Vysoká škola: strojní a textilní v Liberci

Katedra: materiálů a strojírenské metalurgie

Fakulta: strojní

Školní rok: 1980/81

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro s. Milana KRAUSE

obor strojírenská technologie

Protože jste splnil..... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: Studium tvaru, velikosti a rozložení grafitu v odlitcích vložených válců odlévaných odstředivě

Pokyny pro vypracování:

1. Seznámení s výrobou vložených válců ve slévárně AGROSTROJ Jičín se zaměřením na rozbor požadavků na materiál, vlastnosti odlitků včetně metod posuzování a vyhodnocování kvality odlitků vložených válců.
2. Příprava a zpracování postupu vyhodnocování chemického složení, mikrostruktury, mechanických vlastností /pevnost, tvrdost/, vad odlitků, obrobitelnost a pod. u odlitků
   a/ ze seriové výroby
   b/ zkušebních, odlitých po navržené úpravě technologie.
3. Vyhodnocení získaných výsledků, porovnání různých vlivů a podmínek, formulace závěrů pro možnost ovlivnění tvaru, velikosti a rozložení grafitu v odlitcích vložených válců odlévaných odstředivě.

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní záv. zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962 [illegible] MŠK [illegible] č. 24 ze dne [illegible] č. 115/53 Sb.

V 26/1981 9

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

Rozsah grafických prací: tabulky, grafy, schemata

Rozsah průvodní zprávy: asi 40 stran textu

Seznam odborné literatury:

Giršovič : Šedá litina
Bunin, K.P.: Strojenije čuguna
Bunin, K.P.: Osnovy metalografii čuguna
Podklady n.p. Agrostroj, Jičín

Vedoucí diplomové práce: Doc.Ing. Zdeněk Holubec, CSc

Konsultanti: Ing. Josef Jebavý /AGROSTROJ, Jičín/

Datum zadání diplomového úkolu: 6.101980

Termín odevzdání diplomové práce: 22.5.1981

L.S.

Doc.Ing. Václav Chaloupecký, CSc
Vedoucí katedry

Doc. RNDr. Bohuslav Stříž, CSc
Děkan

V Liberci dne 1.10. 19 80

V Š S T L I B E R E C
nositelka Řádu práce
fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

zaměření strojírenská metalurgie

Katedra materiálů a strojírenské metalurgie

STUDIUM TVARU, VELIKOSTI A ROZLOŽENÍ GRAFITU V ODLITCÍCH VLOŽENÝCH VÁLCŮ ODLÉVANÝCH ODSTŘEDIVĚ

Kraus Milan

DP - ST - 1730/81

Vedoucí práce: Doc. Ing. Zdeněk Holubec, CSc (VŠST Liberec)
Konzultant: Ing. Josef Jebavý (Agrostroj Jičín)

Rozsah práce a příloh

Počet stran 70
Počet příloh a tabulek 16
Počet obrázků 4
Počet výkresů 0

DT:

