

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálu

Materiály a technologie

Materiálové inženýrství

CHARAKTER A PŘÍČINA VNITŘNÍCH VAD VÁLCŮ

**CHARACTER AND CAUSE OF INHERENT DEFECT
OF CYLINDER HEADS**

KMT – B – 130

JAN KUBIŠTA

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

Konzultant: Ing. Pavel Šlahora, CSc.

Rozsah práce: 39

Počet obrázků: 12

Počet tabulek: 11

Počet grafů: 2

Počet příloh: 4

V České Lípě dne 25.května 2007

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2007

JAN KUBIŠTA

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy). Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jinému využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V České Lípě dne 25.května 2007

Jan Kubišta

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálu

Materiály a technologie

Materiálové inženýrství

Anotace

Obsahem této bakalářské práce bylo zjištění charakteru a příčiny vnitřních vad hlav válců, odlévaných ve společnosti Česká železářská společnost s.r.o., provozovna FEREX – castings Liberec a jejichž odběratelem je společnost Tedom s.r.o., divize Motory Jablonec nad Nisou.

Byl především sledován průběh zmetkovitosti hlav válců M3348 v posledních třech letech a přijatá opatření k jejich minimalizaci. Dále byla provedena metalografická expertíza kritických míst hlav válců.

Všechny výsledky byly diskutovány a stanoveny závěry příčiny vzniku vad, včetně možných opatření ke snížení zmetkovitosti.

Annotation

Subject of this bachelor thesis was authentication of character and possible causes of inherent defects of cylinder heads, which are made in company Česká železářská společnost, division FEREX – castings Liberec, whose customer is company Tedom, division Motory Jablonec nad Nisou.

It was especially monitoring the progress in scraps for cylinder heads M3348 in the last three years and remedial measure for their minimization. Further there is provided metallographical documentation of critical places of cylinder heads.

All results were discussed and the conclusions of inherent defect of causes were set, including possible remedial measure for decrease of scrap.

Poděkování

Vyjadřuji poděkování vedoucímu své bakalářské práce panu doc. Ing. Břetislavu Skrbkovi, CSc. a konzultantovi panu Ing. Pavlu Šlahorovi, CSc. za odborné vedení a pomoc v rámci konzultací dané problematiky. Také děkuji Všem ostatním pracovníkům katedry a firem Tedom s.r.o., divize Motory Jablonec nad Nisou a Česká železářská společnost s.r.o., provozovna FEREX-castings Liberec, kteří mi byli nápomocni při řešení daných úkolů.

V České Lípě dne 25.května 2007

Jan Kubišta

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s pomocí uvedené literatury.

V České Lípě dne 25.května 2007

.....

vlastnoruční podpis

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	TEORETICKÁ ČÁST	9
2.1.1	Litiny	9
2.1.2	Rozdělení litin podle tvaru grafitu	9
2.1.3	Litiny s lupínkovým grafitem - GJL (LLG)	10
2.1.4	Třídění litin s lupínkovým grafitem	10
2.2	Výroba jader a forem	13
2.2.1	Formovací směsi I. generace	14
2.2.2	Formovací směsi II. generace	14
2.2.3	Formovací směsi III. generace	15
2.2.4	Metoda Cold-Boxu (CB)	15
2.2.5	Metoda Hot-Boxu (HB)	15
2.2.6	Vliv formy na vnitřní jakost litiny	16
2.3	Proces zpracování litin	16
2.3.1	Tavení litiny v kuplovně	16
2.3.2	Očkování litin s lupínkovým grafitem	19
2.3.3	Žhánění k odstranění vnitřního pnutí	20
2.4	Charaktery a příčiny vad odlitků	21
2.4.1	Třídění vad odlitků dle ČSN	22
2.4.2	Dutiny - bubliny	23
2.4.3	Rozpustnost plynů	23
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	25
3.1	Příprava formy pro odlévání	25
3.1.1	Metoda Cold-Boxu (CB)	26
3.1.2	Metoda Hot-Boxu (HB)	27
3.2	Průběh zmetkovitosti	27
3.2.1	Vady hrubých odlitků	28
3.2.2	Průběh sledování zmetkovitosti	28
3.2.3	Materiálová přejímací kontrola	29
3.2.4	Kontrola slévárenských vad	30
3.3	Metalografická dokumentace	35
3.3.1	Fotodokumentace mikrostruktur	38
4	DISKUZE	43
5	ZÁVĚRY	44
6	LITERATURA	45

1 ÚVOD

Hlavním tématem této bakalářské práce je zjištění charakteru a příčiny vnitřních vad hlav válců vznětových motorů, které jsou odlévány ve společnosti Česká železářská společnost s.r.o, provozovna FEREX – castings Liberec a jejichž odběratelem je společnost Tedom s.r.o., divize Motory Jablonec nad Nisou.

Byl především sledován průběh vývoje zmetkovitosti hlav válců M3348 v posledních třech letech a přijatá opatření k jejich minimalizaci. Také byl sledován průběh materiálových přejímacích kontrol ke zjištění vlastností litiny s lupínkovým grafitem 422425.2 a průběh zkoušek natlakování hlav válců v průběhu zpracování. Dále byla provedena metalografická expertíza kritických míst hlav válců.

Všechny získané výsledky z této bakalářské práce byly diskutovány a byly formulovány závěry.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1.1 Litiny

Litiny tvoří hlavní skupinu materiálů, které se užívají pro výrobu odlitků, s celkovým podílem ve slévárenství více než 80%. Za litiny jsou považovány slitiny železa s uhlíkem, které mají ve struktuře eutektikum, neboť hranice 2% jako nejvyšší rozpustnost uhlíku v austenitu není konstantní, ale mění se s přítomností dalších prvků v litinách. Těmi jsou zejména křemík (Si), jehož obsah se pohybuje v rozmezí 0,3 - 4 % a další přísadové prvky jako jsou mangan (Mn), fosfor (P) a síra (S). [2]

Samotné litiny lze poté rozdělit podle několika hledisek, přičemž základním kritériem pro určení druhu litiny je především tvar vyloučeného grafitu. Názvy jednotlivých druhů litin, značky a číselné označení zde uvedené, respektují normu ČSN EN 1560.

2.1.2 Rozdělení litin podle tvaru grafitu

Litiny s lupínkovým grafitem - GJL (LLG)

Tento typ litin, jenž se dříve označoval jako litiny šedé, obsahuje grafit ve tvaru prostorových útvarů, které se na metalografickém výbrusu zobrazují jako lupínky. Jejich délka je mnohonásobně větší než jejich tloušťka a konec lupínků je ostrý. Oblast připadající jednomu prostorovému útvaru se nazývá eutektická buňka. [3]

Litiny s kuličkovým grafitem - GJS (LKG)

Dříve označovaná jako litina tvárná, obsahuje grafit ve formě kuliček. Z hlediska výsledných vlastností litiny je ideálním tvarem dokonalá kulička grafitu. Často se však vyskytují podoby grafitu jako "nedokonale zrnitý". Zde je eutektickou buňkou oblast příslušející právě jednomu útvaru grafitu - jedné kuličce. [3]

Litiny s červíkovým grafitem – GJV

Červíkový grafit u této litiny (dříve uváděná pod názvem vermikulární) má obdobnou morfologii jako grafit lupínkový. Ve srovnání s GJL jsou však útvary grafitu kratší, tlustší a jejich konce bývají zaoblené. Vermikulární litina také obvykle obsahuje určité množství lupínkového nebo kuličkového grafitu. [3]

Temperované litiny – GJM

Dělí se na litiny s bílým lomem GJMW a s černým lomem GJMB. Grafit v litině s černým lomem, případně i v litině s bílým lomem má tvar vloček. [3]

2.1.3 Litiny s lupínkovým grafitem - GJL (LLG)

Litina s lupínkovým grafitem (dříve označovaná jako „šedá“) je základním představitelem litin. Vlastnost této litiny je závislá především na množství a uspořádání grafitu a teprve následně na vlastnostech základní kovové hmoty. Samotný grafit má velmi malou pevnost a pokud se zmenšuje nosný průřez základní kovové hmoty, klesá i pevnost litiny. Současně na koncích těchto „lupínků“ vzniká koncentrace napětí a čím více jsou tyto konce ostřejší, tím větší je vrubový účinek. [2]

Převážná většina těchto litin se taví se stupněm eutektičnosti $S_e = 0,75 - 1,1$, tzn. jako podeutektické až slabě nadeutektické. Litiny s lupínkovým grafitem s nízkým stupněm eutektičnosti mají vzhledem k nízkému podílu grafitu ve struktuře pevnost až 350 MPa, zatímco nadeutektické s hrubým primárním grafitem mají pevnosti pod 150 MPa. [2]

Nejlepší slévárenské vlastnosti mají eutektické litiny. S klesajícím stupněm eutektičnosti roste teplota tavení a lití, klesá zabíhavost, roste sklon ke vzniku karbidů (zákalů) v rychleji chladnoucích částech odlitku i sklon ke vzniku staženin a vnitřních pnutí. U litin s lupínkovým grafitem je velice významný vliv rychlosti chladnutí odlitku na jeho strukturu a následné mechanické vlastnosti. Pokud chladne litina velmi pomalu, tak probíhá tento proces dle stabilního diagramu Fe - C a ve struktuře vzniká hrubý grafit a ferit. Pokud rychlost chladnutí roste, přibývá perlit na úkor feritu a zjemňují se lupínky grafitu. Při dalším růstu chladnutí se ve struktuře již začínou objevovat karbidy až nakonec odlitek získá ledeburitickou strukturu. Z toho vyplývá, že pevnost odlitků z určité litiny se mění v závislosti na jejich tloušťce. [2]

Grafit je krystalická forma uhlíku, která krystalizuje v hexagonální soustavě s mřížkovými parametry. Základny mřížky se nazývají bazální roviny. Grafit má velmi dobrou tepelnou vodivost, naopak pevnost a tvárnost jsou nepatrné. [3]

2.1.4 Třídění litin s lupínkovým grafitem

V současné době se používá pro třídění litin s lupínkovým grafitem několik základních norem. Z historického hlediska je stále nejběžněji používanou normou ČSN.

Základní členění dle původní normy ČSN 420953 a DIN 1691, včetně doporučené použití, je v tabulce 2.1. V poslední době se také čím dál více zavádí členění dle normy **ČSN EN 1561 – Litiny s lupínkovým grafitem**, přičemž hodnoty pro tuto normu jsou uvedeny v tabulce 2.2. [2]

ČSN DIN 1691	Pevnost v tahu MPa ¹⁾	Max. tvrdost HB ²⁾	Dop. tloušťka stěn (mm)	Stupeň eutektič- nosti S _c	Rozsah licích teplot °C ³⁾	Příklady použití
<u>42 2410</u> GG10	100	180	4-15	1,05-1,11	1370-1290	Kamna, vany skříně, radiátory, drobné o.
<u>42 2415</u> GG15	150	200	5-30	0,99-1,05	1390-1310	Vodovodní tvarovky, víka řemenice
<u>42 2420</u> GG20	200	220	8-40	0,93-0,99	1410-1330	Součásti motorů, Turbín a kompresorů
<u>42 2425</u> GG25	250	240	15-50	0,87-0,93	1430-1350	Válce motorů, ozub. kola, namáhané souč.
<u>42 2430</u> GG 30	300	260	25-70	0,81-0,87	1450-1370	Značně namáhané souč. (očkovaná)
<u>42 2435</u> GG35	350	270	40-100	0,75-0,81	1470-1390	Stojany těžkých strojů (očkovaná)

Tab. 2.1 Normalizované jakosti litiny s lupínkovým grafitem dle ČSN a DIN [4]

Pozn.

