	140	174	207	409	425	285	153.3	121.5	127	210	259.9
26	324	185	94	112	145	177	198	433	397	287	161.2	123.5	121.1	234	267.1



Platz für Härtemessung:

Kreisring $\phi 12/\phi 16$

HÍSTO PRO MĚŘENÍ TVRDOSTI

MEZIKRUŽÍ $\phi 12/\phi 16$

Fläche bezeichnet Karbonitriert nach Tiefe 0,01 mm.
 PLOCHA OZNAČENÁ KARBONITRIDOVANÁ DO HL. 0,01 mm. (9)

Tiefe Abgekühlter Schicht 5 - 2,5 mm.
 HLOUBKA ZAKALENÉ VRSTVY 5 - 2,5 mm.

*

Werkstückkanten
 Edge finish
 VW 010 BB

791

Werkstück
 Part
 Name
 Drawing
 Date
 Scale
 Material
 Heat treatment
 Surface finish
 Tolerances
 Notes

Ø(✓)

Werkstück
 Part
 Name
 Drawing
 Date
 Scale
 Material
 Heat treatment
 Surface finish
 Tolerances
 Notes

Werkstück
 Part
 Name
 Drawing
 Date
 Scale
 Material
 Heat treatment
 Surface finish
 Tolerances
 Notes

Werkstück
 Part
 Name
 Drawing
 Date
 Scale
 Material
 Heat treatment
 Surface finish
 Tolerances
 Notes

Werkstück
 Part
 Name
 Drawing
 Date
 Scale
 Material
 Heat treatment
 Surface finish
 Tolerances
 Notes

Werkstück
 Part
 Name
 Drawing
 Date
 Scale
 Material
 Heat treatment
 Surface finish
 Tolerances
 Notes

Werkstück
 Part
 Name
 Drawing
 Date
 Scale
 Material
 Heat treatment
 Surface finish
 Tolerances
 Notes