22.května 1981

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

V Liberci dne 22. května 1981

Kraus Milan

Obsah

1. Úvod 6

2. Technologie výroby vložených válců v n.p. Agrostroj Jičín 8

2.1. Tavírna 8

2.2. Výstelkárna 9

2.3. Odlévárna 10

3. Materiál vložených válců 12

3.1. Charakteristika vloženého válce 12

3.2. Technologické požadavky kladené na odlitky vložených válců 12

3.3. Materiály a způsob výroby vložených válců. . 13

3.4. Materiál vložených válců vyráběných v n.p. Agrostroj Jičín 18

3.5. Šedá litina obecně - vliv grafitu 19

3.6. Strukturní součásti šedé litiny 22

3.7. Vliv chemického složení 24

3.7.1. Vliv chemického složení na krystalizaci a strukturu šedé litiny 27

3.7.2. Vliv chemického složení na mechanické vlastnosti šedé litiny 32

4. Přehled metod posuzování a vyhodnocení kvality odlitků vložených válců 37

4.1. Zkouška tahem 37

4.2. Zkouška ohybem 37

4.3. Zkouška tvrdosti - dle Brinella 38

4.4. Rázová zkouška v ohybu - zkouška vrubové houževnatosti 38

4.5. Ostatní zkoušky 39

4.6. Zkoušky prováděné v n.p. Agrostroj Jičín . . 39

5. Návrh na provedení zkoušek 41

6. Vyhodnocení odlitků ze sériové výroby a po navržené úpravě chemického složení 42

6.1. Chemické složení 42

6.2. Mikrostruktura 45

6.3. Mechanické vlastnosti 52

6.4. Vady odlitků 59

6.5. Obrobitelnost 62

7. Vyhodnocení získaných výsledků 64

8. Závěr 66

Literatura 68

Seznam příloh 69

Seznam použitých zkratek a symbolů

P_e^C ..... chemická vazba legujícího prvku s uhlíkem

P_e^{Fe} ..... chemická vazba legujícího prvku se železem

P_C^C ..... chemická vazba mezi atomy uhlíku

C_e ..... uhlíkový ekvivalent

S_c ..... stupeň eutektičnosti

σ ..... jmenovité napětí

ε ..... poměrné prodloužení

ψ ..... poměrné zúžení

HB ..... tvrdost podle Brinella

HB_v .... tvrdost na vnějším povrchu podle Brinella

HB_n .... tvrdost na nákružku podle Brinella

HB_p .... tvrdost na pracovní ploše podle Brinella

C_e^x ..... uhlíkový ekvivalent změřený přístrojem

1. Úvod

Strojírenství je základem dynamického rozvoje celé československé ekonomiky. Směrnice XVI.sjezdu KSČ ukládají našim technikům a dělníkům zlepšit jakost a konstrukci vyráběných strojů, zajistit úsporu materiálu, energie, investic, pracovních sil, dále pak zrychlení výroby, snížení zmetkovitosti a pod. Těmito úkoly se zabývá a řeší je i n.p. Agrostroj Jičín, jako strojírenský podnik na výrobu zemědělské techniky.

Část výrobního programu tohoto podniku je zaměřena na výrobu vložených válců pro spalovací motory. Tato výroba byla převedena z n.p. SVA Kosmonosy a započala v roce 1968. Vyrábějí se zde vložené válce pro nákladní automobily a traktory.

Vložené válce spalovacích motorů, přestože patří k jednoduchým metalurgickým výrobkům, jsou z hlediska své výroby, funkce a požadavků na ně kladených jedny z nejnáročnějších součástí vyráběných odléváním.

Při volbě technologie lití vložených válců se vycházelo ze zkušeností v n.p. SVA Kosmonosy. V tomto podniku se vložené válce odlévaly do kroužkové výstelky příčně dělené, skládající se ze tří silnostěnných kroužků.

Při řešení úkolu technického rozvoje v n.p. Agrostroj Jičín byla vyvinuta, v rámci projekční přípravy, nová technologie odlévání vložených válců do skořepinové, podélně dělené výstelky.

Tato technologie umožnila lepší předlévání vnějšího povrchu vloženého válce a výrobu těchto výstelek bylo možno lépe mechanizovat.

Vzhledem ke stále rostoucím požadavkům na kvalitu vložených válců bylo úkolem této diplomové práce studium tvaru, velikosti a rozložení grafitu nízkolegované šedé litiny pro odlitky vložených válců odlévaných odstředivým způsobem. Pro určení vlivu grafitu na vlastnosti šedé litiny bylo nutné zpracovat výsledky, které dávají odlitky v sériové výrobě a porovnat je s hodnotami u odlitků, které dostaneme po navržené úpravě.

2. Technologie výroby vložených válců v n.p. Agrostroj Jičín

2.1. Tavírna

Aby bylo docíleno vyšší životnosti vložených válců, bylo rozhodnuto provádět tavení litiny v elektrických indukčních pecích. Byly použity tři 6t indukční elektrické tavící pece o nízké frekvenci (50 Hz). Udržování natavené litiny se provádí ve dvou bubnových 12t udržovacích, elektricky vyhřívaných pecích. Vhodnost kombinace elektrické tavící pece s udržovacím předpecím byla potvrzena v průběhu výroby, kdy při odstavení předpecí při odlévání přímo z tavících pecí docházelo ke zvýšení zmetkovitosti.