- 1) Nejmenší pevnost v tahu na tyči o průměru 20 mm zhotovené z odděleně litého zkušebního tělesa o průměru 30 mm
- 2) Nejvyšší přípustná tvrdost odděleně litého zkušebního tělesa průměru 30 mm
- 3) Nejvyšší licí teploty pro drobné a tenkostěnné odlitky

Označení litiny		Směrodatná tloušťka stěny		Pevnost v tahu Závazné hodnoty		Pevnost v tahu R _m předpokládané hodnoty v odlitku
značkou	číselně	přes	do a včetně	na odděleně litých zkuš. kusech N/mm ²	na přilítých zkuš. kusech N/mm ²	N/mm ²
EN-GJL-150	EN-JL1020	2,5	5	150 až 250	-	180
		5	10		-	155
		10	20		-	130
		20	40		120	110
		40	80		110	95
		80	150		100	80
		150	300		90	-
EN-GJL-200	EN-JL1030	2,5	5	200 až 250	-	230
		5	10		-	205
		10	20		-	180
		20	40		170	155

		40	80		150	130
		80	150		140	115
		150	300		130	-
<i>EN-GJL-250</i>	EN-JL1040	5	10	250 až 300	-	250
		10	20		-	225
		20	40		210	195
		40	80		190	170
		80	150		170	155
		150	300		160	-

Tab. 2.2 Výběr z normalizovaných jakostí litiny s lupínkovým grafitem dle ČSN EN 1561 [4]

Litinu s lupínkovým grafitem, která se používá pro hlavy válců M3348 (interní označení modelu hlav válců) je specifikována dle normy ČSN 422425. Dle této normy a technické dokumentace č. 442110030065 Tedomu (dříve Liazu) Jablonec nad Nisou je stanoveno, aby odlitek splňoval níže uvedené chemické složení. [9]

Předepsané složení litiny s lupínkovým grafitem 422425.2

- C 3,20 - 3,50 %
- Mn 0,50 - 0,90 %
- Si 1,60 - 2,10 %
- P max. 0,02 %
- S max. 0,12 % ... [9]

Struktura materiálu hodnocená dle ČSN 420461 má být perliticko-feritická s minimálním obsahem 80% perlitu a max. obsahem 15% feritu v tloušťce stěn 6 až 15 mm. V tlustých stěnách a ve stěnách uvnitř odlitku má být min. 65% perlitu a max. 30% feritu. Ternární fosforové eutektikum se smí vyskytovat pouze v jednotlivých útvarech v tloušťkách stěn 6 – 15mm, v tepelných uzlech nejvýše jako nesouvislé sít'oví. [9]



Obr. 2.1 Hlava válců vznětových motorů M3348 po obrobení

2.2 Výroba jader a forem

Pro kvalitu výsledných odlitků a hospodárnost výroby je velice důležitá příprava a výběr formovací směsi. Požadavky na formovací směs je možné rozdělit dle místa technologického procesu:

- **Vlastnosti upravených směsí** (homogenita, životnost)
- **Vlastnosti při formování** (spěchovatelnost, tekutost, formovatelnost, lepivost, rychlost vytvrzení, hygiena práce)
- **Vlastnosti před litím** (pevnost, osychání a navlhavost, otěr a drobivost)
- **Vlastnosti při lití** (pevnost, prodyšnost, plynatost, teplotní roztažnost, odolnost proti erozi, obsah škodlivých prvků, zrnitost a poróznost)

- **Vlastnosti po odlití** (rozpadavost, zhroutivost, prašnost, možnost regenerace, nezávadnost odpadu)

Vzhledem k značné různorodosti a neustále vyšším požadavkům na formovací směsi lze formovací směsi rozdělit na dvě hlavní skupiny podle časové období jejich vzniku. [2]

2.2.1 Formovací směsi I. generace

Jedná se o formovací směsi s jílovými pojivy (bentonit, illitické jíly) zpevňované pěchováním, střešáním, lisováním a metáním. U velkých forem a jader se přidávají další přísady pro zvýšení pevnosti (např. vodní sklo, cukernaté látky, škroby) a po zaformování následuje povrchové přisoušení nebo úplné vysušení. [2]

2.2.2 Formovací směsi II. generace

Formovací směsi II. generace jsou především vytvrzované chemickou cestou. Formy a jádra musí být upěchovány, ale vytvrzování se dosáhne chemickou reakcí způsobující ztvrdnutí pojiva. Hlavní členění je možné rozlišit na tři základní skupiny. [2]

Samovolně tuhnoucí směsi

U těchto směsí dochází k samovolnému vytvrzení reakcí jednotlivých složek pojiva, např.

- cement + voda
- vodní sklo + ester
- fenolická pryskyřice + kyselina
- uranová pryskyřice + kyselina

Směsi vytvrzované teplem

Směsi, u nichž vytvrzení proběhne chemickou reakcí složek pojiva iniciovanou teplem ohřátého modelu či jaderníku. Nejpoužívanější metodou jsou níže uvedené:

- metoda C - fenolformaldehydová pryskyřice + hexametylentetramin
- metoda HB (Hot-Box) - fenolresolová pryskyřice + kyselina apod.

Směsi vytvrzované profukováním plynem

Tyto směsi reagují s pojivem za profukování plynem. Nejpoužívanější metody jsou:

- metoda CO₂ - vodní sklo + CO₂
- metoda CB (Cold-Box) - fenolická pryskyřice + polyizokyanát + terciární amin [2]

Aktuálně jsou slévárnou FEREX – castings Liberec, pro hlavy válců M3348, připravovány jádrové směsi metodou Hot-Boxu a Cold-Boxu. Hot-Box je používán převážně na vnitřní jádra, tedy na nejvíce exponovaná místa, zatímco dříve používanou metodu obalované směsi na plášťová jádra nahradila metoda Cold-Boxu. [9]

2.2.3 Formovací směsi III. generace

Jsou formovací směsi spojené fyzikálně. Zaformování je nahrazeno vibrací a zpevnění se dosáhne odpařením těkavé složky pojiva, účinkem magnetického pole, vakua nebo zmrazením. [2]

2.2.4 Metoda Cold-Boxu (CB)

U této metody se používá směs obsahující dvě kapalné složky pojiva: fenolová pryskyřice (benzyléter) a polyizokyanát. Ostřivem je křemičitý písek o průměrné zrnitosti 0,32 mm. Po naplnění jaderníku se promísená směs ostřiva a pojiv profoukne při 80°C aminovým (trietyl-amin) katalyzátorem ve formě mlhoviny, kterým se směs za několik sekund vytvrdí.

Tato metoda, používaná především na plášťová jádra, má ve srovnání s metodou Hot-Boxu vyšší produktivitu a v porovnání celkových nákladů na výrobu jader je také mnohem hospodárnější. Při jejím využití je však třeba přísně dodržovat bezpečnostní předpisy, týkající se především následné likvidace katalyzátoru prošlého jaderníkem.

Nevýhodou této metody je příliš vysoký obsah plynů, které se mohou při odlití uvolnit a způsobit tak porézní materiál odlitku. [2]

2.2.5 Metoda Hot-Boxu (HB)

Směs pro metodu Hot-Boxu se skládá z křemičitého písku (98% z celkové objemu směsi), který se následně smíchá s katalyzátorem (kyselina 1%). Po promíchání následuje přidání fenolformaldehydové pryskyřice (1%).

Výše popsaná směs se následně vstřeluje do ohřátého kovového jaderníku stlačeným vzduchem ze vstřelovací hlavy, přičemž jaderník je opatřen odvzdušňovacím filtrem pro únik vzduchu a rovnoměrné upěchování. Jaderník je ohřátý na teplotu cca 240 - 270°C a teplo se přenáší na směs, která vytvrdne do určité hloubky, jenž je závislá na typu pojiva, teplotě a době vytvrzování.

Uplatnění metody je především v sériové výrobě drobných a středních jader složitějších tvarů (bloky motorů, hlavy válců, radiátory apod.). Metoda umožňuje dosažení jakostního povrchu a přesnosti až 0,1 mm. [2]

2.2.6 Vliv formy na vnitřní jakost litiny

Vliv formy na vnitřní jakost litiny je velice důležitá z hlediska výsledného odlitku. Zde je potřeba především zvážit použití jednotlivých metod (Hot-Box, Cold-Box), aby výsledná kvalita byla dostačující, především z hlediska obsahu plynů uvnitř odlitku, které mohou způsobit následnou netěsnost odlitku.

Většina formovacích směsí obsahuje organické látky jako pojivo či přísadu pro zlepšení povrchu odlitku, zvýšení pevnosti a zajištění odolnosti proti osychání. Tyto látky se však při ohřevu uvolňují a z jednoho kg těchto formovacích směsí se může během odlití uvolnit až 100 litrů plynů a par. Plynů se nejvíce vyvíjejí ve vrstvě formy těsně přiléhající k odlitku a unikají cestou nejmenšího odporu. Proto musí být forma dostatečně prodyšná. [2]

Dalším faktorem, který může výrazně ovlivnit vnitřní jakost materiálu je samotné chemické složení litiny.

2.3 Proces zpracování litin

Pro zpracování litin jsou dnes nejběžnější kuplovny, elektrické pece (obloukové, indukční), popřípadě plamenné pece. Nejpoužívanější metodou výroby litin jsou především kuplovny, zastoupení této výroby je cca 80%. V elektrických pecích se zpracovávají především litiny s lupínkovým grafitem s pevnostmi nad 300 MPa. [2]

2.3.1 Tavení litiny v kuplovně

Samotný proces zpracování litiny s lupínkovým grafitem dle ČSN 422425 probíhá v kuplovně, které se mohou lišit především typem žáruvzdorné vyzdívky. Okolnost, zda se pracuje s kyselou či zásaditou vyzdívkou je důležitá s ohledem na výslednou strusku. Ve

slévárně FEREX - castings Liberec je používaná vyzdívka kyselá, hlinito-křemičitá. Užívají se taktéž i kuplovny bez vyzdívky, jejichž ocelový plášť je chlazen vodou. K jejich výhodám patří zejména možnost provozu po dlouhou dobu bez oprav. Nevýhodou však jsou větší tepelné ztráty a tím menší účinnost. [8]

Typy vyzdívek

- Kyselé (dinas, hlinito-křemičitá)
- Neutrální (šamot, chromit)
- Zásadité (magnezit, chrómmagnezit) [2]