Vlastní vsázku tvoří:

- surové železo (slévárenské nebo oceláreneké)
- ocelový odpad (pakety)
- vlastní litinový odpad
- petrolkoks (smolný koks), FeMn, FeSi 75, FeCr, FeP, Ni

Jako očkovadlo se používá Gramod 30 (0,30 % na váhu kovu), které se vsypává do proudu taveniny při přelévání z předpecí do přepravní bubnové pánve zavěšené na vysokozdvižném vozíku.

Teplota přehřátí taveniny v peci se pohybuje v intervalu 1490 - 1510 °C. Udržovací teplota taveniny v předpecí je 1450- 1480 °C.

2.2. Výstelkárna

Odstředivé lití (vodorovná osa rotace) je v současné době nejvhodnější pro odlévání vložených válců, neboť působením odstředivé síly při tuhnutí dochází ke zlepšení vlastností odlitků. Slévárenskou formu tvoří slabostěnná výstelka.

Výstelka je v podstatě tenkostěnná skořepinová forma z pískové směsi. Velmi silně snižuje obvod tepla, což je při určeném chemickém složení litiny důležité pro dosažení perlitické struktury po celém průřezu odlitku vloženého válce. Dovoluje profilovat vnější povrch odlitku, z čehož plyne podstatná úspora kovu oproti odlévání do holé kokily.

V n.p. Agrostroj Jičín byla zavedena výroba skořepinovým formováním. Slabostěnná, podélně dělená výstelka se skládá ze dvou shodných symetrických jader, vyrobených ze směsi křemenného písku a termosetické pryskyřice v horkém jaderníku, vyhřátém na teplotu 300 - 320 °C, přičemž naplnění dutiny jaderníku se provádí vstřelením obalované směsi pomocí tlakového vzduchu. Výstelka se vkládá do kovového upinadla odstředivého stroje. Před vlastním použitím se výstelka natírá ochranným nátěrem proti penetraci kovu. Doba schnutí nátěru je asi 24 hod.

2.3. Odlévárna

Odstředivé lití, jako jeden ze specielních způsobů odlévání, nalézá stále širší uplatnění ve slévárenské výrobě. Výhody odstředivého lití oproti běžnému, statickému odlévání, jsou nesporné: úspora kovů, odpadá vtokový systém, nálitky, odlitky jsou téměř po celém průřezu zdravé, hutné, bez plynových a kovových vměstků, rovnoměrnější rozdělení strukturních složek i rozměrová stálost a i mechanické hodnoty jsou lepší než hodnoty dosažené statickým odléváním. Takto odlité vložky mají lepší funkční vlastnosti (otěruvzdornost).

K odstředivému lití odlitků vložených válců slouží licí stroje, jejichž konstrukce se v podstatě liší způsobem uchycení kokily (letmo, dvě rotující čelisti).

Automatický licí stroj s kokilou uchycenou mezi dvěma čelistmi je v podstatě třípolohový licí karusel s horizontální osou rotace. V poloze I se vkládá písková výstelka do kokily, v poloze II dojde k sepnutí kokily mezi rotační čelisti a k uvedení do rotace. Tato poloha je licí. Poloha III slouží k vyhození odlitku pomocí vzduchového válce. Otočný stůl, v němž jsou umístěny tři kokily, přemísťuje kokily do jednotlivých poloh.

Dvoupolohový automatický licí stroj je vylepšenou variantou již dříve popsaného stroje. Místo jedné licí polohy jsou zde dvě, takže lze současně odlévat dva odlitky, čímž se výkon stroje zvýší o 100 %.

Výstelka se vkládá v poloze III, která současně slouží pro vyhazování odlitků.