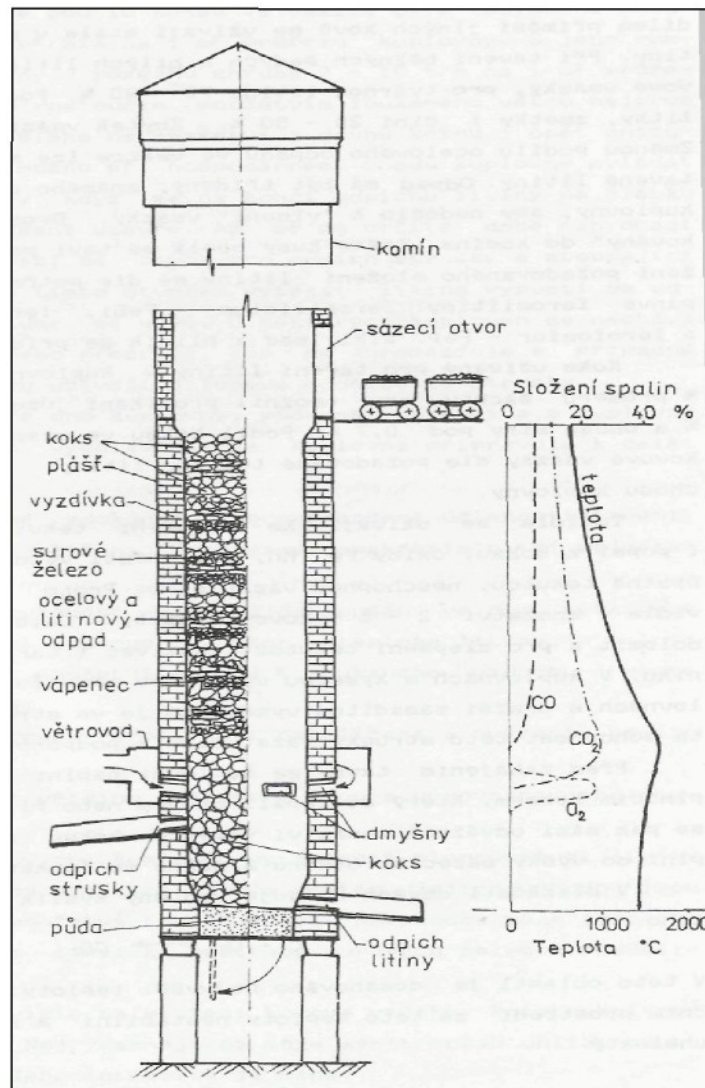
Kovová vsázka je řízena především požadavkem na výsledné chemické složení. Pro tavení běžných litin s lupínkovým grafitem tvoří surová železa 20 - 50% kovové vsázky. Podíl vratného materiálu (vtoky, nálitky, zmetky) činí také 20 - 50% a zbytek vsázky tvoří litinový odpad. Podíl koksu ve vsázce se pohybuje v rozmezí 8 - 16% kovové vsázky dle požadované teploty litiny, podílu oceli ve vsázce a parametrů chodu litiny. Jako tavidlo, které zlepšuje tekutost strusky, se používá vápenec v množství 2 - 5% kovové vsázky. [2]

Před zahájením tavby se kuplovna naplní zhruba 1 až 1,5 m nad dmyšny tzv. plnicím koksem, který se zapálí plynovým hořákem. Na rozžhavený koks se poté sází odvážená množství vápence, koksu a kovové vsázky až se kuplovna naplní do výšky sázecího otvoru a začne se foukat dmyšnami vzduch. V blízkosti dmyšen, kde reaguje vzdušný kyslík (1-2%) s koksem za vzniku oxidu uhličitého je dosaženo nejvyšší teploty rozmezí 1650 – 1700°C.

Dle sdílení tepla v kovové vsázce je možné vnitřní prostor kuplovny rozdělit na 4 části:

- **Předehřívací pásmo** (zde se vsázka během klesání předehřívá odcházejícími spalinami až na teplotu tavení)
- **Tavící pásmo** (zde se jednotlivé složky vsázky natavují)

- **Přehřívací pásno** (v tomto pásnu se stékající kapky kovu přehřívají od žhavého koksu a dosahují nejvyšší teploty)
- **Nístějové pásno** (zde se shromažďuje kov a struska, teplota již klesá) ... [2]



Obr. 2.2 Schéma kuplovny – pásma spalování [2]

První odpich se provede proražením zátky v odpichovém otvoru a to po minimálně 25 minutách od zahájení foukání. Dle podílu koksu ve vsázce se používá množství dmýchaného vzduchu v rozsahu 110 – 170 m³/min. na 1 m² průřezu kuplovny. Při vyšším množství roste výkon kuplovny na 7 – 10 t/h na 1 m² průřezu kuplovny. Teplota litiny se s rostoucím množstvím foukaného větru nejprve zvyšuje a po dosažení maxima opět snižuje. Ve chvíli, kdy se na konci odpichu litiny na žlábků objeví struska, se otvor opět dočasně uzavře. Po nahromadění většího množství strusky, kdy stoupající kov strusku vytlačí, se ve stejném okamžiku litina vypustí odpichovým otvorem do předehřáté lící pánve a následně se struskový otvor ucpe. Po zhroucení půdy, vypadnutí zbytků žhavého koksu a vychladnutí se kuplovna připravuje k další tavbě. [2]

Parametry tavení, lící linky

- Teplota na lícím žlábků 1450 – 1500°C
- Lící teplota, pánve 1500 kg 1360°C
- Předpecí 6 tun 1400°C
- Lící linka Georg Fischer (5 hlav v rámu) ... [9]

2.3.2 Očkování litin s lupínkovým grafitem

Očkování roztavené litiny je proces, při kterém se přidává malé množství látek tvořících zárodky pro krystalizaci grafitu a to při malém podchlazení pod rovnovážnou

eutektickou teplotou. Tímto postupem se potlačí sklon ke vzniku eutektických karbidů, které se tvoří při hlubších podchlazeních.

Hlavní přínos očkování

- zjemnění grafitu a zvýšení počtu eutektických buněk
- zlepšení mechanických vlastností
- potlačení sklonu ke vzniku karbidů v rychleji tuhoucích částech odlitku

Pro samotný proces očkování je potřeba prohřátí litiny na minimálně 1390°C a nejběžnějším očkovadlem jsou především slitiny FeSi (ferosilicium), případně i v kombinaci s grafitem, který taktéž velmi silně podporuje růst počtu eutektických buněk. Nejčastěji se tak používá pro očkování slitina FeSi75 (75 % obsah křemíku), přičemž vedle křemíku se používají i další prvky podporující očkování: Al, Ca, Ba, Ce, Mg, Sr, Ti a Zr. [2]

Množství očkovadla se pohybuje od 0,1 do 0,4 % celkové hmotnosti zpracovávané litiny a nejběžnějším způsobem je sypání do proudu litiny před vstupem do lící pánve. Tímto postupem se zajistí takový účinek očkovadla, který je tím silnější, čím je menší časový interval mezi dodáním přísady a ztuhnutím odlitku. [2]

2.3.3 Žihání k odstranění vnitřního pnutí

Cílem tohoto typu tepelného zpracování je ohřev odlitku na teplotu, kdy je litina s lupínkovým grafitem dostatečně plastická. Tím vzniknou v jednotlivých stěnách plastické deformace, čímž se odstraní vnitřní pnutí. Je však zapotřebí, aby teplota nebyla příliš vysoká, neboť by mohlo dojít k překrystalizační přeměně, jenž by v důsledku vedla ke snížení pevnosti. [8]

Vzhledem k existenci mnoha hypotéz je těžké určit přesnou teplotní hranici, při které je ideální litinu žihat. V tomto ohledu je velice důležité jaké hodnoty snížení vnitřního pnutí je požadováno. Přesto však lze teplotu 500°C považovat za minimální, při které klesne vnitřní pnutí o cca polovinu. K úplnému odstranění pnutí je potřeba teplotu zvýšit až k 600°C. [8]

- 500 – 550°C pro litiny s lupínkovým grafitem nelegované

- 550 – 600°C pro litiny s lupínkovým grafitem legované [8]

Experimentálně ověřenou metodou pro odstranění vnitřního pnutí je také ponechání odlitku ve formě, kde je řízeně ochlazován po dobu nejméně 3 hodin. [9]

2.4 Charaktery a příčiny vad odlitků

Podle údobí vzniku vad odlitků se dají tyto dělit na dvě základní skupiny: trhliny a praskliny. Mezi teplotními oblastmi vzniku trhlin a prasklin leží pásmo, kde se nové poruchy souvislosti netvoří, neboť materiál tu je dostatečně pevný a zároveň plastický, čímž se vznikající napětí uvolňují relaxací. [2]

Trhliny jsou poruchy souvislosti odlitků vznikajících nad teplotou solidu. Nad touto teplotou, kdy již vzniká základní kostra odlitku a probíhá smršťování, jsou vazby mezi krystaly ještě slabé z důvodů zbytku taveniny. Pod touto teplotou již další trhliny nevznikají, nicméně se mohou rozšiřovat již stávající trhliny. Průběh těchto trhlin, které vznikají v místech nejmenší pevnosti, bývá interkrystalický. [2]

Sklon ke vzniku trhlin zvyšují převážně

- Vysoké hodnoty modulu pružnosti E
- Vysoké hodnoty součinitele teplotní roztažnosti
- Vysoké teplotní rozdíly v odlitku (nízká teplotní vodivost, velké rozdíly tloušťek, rychlý odvod tepla kokilou)
- Velké odpory proti smršťování odlitku
- Nečistoty po hranicích zrn (sulfidy, vměstky apod.)

Za praskliny jsou považovány poruchy odlitku vznikající za nízkých teplot převážně v oblasti pružných deformací. Nejvíce náchylné jsou ke vzniku prasklin především slitiny křehké, zatímco u slitin s vysokou houževnatostí praskliny nevznikají. Převážná většina prasklin bývá rovná, nebo křivolaká s čistým povrchem. Praskliny nemusí vznikat pouze při

chladnutí součástí, ale také při nárazech, obrábění nebo opětovném ohřevu, kdy dojde k superpozici nových napětí se zbytkovým, které je dosud přítomné v odlitku. [2]

2.4.1 Třídění vad odlitků dle ČSN

Další dělení jednotlivých vad odlitků se provádí dle normy ČSN 421240. Tyto vady se poté označují dvoumístným číslem. Zatímco první číslice vyjadřuje skupinu vad, tak druhá vyjadřuje druh vady v rámci příslušné skupiny, přičemž pro určení vady je rozhodující popis vady a její číselné určení. Toto označení je pak shodné jak pro slitiny železa, tak i pro slitiny neželezných kovů. [5]

Vady lze třídit do sedmi základních skupin, jejichž podrobné členění je v níže uvedené tabulce 2.3.

Číslo skupiny vad	Název skupiny vad	Číselné označení vady	Název druhu vady	Číselné označení vady	Název druhu vady
1	Vady tvaru, rozměrů a váhy	11	Nezaběhnutí	15	Zborcení
		12	Přesazení	16	Mechanické poškození
		13	Zatekliny	17	Nedodržení rozměrů
		14	Vyboulení	18	Nedodržení váhy
2	Vady povrchu	21	Přípečeniny	25	Výronky
		22	Zavaleniny	26	Výpotky
		23	Zálupy	27	Okujení, opálení
		24	Nárosty, strupy	28	Omačkání, otlučení,
3	Přerušení souvislosti	31	Trhliny	32	Praskliny
4	Dutiny	41	Bubliny	44	Řediny
		42	Bodliny	45	Mikrostaženiny
		43	Staženiny	46	Mikrobubliny
5	Vměstky	51	Struskovitost	54	Broky
		52	Zadrobeniny	55	Kovové vměstky
		53	Nekovové vměstky		
6	Vady struktury	61	Odmíšení	64	Obrácená zákalka
		62	Nevyhovující lom	65	Nesprávná struktura
		63	Zatvrdidla, zákalka		
7	Vady chemického složení, nesprávné fyz. vlastnosti	71	Nesprávné chem. slož.	73	Nevyhovující fyzikální vlastnosti
		72	Nevyhovující mechanické vlastnosti		

2.4.2 Dutiny - bubliny

Z výše uvedené tabulky a po přihlédnutí k hodnocení vad u hlav válců M3348 jsou nejčastějšími vadami dle ČSN 421240 dutiny. Z této skupiny vad to jsou poté bubliny, číslo vady 41.

Popis vady dle ČSN 421240

Otevřené (povrchové) nebo uzavřené (vnitřní) dutiny ve stěně odlitku. Zpravidla s čistým a hladkým, někdy okysličeným povrchem. Vyskytují se jako jednotlivé bubliny nebo jako hnízda, či skupiny bublin. [5]

Nejčastější příčiny vady

- Nesprávný způsob tavení, špatná dezoxidace nebo odplynění kovu
- Nesprávný poměr Mn a S u šedé litiny
- Nevysušený lící žlábek nebo pánev
- Nevhodné formovací směsi, vyvíjecí nadměrné množství plynů
- Příliš tvrdě upěchovaná forma
- Navlhla forma nebo jádro
- Nedostatečná prodyšnost formy nebo jader
- Vynechání, ucpání nebo zalití průduchů
- Nesprávná volba, výpočet nebo umístění vtokové soustavy, výfuků a nálitků
- Založení teplých nebo syrových forem nebo studených jader do horkých forem
- Oxidovaná nebo vlhká chladítka nebo jiné části formy ... [5]

2.4.3 Rozpustnost plynů

Jedním z faktorů, který může ve slitinách nepříznivě působit na mechanické vlastnosti, porézní materiál a bubliny, je přítomnost plynů. Na druhé straně je však

proubublávání roztavených kovů inertními a nerozpustnými plyny užíváno k odstranění škodlivých nečistot a plynů. [2]

Bublíny vznikající v odlitcích se dělí dle původu na exogenní a endogenní. Za exogenní jsou považovány bubliny způsobené mechanickým zachycením vzduchu a plynů při odlévání nebo plyny a páry uvolněnými ohřátým formovacím materiálem. Endogenní bubliny vznikají poklesem rozpustnosti plynů při tuhnutí slitiny. [2]

Typy plynů v kovech

- rozpuštěné (H, N, CO, CO₂, H₂O, SO₂, CH₄)
- vázané na rozpustné sloučeniny při tuhnutí křehké fáze (CuO, FeO)
- vázané na nerozpustné sloučeniny tvořící vměstky (Al₂O₃, SiO₂, MgO)

Samotná rozpustnost plynů ve slitinách je dána především na závislosti parciálního tlaku plynu nad hladinou a na teplotě. V tuhém stavu je rozpustnost plynů poměrně nízká, ovšem při teplotě tavení výrazně roste a proto plyny rozpuštěné nad maximální hodnotou rozpustnosti v tuhé fázi se při tuhnutí vyloučí v podobě bublin. [2]

Doporučené kroky pro odstranění či minimalizaci výskytu plynů v kovech

- Výběr vsázky bez vlhkosti, mastnoty, rzi, nátěrových hmot, plastů
- Omezení přístupu vzduchu a spalín k hladině lázně – tavidly, struskou, ochrannou atmosférou
- Navázání plynů na nerozpustné sloučeniny, jednoduše odstranitelné
- Tavení za nižších teplot, kratší doba bez víření hladiny
- Zajištění pohybu lázně probubláváním nerozpustnými plyny, např. mechanicky
- Tavení ve vakuu nebo vakuování taveniny před litím v autoklávu
- Zajištění vysokého tlaku při tuhnutí odlitků [2]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Příprava formy pro odlévání

Příprava formy pro odlévání ve slévárně FEREX – castings Liberec se sestává z několika hlavních částí. Nejdůležitější je výběr správné metody výroby jader. V současné době se jádra pro hlavy válců M3348 vznětových motorů zpracovávají metodou HB a CB. Po přípravě jader jednou z níže popsaných metod jsou jádra důkladně čištěna stlačeným vzduchem a kontrolována. K dosažení větší hladkosti odlitku následují po očištění penetrační nátěry. Na nejvíce exponovaná místa jsou aplikovány zirkoniové a telurové nátěry. Poté následuje samotné složení vnitřních a plášťových jader, vložení do rámu a zaformování připravenou směsí. Takto připravená forma je vhodná pro odlití pomocí lící pánve.

3.1.1 Metoda Cold-Boxu (CB)

Metoda Cold-Boxu je ve slévárně Ferex - castings Liberec používána především na plášťová jádra. Průměrná zrnitost používaného ostrohranného křemičitého písku z Provodína je 0,32 mm. Zplynování směsí připravených dle níže uvedených technologických postupů probíhá při optimalizovaných 80°C.

Níže uvedené technologické postupy zaznamenávají přesný postup příprav směsi pro dávkové množství 1 tuny. Koncem března roku 2007 se přistoupilo ke změně ostřiv, kdy běžně používané křemičité písky o průměrné zrnitosti 0,32 mm, nahradila směs alusilikátu a cristobalitu, viz tabulka 3.2. Ke změně se přistoupilo vzhledem k vysoké zmetkovitosti a velkému množství neprůchodných chladících kanálů, které vznikají z důvodů roztažnosti křemenných ostřiv. Díky směsi nekřemenného ostřiva, alusilikátu a cristobalitu se má docílit větší průchodnosti kanálů, neboť cristobalit je antidiletační složkou ostřiva.

Standardní technologický postup přípravy směsi		mn. (kg) – čas (min)	obsah %
1.	Křemičitý písek, zrnitost 0,32 mm	982,4 kg	98,24
2.	Pryskyřice typu A - Ashland CB ASKOCURE 366	8,8 kg	0,88
3.	Promísení složky 1. a 2.	2 min.	
4.	Pryskyřice typu A - Ashland CB ASKOCURE 666	8,8 kg	0,88
5.	Promísení složky 3. a 4.	2 min.	

Tab. 3.1 Technologický postup výroby plášťových jader

Technologický postup přípravy směsi hlavy 8, 9, 10		mn. (kg) – čas (min)	obsah %
1.a.	Nekřemenné ostřivo - alusilikát Al_2O_3	491 kg	49,1
1.b.	Cristobalit – antidiletační	491 kg	49,1
2.	Pryskyřice typu A - Ashland CB ASKOCURE 366	9,0 kg	0,9
3.	Promísení složky 1. a 2.	2 min.	
4.	Pryskyřice typu A - Ashland CB ASKOCURE 666	9,0 kg	0,9

5.	Promísení složky 3. a 4.	2 min.	
----	--------------------------	--------	--

Tab. 3.2 Technologický postup výroby plášťových jader – změna 03/2007

Po ztvdnutí a před samotným složením formy se povrch jader opatřuje telurovým nátěrem, jenž zabraňuje vzniku ředin (typ Alkon SGB – výrobce Furtenbach). Minimální pevnost v ohybu má být 2600 kPa.

3.1.2 Metoda Hot-Boxu (HB)

Metoda Hot-Boxu je pro dané hlavy válců používána na nejvíce exponovaná místa, na vnitřní jádra. Slévárnou používaný poměr pro výslednou směs je popsán, včetně postupu promísení, v tabulce 3.3. Připravená směs, s křemičitým pískem ze Střelče, se vstřeluje do předeřátého kovového jaderníku (teplota 250 - 270°C). Výsledné jádro se opatřuje grafitovým nátěrem. V technologickém postupu je také stanoveno, aby výsledná vytvrzená směs měla po 1,5 min. minimální pevnost 3800 kPa.

Technologický postup přípravy směsi		mn. (kg) – čas (min)	obsah %
1.	Křemičitý písek o zrnitosti 0,24 – 0,26 mm	978 kg	97,8
2.	Katalyzátor (kyselina) Harter HB 12/55	4,5 kg	0,45
3.	Promísení složky 1. a 2.	1 min.	
4.	Pryskyřice Termophen	17,5 kg	1,75
5.	Promísení složky 3. a 4.	2 min.	

Tab. 3.3 Technologický postup výroby vnitřních jader

3.2 Průběh zmetkovitosti

Dle technické dokumentace je stanoveno, aby odlitek odpovídal technickým dodacím podmínkám pro litinové odlitky dle ČSN 421241.09. Dle konstrukčních a technologických požadavků je pro dané hlavy válců zvolen materiál 422425.2, který je nutno žíhat pro

odstranění vnitřního pnutí. Dle dlouhodobých poznatků bylo zjištěno, že postačující metodou k odstranění vnitřního pnutí je setrvání odlitku ve formě, kde je řízeně ochlazován. Experimentálně bylo zjištěno, že doba ochlazování musí být minimálně 180 min. Při kratším setrvání, než je předepsaná doba, je nutné odlitky žíhat k odstranění vnitřního pnutí.

Parametry litiny, očkovaadel

- Litina s lupínkovým grafitem 422425.2
- Očkovadlo Inoculin La 920 – FeSi75 1,5 – 3 kg na 1200 kg taveniny

0,1 – 0,2% objemu, Si cca 65%, Zr cca 5%, Ca cca 1,3%, Mn cca 3,5%, Al cca 1,3%

3.2.1 Vady hrubých odlitků

Dle ČSN 421240 a technické dokumentace nesmí mít odlitek hlavy válců zjevné vady v rozsahu, které by snížily jeho pevnost, zhoršily vzhled a byly na závadu při obrábění v přípravech. Zjevné vady hrubých odlitků lze opravovat podle následujících zásad: tmelením, zavařováním elektrickým obloukem, zavařováním plamenem za tepla nebo vybrušováním.

Vady hrubých odlitků lze rozdělit především na vady opravitelné a vady neopravitelné. Vady, které není nutné opravovat, jsou všechna místa jenž se budou obrábět, pokud však nezasahují hlouběji, než je přídavek na obrábění. Na neopracovaných plochách se připouští bez opravy vady jakosti a nerovnosti povrchu do hloubky max. 2 mm, pokud ovšem nezpůsobují netěsnost odlitku.

3.2.2 Průběh sledování zmetkovitosti

Pro sledování průběhu zmetkovitosti jsou důležité hodnoty přejímacích protokolů, kde se hodnotí vady povrchu (přípečeniny, žiletky, apod.). Dalším důležitým parametrem u hlav válců vznětových motorů M3348 je zkoušení netěsností natlakováním mezi obráběními a po dokončovacích operacích.

Při materiálových přejímacích kontrolách je především zjišťováno, zda mechanické vlastnosti odpovídají příslušné technické normě dle ČSN 422425.

3.2.3 Materiálová přejímací kontrola

Přejímací kontrola odlitků hlav válců M3348 v Tedomu Jablonec nad Nisou dodaných ze slévárny FEREX - castings Liberec zahrnuje měření tvrdosti litiny HB, modulu pružnosti E_o a výpočet pevnosti R_m .