Licí stroje jsou uspořádány v lince a odlévání kovu do těchto strojů se provádí pomocí pojízdného dávkovacího zařízení. Potřebné množství kovu se zajistí vážením. Licí teploty se pohybují v rozmezí 1330 - 1380 °C, přičemž rychlost lití je předepsána v rozmezí 1,0 - 1,5 kg/s. Doba rotace odlitku je přibližně 5 min. při obvodové rychlosti 5 - 6 m/s na vnitřním průměru odlitku. Teploty vyhazování odlitků z licího stroje se pohybují v rozmezí 990 - 1050 °C.

Licí stroje s letmo uchycenou kokilou slouží pro lití odlitků v kusové výrobě. Nejsou vybaveny žádným automatickým zařízením, kromě automatického stanovení doby rotace. Odlitek se odlévá do vyměnitelné kovové vložky vložené do pláště kokily. Odlévání se provádí pomocí licí pánve s dávkováním metodou na "odstřik".

Automatické licí stroje se používají pro odlévání vložených válců do pískových forem, zvaných výstelky, které jsou do kokil zasouvány ručně. Licí stroje s letmo uchycenou kokilou se používají pro lití do kovových forem (tzv. na kokilu), popřípadě se používá technologie zvaná na "výsyp".

3. Materiál vložených válců

3.1. Charakteristika vloženého válce

Vložený válec je jednou z provozně nejnamáhavějších částí motoru, na který působí kombinované namáhání od vnějších i vnitřních sil, tepelné dilatace, otěr spojený s korozí za vysokých teplot.

Za těchto náročným podmínek musí vložený válec zachovat rozměrovou stálost, odolnost proti chladicím mediím, absolutní nepropustnost, dobrou přilnavost olejového filmu a v neposlední řadě i dobrou obrobitelnost, slévatelnost, pevnost a odolnost proti únavě.

Rozhodujícím faktorem, který určuje kvalitu vloženého válce je jeho odolnost proti opotřebení, k němuž dochází vlivem posuvu pístních kroužků po vnitřní pracovní ploše válce. Při vysokých rychlostech posuvu jsou narušovány a rozmačkávány povrchové vrstvy materiálu, dochází k jejich odlupování a štěpení, vytrhávání základní kovové hmoty a oxidaci.

Mezi faktory určující stupeň opotřebení vložených válců je nutno zahrnout strukturu a materiál vloženého válce, materiál pístních kroužků, mazací olej atd.

3.2. Technologické požadavky kladené na odlitky vložených válců

1. Dobré mechanické obrábění
2. Funkční způsobilost

Chemické složení materiálu vložených válců musí být takové, aby výsledný materiál byl nejen vysoce pevný, otěruvzdorný a homogenní, ale musí splňovat i podmínky dobrého obrábění. Obě tyto vlastnosti se v praxi vzájemně potlačují, to znamená zvýšená pevnost vede ke zhoršení obrobitelnosti a naopak. Zkloubit proto vzájemně obě tyto podmínky je základem ekonomické výroby vložených válců.

3.3. Materiály a způsob výroby vložených válců

A) Vložené válce se vyrábějí

a) ze šedé litiny

- lité do písku
  - stacionárně: - nelegované
    - mírně legované
    - silně legované
- lité odstředivě
  - na kokilu: - nelegované
  - na výstelku: - legované

b) z ocelolitiny
- nelegované
- legované: bez nebo s tepelným zpracováním

c) z oceli tvářené
- uhlíkové nebo mírně legované chrómem

d) z neželezných materiálů
- např. Silgraf - křemík - grafitohliníková slitina

B) Vložené válce různých výrobců /3/:

Výrobce M.A.N. (NSR) má chemické složení vloženého válce:
C= 3,39 - 3,42 %, Si = 2,58 - 2,92 %, P = 0,42 %,
S = 0,03 %, Cr = 0,21 - 0,26 %, Mn = 0,82 - 0,89 %,
Ni = 0,03 - 0,04 %.
Motor je určen pro autobus - výrobce Ikarus.
Grafit I A, B, E, 7, 8.

Výrobce Volvo (Švédsko) má chemické složení obdobné, ale Cr = 0,62 - 0,72 % a Ni = 0,18 - 0,21 %.
Motor je určen pro nákladní automobil - tahač.
Grafit I A, B, 5, 6, 7.

Výrobce VEB Blankenburg (NDR) má snížený obsah C = 3,17 - 3,18 % a Si = 2,28 - 2,43 % a více.
P = 0,51 - 0,63 %, Cr a Mn jako Volvo a více,
Ni = 0,48 - 0,53 %.
Vložený válec je vyroben odstředivě. Motor je určen pro nákladní automobil - výrobce IFA.
Grafit I A, C, 5, 6, 7.

Výrobce J. Wizeman (NSR) - výrobní označení Standart má snížený obsah Si = 2 % a není použito legury Ni.
Vložený válec je vyroben odstředivě s tvrdostí 220 ± 20 HB a struktura je zde dokonale perlitická.
U téhož výrobce s výrobním označením Standart HV při obdobném chemickém složení - pouze více P = 0,7 %, čímž se zvýšila tvrdost o 20 HB. Tento materiál je zvlášť odolný proti opotřebení. Struktura je též perlitická s dobře utvořeným fosfidovým síťovím.

U téhož výrobce s výrobním označením Standar LCM bylo použito též legury Mo = 0,4 %, čímž se zvýšila tvrdost o 30 HB a tento materiál má zvlášť dobrou pevnost ve střihu.

Výrobce Scania (Švédsko) používá místo Ni legury Mo = 0,12 % a dosahuje tím pevnosti válce 260 - 292 MP_a.

Grafit I A, C.

Výrobce Teves - Thomson GMBH (NSR) s výrobním označením A62 má C a P stejně, Si = 1,8 - 2,2 %, S max = 0,07 %, Cr = 0,2 - 0,5 %, Mn = 0,6 - 1 %. Vložený válec je vyroben odstředivě s tvrdostí 200 - - 260 HB, σ_{Pt} = 235 MP_a (min.).
U téhož výrobce s označením A62 je chemické složení stejné, pouze P je více 0,5 - 0,9 %.
Válec je vyroben odstředivě s tvrdostí 220 - 280 HB, σ_{Pt} = 215 MP_a (min.).
Týž výrobce s označením A70 používá navíc legury Ni = = 0,5 - 0,8 %, čímž se zvýšily pevnostní hodnoty - - σ_{Pt} = 255 MP_a (min.).
U téhož výrobce s označením A82 je použito místo Ni jako legury Mo = 0,3 - 0,6 %, čímž se dosáhne zvýšení tvrdosti na 230 - 290 HB a σ_{Pt} = 275 MP_a (min.).
Týž výrobce s označením A92 má zvýšený obsah C = = 3,8 - 4,3 % a snížený Si = 1,0 - 1,4 %, P = 0,1 - - 0,4 % a Mn = 0,1 - 0,35 % a byly použity legury Cu = 0,4 - 0,8 %, Mo = 0,2 - 0,6 %, Sn = 0,4 - 0,6 %. Bylo dosaženo snížení tvrdosti na 180 - 240 HB, σ_{Pt} = 195 MP_a (min.).

Výrobce Pleuco (NSR) s výrobním označením 1 má C a Si jako Teves Thomson, P = 0,6 - 0,9 %, S max = 0,1 %, Cr a Mn obdobné.
Vložený válec byl vyroben odstředivě na výsyp a bylo dosaženo tvrdosti 220 - 270 HB.
Týž výrobce s označením 2 má snížený obsah P = 0,4 - 0,6 % s použitím legury Mo = 0,2 - 0,5 %.
Bylo použito stejné výrobní metody a dosaženo týž hodnot tvrdosti.
U téhož výrobce s označením 4 bylo použito toto chemické složení: C = 2,4 - 3 %, Si = 1,6 - 2,2 %, P = 0,02 %, S = 0,07 %, Cr = 1,7 - 2,5 %, Ni = 13,5 - - 17,5 %, Cu = 5,5 - 7,5 %, Mn = 1 - 1,5 %.
A při stejné výrobní metodě bylo dosaženo týž hodnot tvrdosti.