Tvrdost hlav válců je kontrolována magnetickou metodou za pomoci přístroje Domena – B 3.b na předepsaném místě dle výkresové dokumentace. Výsledné tvrdosti jsou korelovány k tvrdosti HB 10/3000. Pro měření touto metodou je pouze nutné, aby plocha byla tryskaná. Měření je možné provádět jak na rovných, tak i na válcových plochách, silných a tenkých stěnách, přičemž přístroj je také schopen stanovit podíl feritu a perlitu. Měření je možné provádět také přes základní nátěr. [6]

Výpočtový vztah: $HB_m = A \times M + B$

- M – naměřené hodnoty (odečtení z přístroje)
- Hodnoty A a B jsou hodnoty stanovené lineární korelací: $A = 0,6$, $B = 100$

Modul pružnosti E_o a pevnost R_m se stanovuje ultrazvukem pomocí přístroje DIO 562 (570), sondou 2 MHz (Lu) přes výšku 120 mm (L).

Výpočtové vztahy: $E_o = (437,8 \times (L/L_u))^2$ [MPa]

$R_m = 7,2 \times (L/L_u)^{2,28} \times HB^{0,75}$ [MPa]

Stanovené parametry litiny s lupínkovým grafitem 422425.2

- tvrdost 180 – 240 HB
- modul pružnosti E_o 124 [GPa] pro stěny silné L 15 – 30 mm
- pevnost R_m min. 250 [MPa]

Prvotním problematickým bodem přejímky je rozdílnost počtu dodaných hlav válců M3348. Množství dodaných hlav válců v níže uvedené tabulce 3.4 jsou rozdílné vzhledem k informacím získaným odděleními řízení jakosti ze slévárny FEREX - castings Liberec a

z Tedomu – divize Motory Jablonec nad Nisou. Zde dochází patrně k tomu, že dodávky odlitků v prvním roce jsou reklamovány a zařazeny až do roku následujícího, čímž se údaje rozcházejí. Počty měřených kusů, tvrdost, modul pružnosti a pevnost odlitků vycházejí z údajů dodaných oddělením materiálové přejímací kontroly.

	Celkem ks pro Tedom		Vstupní kontrola (ks)	Tvrdost		Mod. pružnosti		Mez pevnosti
	Hodnoty 1	Hodnoty 2		HBm	+ / -	Eo GPa	Rm MPa	
2004 x	1017	80	572	191,8	6,4	126,7	246,0	
	56,2%	715%**						
2005 x	1483	1514*	609	201,6	6,6	123,3	252,0	
	41,1%	40,2%						
2006 x	1928	1575	857	198,7	5,4	118,6	230,7	
	44,5%	54,4%						
Průměrné hodnoty				197,4	6,1	122,9	242,9	

Tab. 3.4 Průměrné hodnoty tvrdosti a modulu pružnosti, % vyjádření počtu kontrol

Pozn.

Hodnoty 1: počet ks převzatých oddělením řízení jakosti v Tedomu – Divize Motory Jablonec n.N. – informace oddělení ŘJ

Hodnoty 2: počet ks dodaných do Tedomu – Divize Motory Jablonec n.N. – informace z oddělení ŘJ ve slévárně Ostašov

X - procentuelní vyjádření počtu kontrol na celkový příjem hlav válců (pro odlišné hodnoty přejímaných kusů)

* - počet kusů je za období od 1.3.2005 do 31.12.2005

** - vzhledem k chybnému údaji ze slévárny (počet odlitých ks za dané období) je tato hodnota nepoužitelná

Výsledky měření

Dle dodaných dat bylo zkontrolováno cca 47% hlav. Většina hlav válců splňovala normou ČSN 422425 stanovené parametry tvrdosti, modulu pružnosti a pevnosti. Pouze v roce 2006 byla průměrná pevnost R_m výrazně pod stanovenou mezí 250 MPa, což je však dle nové normy ČSN EN 1561 možné. Z výstupních dat je také patrné, že některé hlavy spíše odpovídaly normě ČSN 422420. U těchto hlav se doporučovalo použití na méně namáhané motory, případně jejich vrácení. Celková zmetkovitost z materiálového hlediska byla pouze 7 hlav, což představuje 0,34%. Souhrn těchto přejímacích kontrol je uveden v příloze č. 4.

3.2.4 Kontrola slévárenských vad

Kontrola slévárenských vad, v Tedomu Jablonec nad Nisou, se na přejímací kontrole provádí nejdříve zkoušením, zda jsou průchodné kanály pro chlazení hlav válců. Poté následuje obrobení a zkoušení netěsností pro vodu a olejový kanál. Vstupní data o zmetkovitosti jsou uvedena v příloze č. 2 a č. 3.

Zkoušení netěsností prostoru pro vodu a olejový kanál je předepsáno dle technických požadavků odběratelem. Těsnost pro vodu a olejový kanál o průměru 6 mm je nutné kontrolovat vzduchem ve vodní lázni o teplotě 20°C, tlakem 400 kPa po dobu 50 sec. Zkouška natlakováním je prováděna na tlakovací lince během procesu obrábění před dokončovacími pracemi. Druhé natlakování se provádí po dokončovacích operacích, kdy se ještě mohou vyskytnout vady z hlediska porézního materiálu. Před rokem 1990 prováděla tyto zkoušky přímo slévárna FEREX – castings Liberec.

číslo vady	typ vady	Hodnoty 1		Hodnoty 2		
		Tedom	% vad	interní slévárna	externí Tedom	% vad
22	Zavaleniny	==	==	36	0	2,2%
25	Prasklá forma,jádro	==	==	1	0	0,1%
44	Řediny	==	==	25	25	3,0%
	porezita	272	26,7%	==	==	
	nedolití	25	2,5%	==	==	
Celkem zmetků		297	29,2%	62	25	108,8%
Celkem odlito		1017		80		

Tab. 3.5 Tabulka zmetkovitosti dle dodaných dat za rok 2004

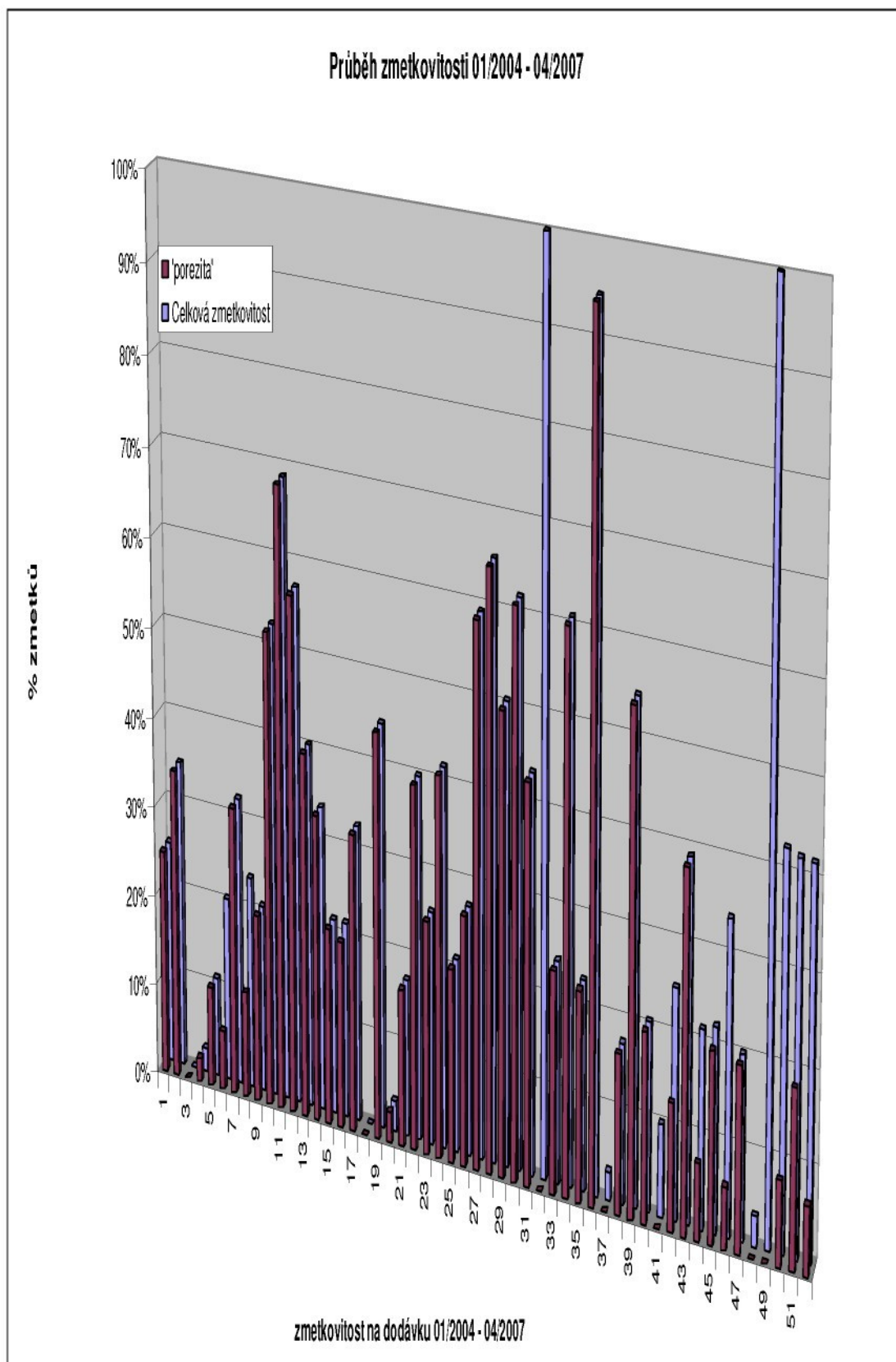
číslo vady	typ vady	Hodnoty 2		Hodnoty 3		
		Tedom	% vad	interní slévárna	externí Tedom	% vad
16	Mechanické	==	==	24	0	1,5%
22	Zavaleniny	==	==	2	0	0,1%
25	Prasklá forma,jádro		==	95	0	5,8%
41	Odvařeniny	==	==	8	0	0,5%
43	Staženiny	==	==	0	321	19,5%
52	Zadrogeniny	==	==	7	0	0,4%
	porezita	448	30,2%	==	==	
	nedolití	1	0,1%	==	==	
Celkem zmetků		449	30,3%	136	321	27,7%
Celkem odlito		1483			1650	

Tab. 3.6 Tabulka zmetkovitosti dle dodaných dat za rok 2005

Tab. 3.7 Tabulka zmetkovitosti dle dodaných dat za rok 2006

Pozn. Hodnoty 1: počet ks převzatých společností Tedom Jablonec n.N. – informace oddělení ŘJ Tedomu
 Hodnoty 2: počet ks dodaných do Tedomu Jablonec n.N. – informace z oddělení ŘJ ve slévárně FEREX - castings
 == - hodnoty nebyly k dispozici,

číslo vady	typ vady	Hodnoty 1		Hodnoty 3		
		Tedom	% vad	interní slévárna	externí Tedom	% vad
9	Vytekklé	==	==	5	0	0,3%
16	Mechanické	==	==	28	3	1,8%
17	Nedodržení rozměrů	==	==	0	112	6,4%
21	Přípečeniny	==	==	35	0	2,0%
22	Zavaleniny	==	==	0	112	6,4%
25	Prasklá forma,jádro	==	==	48	0	2,8%
41	Odvařeniny	==	==	17	0	1,0%
43	Staženiny	==	==	0	746	42,8%
52	Zadrogeniny	==	==	34	0	2,0%
	porezita	685	35,5%	==	==	
	chybné označení	52	³² 2,7%	==	==	
	nedolití	18	0,9%	==	==	
	chybný průměr	30	1,6%	==	==	
Celkem zmetků		785	40,7%	167	973	65,4%
Celkem odlito		1928		1742		