Výrobce Závod 27. Marta Novi Sad (Jugoslávie) použil toto chemické složení C = 3,2 - 3,4 %, Si = = 2,1 - 2,6 %, P = 0,35 - 0,5 %, S = 0,1 - 0,12 %, Cr = 0,35 - 0,6 %, Mn = 0,65 - 1 %.
Vložený válec byl vyroben odstředivě na výstelku a bylo dosaženo tvrdosti 220 - 250 HB. Grafit I A, B.

Výrobce WSMPZL Krotoszyn (Polsko) s výrobním označením BN - 73/1372-01 má obdobné chemické složení a legury Cr = 0,4 - 0,6 %, Ni = 0,1 - 0,3 %, Mo = 0,25 - 0,5 %, Sn max = 0,1 %.
Vložený válec byl vyroben odstředivě na grafitový výsyp a bylo dosaženo tvrdosti 225 - 285 HB.
U téhož výrobce s označením CI-1 s obdobným chemickým složením, ale bez Ni bylo dosaženo tvrdosti 225 - - 295 HB.

Týž výrobce s označením CI-1a s obdobným chemickým složením, ale bez Ni a Mo a se zvýšeným obsahem P = = 0,6 - 0,9 % při stejném výrobním způsobu bylo dosaženo tvrdosti 230 - 280 HB.

Výrobce Sheepbrigde (Anglie) má chemické složení: C = 3,2 - 3,6 %, Si = 1,6 - 2,4 %, P = 0,15 - 0,3 %, Cr = 0,3 - 0,45 %, Cu = 0,3 - 0,45 %, Mn = 0,5 - 1,0 % a bylo dosaženo tvrdosti 230 - 280 HB.
U téhož výrobce s jiným označením při stejném obsahu C a Cr, zvýšený Si = 2,4 - 2,7 %, P = 0,4 - 0,7 % a Mn = 0,7 - 1,2 %, bylo dosaženo tvrdosti 230 - 290 HB.
Týž výrobce s jiným označením při zvýšeném obsahu Si = 3,0 - 3,15 % a P = 0,6 - 0,8 % naměřil tvrdost 242 - 269 HB.
U téhož výrobce s jiným označením a při chemickém složení C = 2,5 - 2,8 %, Si = 1,6 - 2 %, P max = 0,15 %, Cr = 1,25 - 2 %, Ni = 14 - 16 %, Mn = 1 - 1,2 % bylo dosaženo tvrdosti 159 - 180 HB.

Výrobce Traktordětal Kijev (SSSR) má obdobné chemické složení ale S = 0,12 %, Cr = 0,25 %, Ni = = 0,15 % a Mn = 0,8 - 1,0 %. Vložený válec je vyroben odstředivě na výsyp s tvrdostí 229 - 245 HB, pracovní plocha kalena na 40 HRC.

Výrobce Kövac (Maďarsko) má chemické složení: C = 3,1 - 3,4 %, Si = 1,9 - 2,3 %, P = 0,1 - 0,4 %, S max = 0,04 %, Cr = 0,2 - 0,4 %, Mo = 0,4 - 0,6 %, Mn = 0,6 - 1 %. Vložený válec byl vyroben odstředivě na výsyp s tvrdostí 240 - 260 HB. Grafit I A, B.