Graf 3.1 Průběh zmetkovitosti na dodávku v období 01/2004 – 04/2007

Pozn. č. 1-6 – dodávky v roce 2004 viz. příloha č. 3, 7-19 - 2005, 20-46 - 2006, 47-52 - 2007

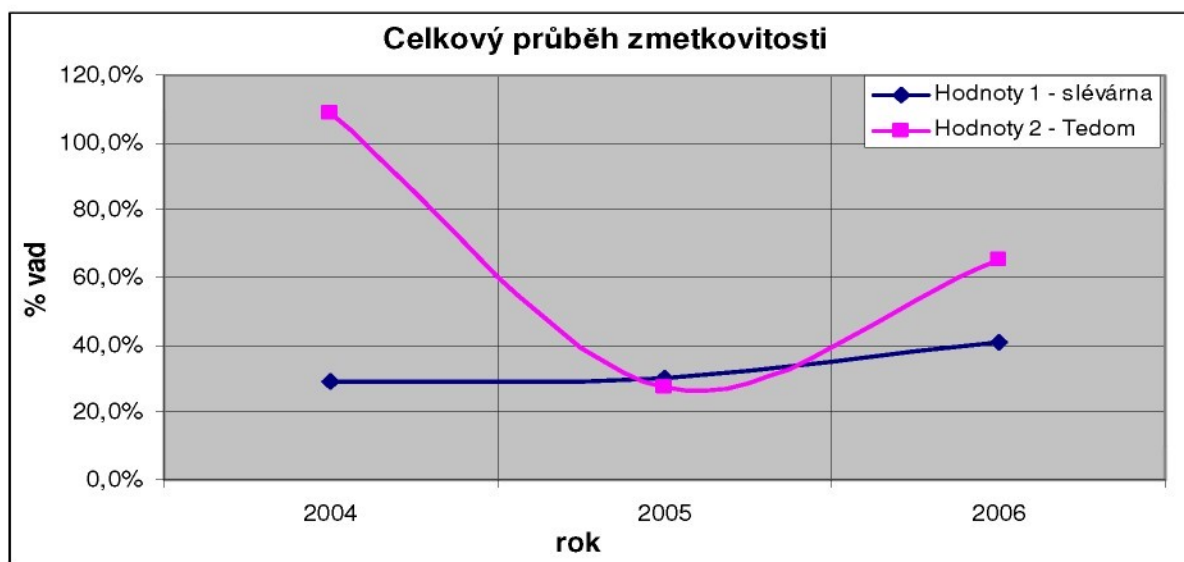
Rok	Hodnoty 1		Hodnoty 2	
	<i>celkem vad</i>	<i>„porezita“</i>	<i>celkem vad</i>	<i>„porezita“</i>
2004	29,2%	91,5%	*nelze hodnotit	*nelze hodnotit
2005	30,3%	99,8%	19,5%	100%
2006	40,7%	87,3%	55,9%	76,7%
2007**	63,0%	8,3%	data nebyla	k dispozici

Tab. 3.6 Statistika zmetkovitosti v letech 2004 – 2007**

Pozn.: „Hodnoty 3“ jsou pouze vady odlitků externí, tedy vrácené do slévárny

* nelze hodnotit – vzhledem k dodaným informacím nelze rok 2004 adekvátně hodnotit

** hodnoty za období 01-04/2007



Graf 3.2 Průběh zmetkovitosti v letech 2004 až 2006

Výsledná statistika

Z výsledků uvedených v tabulce 3.5 je patrná odchylka v datech dodaných slévárnou a oddělením řízení jakosti společnosti Tedom, divize Motory. Vzhledem k dodaným datům lze rok 2004 hodnotit pouze ze strany odběratele. Z celkového počtu dodaných kusů lze zjistit, že největší podíl na celkové zmetkovitosti má porézní materiál způsobený s největší pravděpodobností obsahem plynů v odlitcích, neboť přesný typ vad nelze z dodaných dat

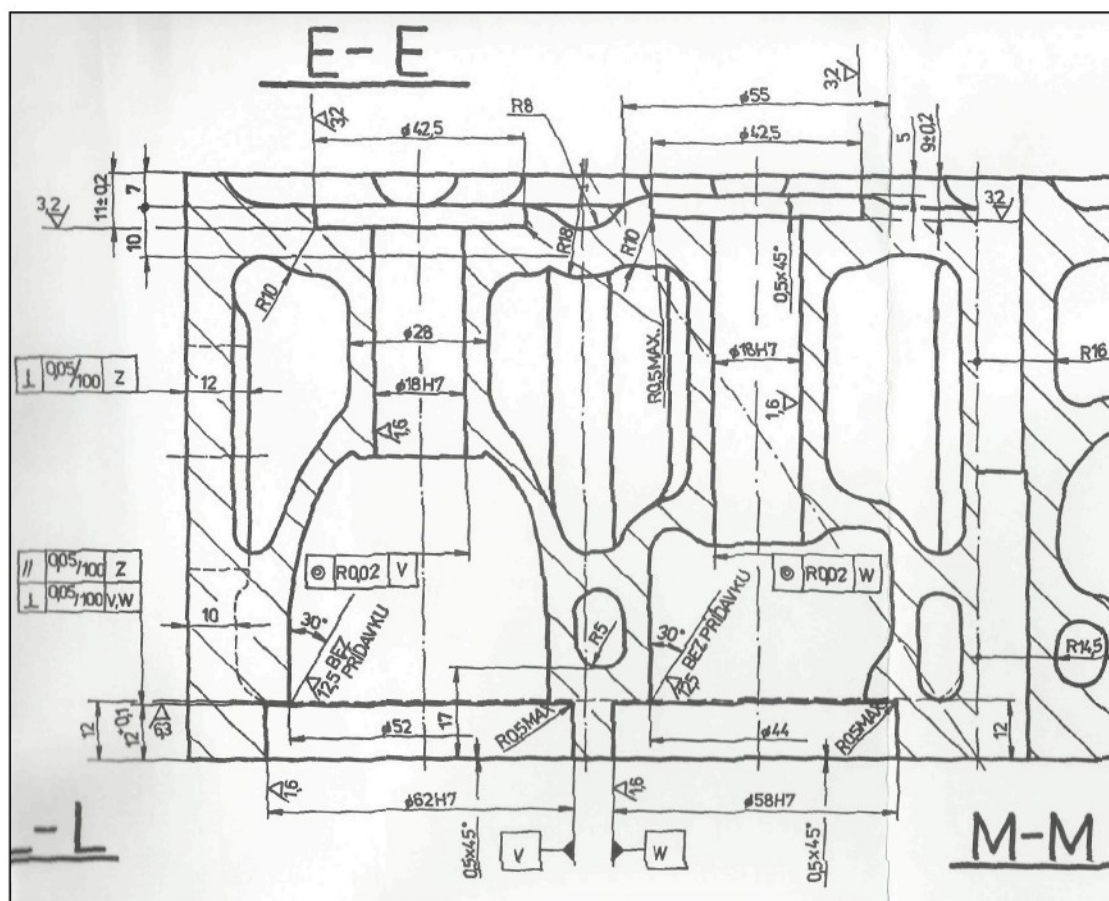
určit. Z těchto dat je také patrné špatné třídění vad slévárnou FEREX – castings Liberec dle ČSN 421240, neboť u litin s lupínkovým grafitem se staženiny téměř nevyskytují.

Výsledná zmetkovitost: leden 2004 – duben 2007, 1865 hlav - **36,4 %***

Pozn. * údaj platí pro hodnoty dodané společností Tedom s.r.o., divize Motory Jablonec nad Nisou

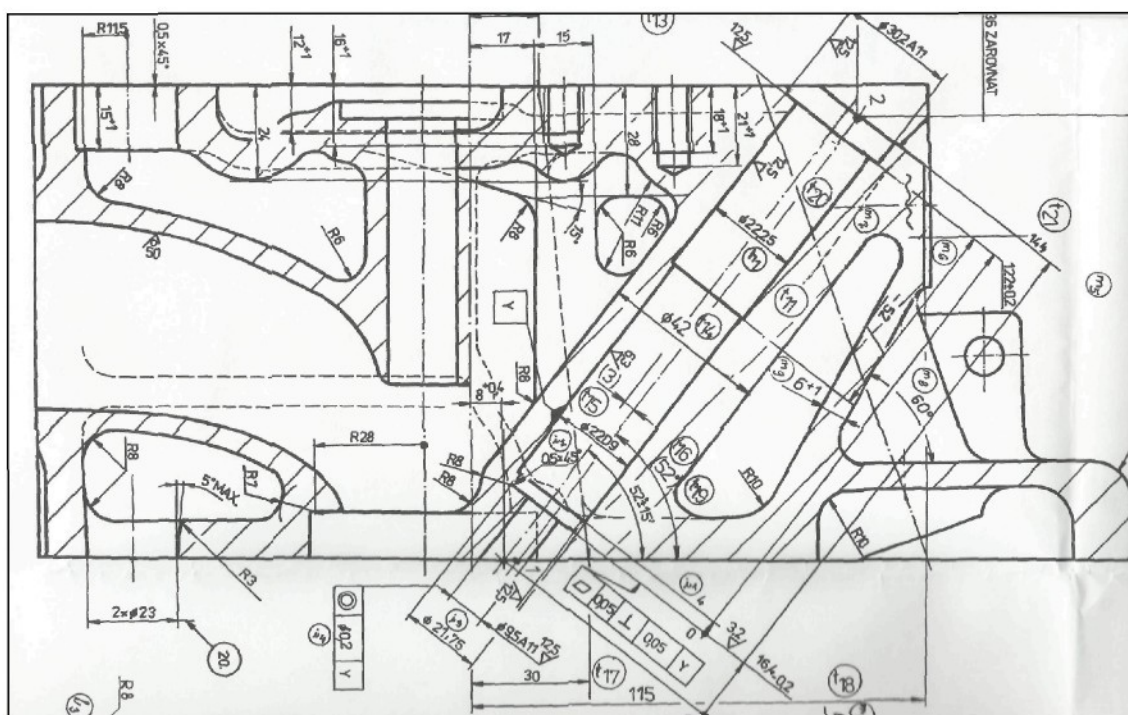
3.3 Metalografická dokumentace

Pro následná měření byl proveden výběr tří náhodně vybraných hlav válců. Vzorky byly vybírány s ohledem na předchozí měření netěsností uvnitř hlav válců. Hlavy válců byly nejdříve testovány natlakováním, při které byly zjištěny netěsnosti. U jedné z netěsných hlav se nejprve provedla kapilární zkouška na zjištění přesných míst netěsností, viz obr. 3.1. a 3.3. Na těchto vzorcích byly provedeny metalografické expertízy.



Obr. 3.1 Řez hlavou válců – problematická místa vzniku netěsností

Na vybraných hlavách válců bylo provedeno oddělení vzorků pro příčný výbrus. Jednotlivé výbrusy byly řádně označeny a fixovány do pryskyřice. Po zatvrdnutí byly odříznuté zatavené vzorky postupně broušeny. Broušení bylo provedeno na řadě rotujících metalografických papírech s odstupňovanou zrnitostí od nejhrubšího zrna po nejjemnější za neustálého proudění kapaliny - vody. Důležité bylo, aby každé následující broušení bylo vždy pootočeno o 90° a nedošlo k lokálnímu zahřátí. Předposledním krokem bylo leštění na rotačním kotouči do plného lesku. Leštilo se za mokra s přidáním diamantové pasty. Následovalo leptání 3% roztokem kyseliny dusičné v lihu a důkladné vysušení vzorků. Takto připravený vzorek je zobrazen na obr. 3.4.



Obr. 3.2 Řez hlavou válců – bokorys

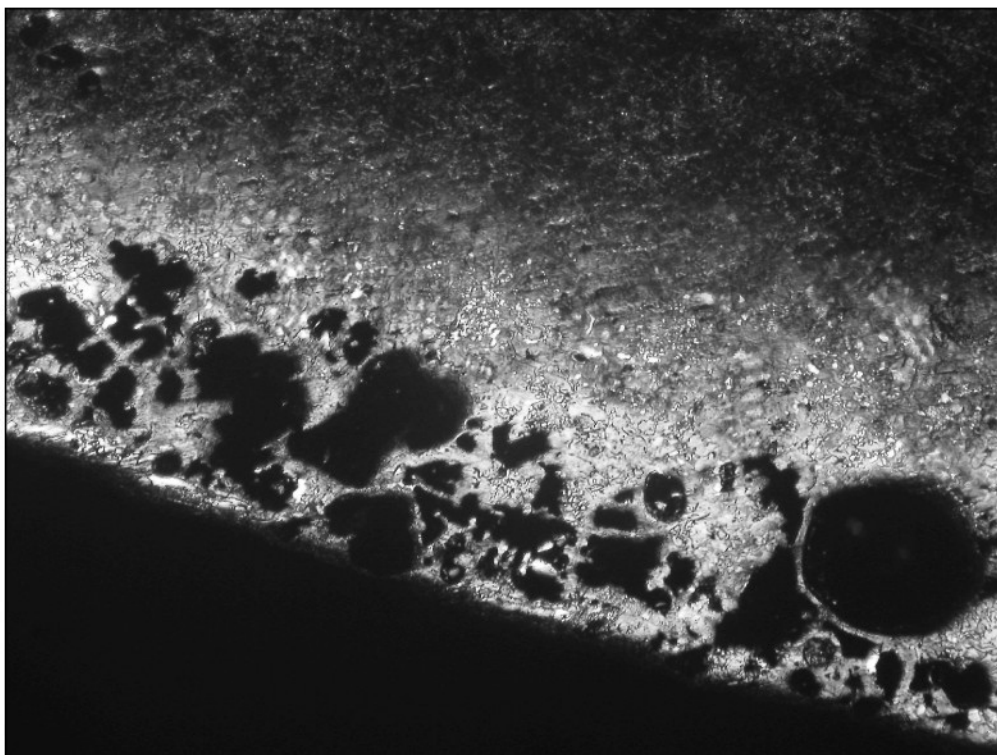


Obr. 3.3 Řez hlavou válců po kapilární zkoušce



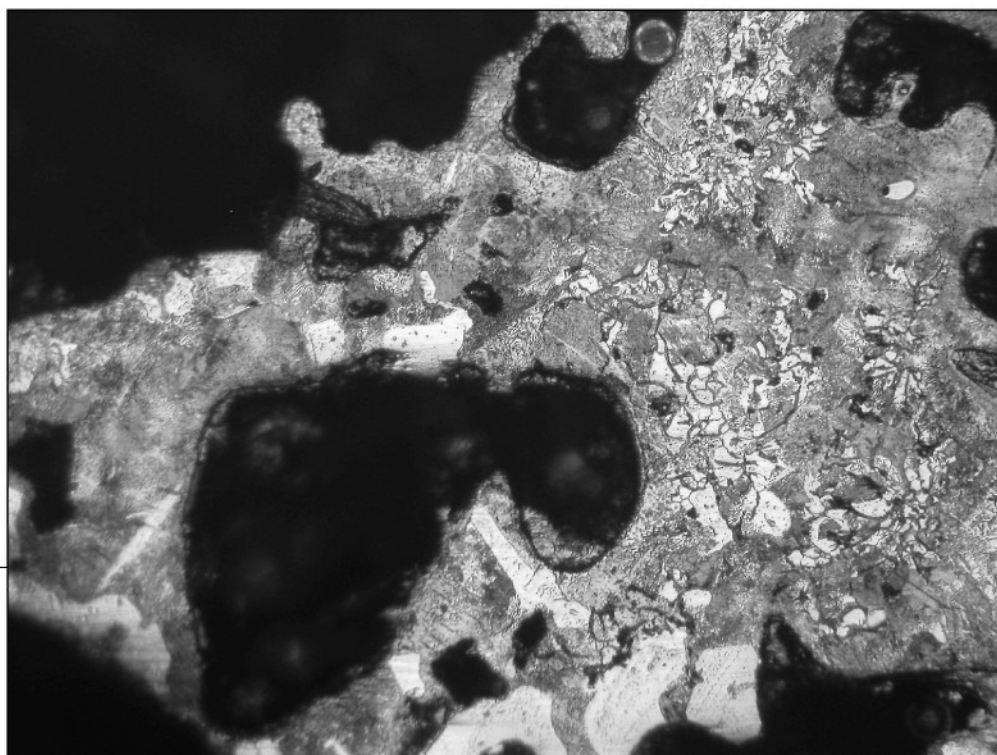
Obr. 3.4 Připravený vzorek pro zjištění mikrostruktury

3.3.1 Fotodokumentace mikrostruktur



Obr. 3.5 Připravený vzorek pro zjištění mikrostruktury

25x



Obr. 3.6 Mikrostruktura zkušebního vzorku A

50x



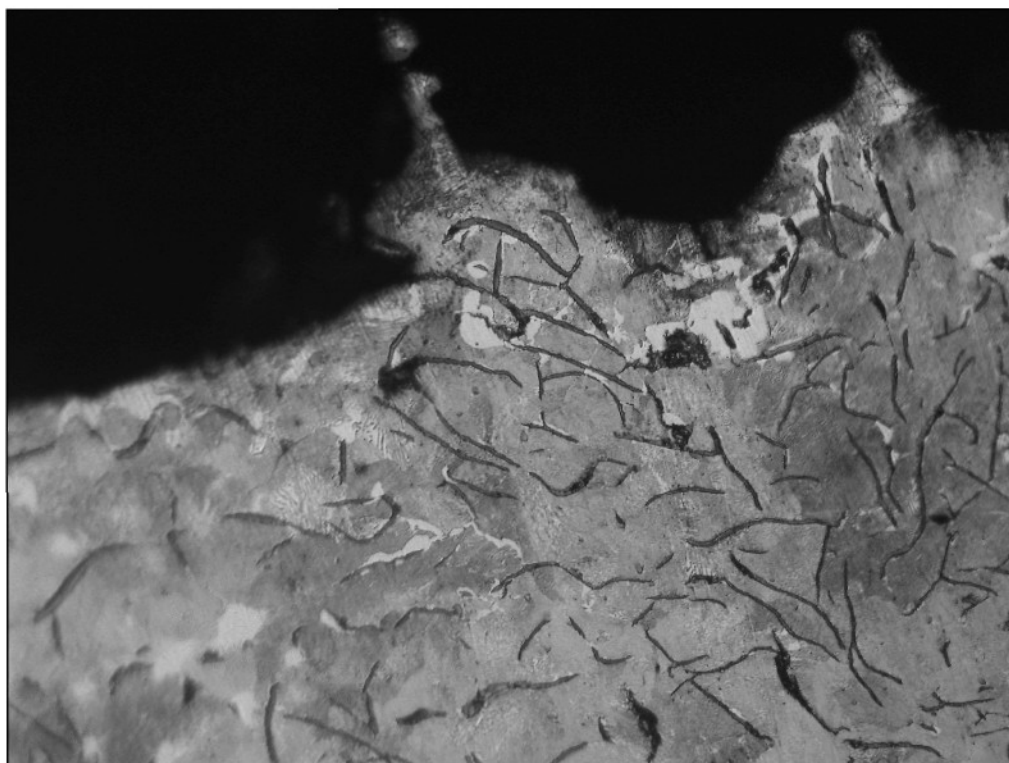
Obr. 3.7 Mikrostruktura zkušebního vzorku B

50x



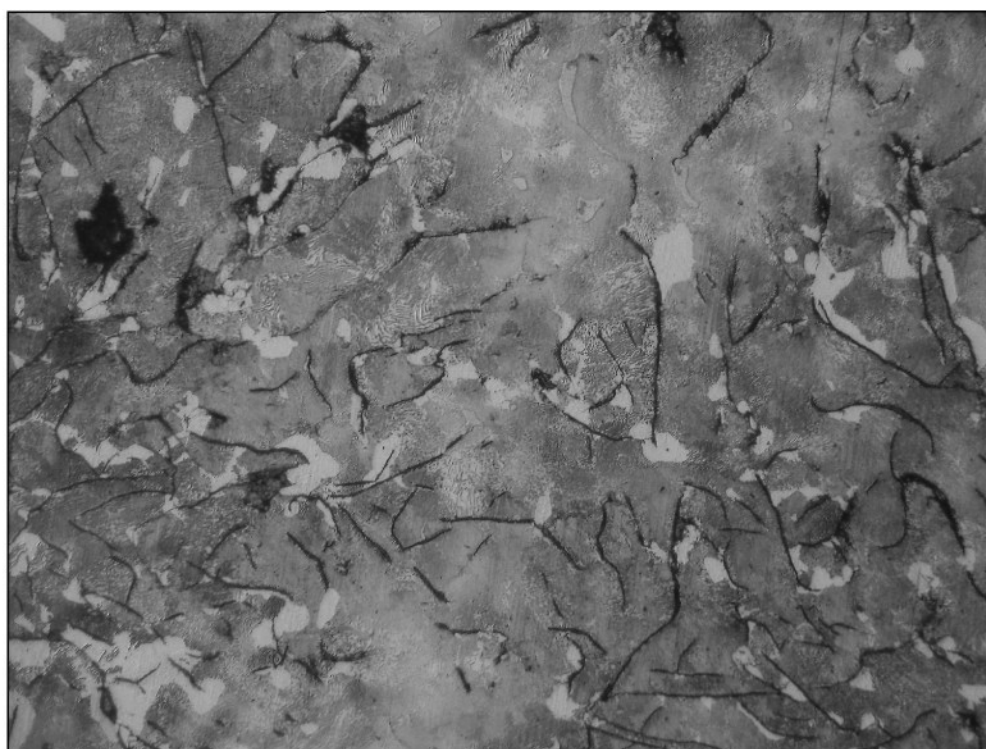
Obr. 3.8 Mikrostruktura zkušebního vzorku C

50x



Obr. 3.9 Mikrostruktura zkušebního vzorku A

100x



Obr. 3.10 Mikrostruktura zkušebního vzorku B

100x

Z metalografické expertízy, která byla hodnocena dle ISO 945, jsou u většiny metalografických výbrusů litiny s lupínkovým grafitem (GJL) patrné plynové bubliny. Taktéž jsou jasně patrné dutiny vzniklé exogenní bublinatostí.

Hodnocení jednotlivých mikrostruktur

- Obr. 3.5 - povrchové pásmo plynových a mezidendritických dutin
- Obr. 3.6 - GIB, velikost grafitu 5, lamelární perlit P1 – 70%, detail dutin
- Obr. 3.7 - GIA/B, velikost grafitu 5/6, lamelární perlit P1 - 90%, plynové dutiny
- Obr. 3.8 - GIA/B, velikost grafitu 5, lamelární perlit P1 – 90%, vnitřní červovitá dutina, oblý povrch svědčí o původci, plynu
- Obr. 3.9 - GIA, velikost grafitu 4/5, lamelární perlit P1 - 96%, disperze - Pd 0,5/1
- Obr. 3.10 - GIA, velikost grafitu 5, lamelární perlit P1 – 85%, disperze - Pd1,

Všechny vzorky mají fosfitické eutektikum Fr s ojedinělými jemnými útvary.

4 DISKUZE

Diskuze jednotlivých výsledků se dá rozložit do několika částí podle typů měření. Prvním typem měření, který lze z časového hlediska porovnávat se případnými změnami ve výrobě hlav válců, byla materiálová přejímací kontrola. Po zpracování dodaných dat je patrné, že většina kontrolovaných hlav válců M3348 odpovídala požadavkům stanoveným technickou dokumentací a ČSN 422425.

Při hodnocení přejímacích kontrol, kdy se sledují povrchové vady odlitků, je největším problémem rozdílnost informací o počtu dodaných hlav válců. Dalším problematickým bodem je poté chybné vyhodnocení vad odlitků odděleními řízení jakosti ve slévárně FEREX – castings Liberec a v Tedomu, divize Motory Jablonec nad Nisou. Staženiny se u litin s lupínkovým grafitem téměř nevyskytují a porezita není dle ČSN 421240 pro vady odlitků definována.

Nicméně je však z dodaných dat a metalografické expertízy zřejmé, že největším problémem je porézní materiál způsobený pravděpodobně velkým množstvím dutin, bublin. Tyto informace vychází především z metalografických expertíz tří náhodně vybraných vzorků. Pro přesnější hodnocení by bylo nutné provést metalografické expertízy u většího výběrového množství vzorků.

Příčinou této bublinatosti je poté zřejmě vysoký obsah plynů, které mohou vznikat díky vysokému obsahu pryskyřic u Cold-Boxových plášťových jader. Z informací získaných ze slévárny FEREX - castings Liberec vyplývá, že koncem 90. let se plášťová jádra nevyráběla jako dnes Cold-Boxovou metodou, ale Hot-Boxovou metodou s minimálním podílem složek, které vyvolávají vysokou plynatost při odlévání. U těchto hlav válců byla zmetkovitost do 2%. Vzhledem k restrukturalizaci výroby se přešlo u těchto jader na výrobu metodou Cold-Boxu.

Změny ve výrobě, které jsou za poslední období zaznamenané, nastaly až během měsíce března roku 2007, kdy se u metody Cold-Boxu změnila ostřiva. Každopádně je však nemožné po pouhých třech tavebách č. 8, 9 a 10 stanovit přesné závěry, zda má tato změna pozitivní vliv na výslednou zmetkovitost. Odlitky byly sice porézní pouze z 9%, avšak výrazně vzrostla neprůchodnost chladících kanálů.

5 ZÁVĚRY

Z dosažených výsledků materiálové přejímací kontroly je patrné, že litina s lupínkovým grafitem 422425.2 odpovídá předepsaným technickým požadavkům dle ČSN a požadavkům stanoveným společností Tedom s.r.o., divize Motory Jablonec nad Nisou.

Z výsledků přejímacích kontrol, kde se hodnotí slévárenské vady, je patrné, že největší podíl na zmetkovitosti má neprůchodnost chladícího prostoru a především porézní materiál, jenž je nejpravděpodobněji způsoben vysokým obsahem plynů. Celková zmetkovitost ve sledovaných obdobích za leden 2004 až duben 2007 je 1865 hlav, což představuje cca 36%,

příčemž má rostoucí tendenci. Vzhledem k informacím o počtu přejímaných kusů nelze tuto hodnotu určit přesněji.

Z metalografické fotodokumentace byl u vzorků zjištěn lamelární perlit P1. Při stanovení velikosti grafitu byla u většiny vzorků zjištěna hodnota GIA/B o velikosti 5-6, ojediněle 4-5. U vzorků jsou taktéž patrné dutiny, které díky zaoblenému tvaru svědčí o přítomnosti plynů v materiálu.

Opatření ke snížení zmetkovitosti:

Důsledné sledování a vyhodnocování zmetkovitosti jednotlivých sérií odlitků, taveb, jak na straně České železářské společnosti s.r.o., provozovně FEREX - castings Liberec, tak i na straně společnosti Tedom s.r.o., divize Motory Jablonec nad Nisou a to dle normy ČSN 421240, aby bylo možné jednotlivé tavby kvalifikovaně zpětně vyhodnotit a díky tomu navrhnout konkrétní změny u dalších taveb.

Ekonomicko-technická rozvaha, zda pro daný počet hlav válců vznětových motorů M3348 není výhodnější přejít u výroby plášťových jader zpět na metodu Hot-Boxu, u které byla zmetkovitost do 3%. Do zvýšených nákladů by bylo nutné zakalkulovat taktéž náklady na opravu či nový stroj pro Hot-Boxová jádra, neboť současný stroj je plně vytížen.

Úprava současné Cold-Boxové technologie. Jednou z možných úprav je typ a obsah pryskyřic ve směsi. Další možnou úpravou je zvýšení prodyšnosti formy, popřípadě přidání průduchů a výfuků ke snadnějšímu odvodu plynů.

6 LITERATURA

- [1] Leinveber, J. – Řasa, J. – Vávra, P. : Strojnické tabulky. Praha, Scinetia 2000
- [2] Novotný, J. : Technologie I. Praha, ČVUT 1996

- [3] Roučka, J.: Metalurgie litin, VUT FSI, Brno, PC-DIR Real, s.r.o., 1998
- [4] Česká technická norma: Slévárenství – Litiny s lupínkovým grafitem ČSN EN 1561, Praha, Český normalizační institut, 1999
- [5] Česká technická norma: Vady odlitků. Názvosloví a třídění vad. ČSN 42 1240, Praha, Český normalizační institut, 1964
- [6] Technická dokumentace: DOMENA – B 3.b, Brno, Elkoso spol. s r.o., 2006
- [7] ČSN 42 2425 Litina s lupínkovým grafitem 42 2425, účinnost od 1990. Praha, Český normalizační institut, 2001
- [8] Vetiška, A.: Teoretické základy slévárenské technologie, Praha, SNTL, 1974
- [9] Technická dokumentace: HLAVA VÁLCŮ č.v. 44210030065, Jablonec nad Nisou, Tedom s.r.o., divize Motory, 1991

7 PŘÍLOHY

1. Fotografie Hot-Boxových a Cold-Boxových jader, postup přípravy k odlití
2. Hodnocení vad slévárnou FEREX – castings Liberec za období 2004 – 2006
3. Hodnocení vad společností Tedom s.r.o. Jablonec nad Nisou za období 2004 – 04/2007
4. Přejímací materiálová kontrola v Tedomu s.r.o., Jablonec nad Nisou

Příloha č.1



Obr č. 1 Vnější Cold-Boxové jádro



Obr č. 2 Vnější Cold-Boxové jádro opatřené telurovým nátěrem



Obr č. 3 Vnitřní Hot-Boxové jádro



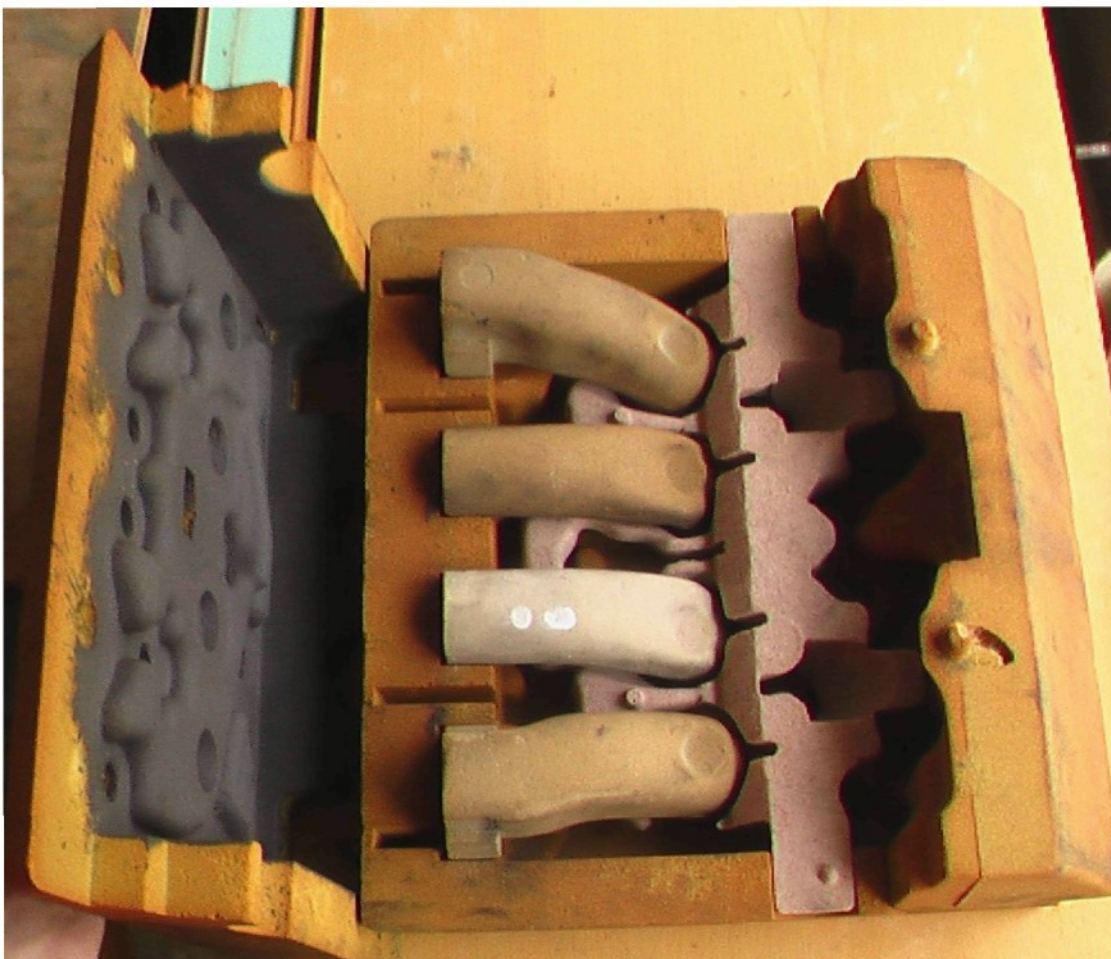
Obr č. 4 Vnitřní Hot-Boxové jádro opatřené zirkonovým nátěrem



Obr č. 5 Složená vnitřní jádra



Obr č. 6 Složená forma pro odlití před zaformováním do připravené směsi a rámu



Obr č. 7 Složená forma z Hot-Boxových a Cold-Boxových jader - vzor