3.4. Materiál vložených válců vyráběných v n.p. Agrostroj Jičín

Jako materiálu se používá nízkolegovaná šedá litina ČSN 422425. Její průměrné chemické složení je:

C ..... 3,0 - 3,5 %
Si ..... 1,8 - 2,6 %
Mn ..... 0,6 - 0,9 %
S ..... max 0,08 %
P ..... 0,3 - 0,5 %
Ni ..... 0,2 - 0,4 %
Cr ..... 0,25 - 0,5 %

Pevnost v tahu je zkoušena na zkušebních tyčích odděleně litých dle ČSN 420361. Minimální požadovaná pevnost v tahu je 260 MP_a. Tvrdost je měřena Brinellovou zkouškou na těle odlitku v oblasti pracovní části odlitku na třech místech v rovině kolmé k ose odlitku po 120 °. Požadovaná tvrdost se pohybuje v rozmezí 210 - 260 HB. Struktura se zkoumá na vzorku ze stěny odlitku. Struktura musí být do hloubky 2 mm od pracovního povrchu perliticky jemnozrná. Strukturní součásti jsou předepsány následovně:

- grafit - lupínkový I A, B, C, velikost 4, 5
- perlit - lamelární Pt 1, Pd 0,5, Pd 1, Pd 0,2 přípustné
- steadit - tvoří nesouvislé až souvislé síťoví (Fr2 - Fr3)
- ferit - povolen do 5 %
- cementit - nesmí být volně přítomen

3.5. Šedá litina obecně - vliv grafitu

Šedá litina je slitina železa s uhlíkem, křemíkem, manganem a dalšími prvky, v níž množství uhlíku přesahuje maximální hodnotu rozpustnosti v austenitu, přičemž převážná část uhlíku je vyloučena jako lupínkový grafit. Kromě doprovodných prvků a výrobně nutného množství přísadových prvků může šedá litina obsahovat také legovací prvky.

Šedá litina spojuje přednosti nízké ceny, dobré slévatelnosti i výhodných mechanických vlastností. Do velké míry se šedá litina rozšířila jako konstrukční materiál, k čemuž přispěl i příznivý vývoj pevnostních i technologických vlastností litin v poslední době.

Pro šedou litinu je charakteristické, že modul pružnosti v tahu se mění s napětím, takže Hookeův zákon pro šedou litinu neplatí. Modul pružnosti litin kolísá v poměrně širokých mezích od $0{,}6.10^5$ do $1{,}6.10^5$ MP_a /2/.

Litina je poměrně křehký materiál a nemá téměř žádnou tažnost. Lom při působení vnější síly nastává proto bez znatelné deformace.

Pevnost v tlaku šedých litin je asi 3krát až 4krát větší než v tahu a je podstatně méně ovlivňována množstvím a tvarem grafitu než pevnost v tahu /2/.

Pevnost v ohybu je rovněž 1,5krát až 2krát větší než v tahu a je v podstatě rovněž funkcí struktury. Přítomnost grafitu ovlivňuje však pevnost v ohybu méně než pevnost v tahu /2/.

Tvrdost je u čistě perlitické litiny asi 220 HB. S přibývajícím množstvím feritu nebo grafitu se tvrdost zmenšuje, až u litiny čistě feritické klesne na hodnotu asi 120 HB. Přítomnost cementitu zvětšuje tvrdost litiny, která u bílých litin může dosáhnout až 500 HB /2/.

Na mechanické vlastnosti šedé litiny má největší vliv tvar, velikost a rozložení grafitu a struktura základní hmoty (matrice). Grafitové lístky zmenšují především aktivní průřez a způsobují vznik místních koncentrací napětí při namáhání součásti.

Lze počítat, že u lupínkového grafitu se využije jen asi 30 až 50 % pevnosti matrice a prakticky se vůbec nevyužije jejich plastických vlastností. Při zjemnění grafitových lupínků roste i pevnost litiny /2/. Grafitové částice působí jako vnitřní vruby. Šedá litina s lupínkovým grafitem má malou pevnost, tažnost, nižší modul pružnosti, mez pružnosti a úměrnosti vlivem rychlého růstu trvalých deformací. Na druhou stranu má malou citlivost k účinkům vrubů a velkou dynamickou houževnatost. Vruby vyskytující se v kterémkoliv odlitku (otvory, náhlé přechody, dutiny, póry, nekovové vměstky) velmi málo snižují konstrukční pevnost a špičková napětí. Je menší nebezpečí že se dostane do rezonance s kmitáním části nebo celé konstrukce /1/.

U šedé litiny jejíž základní struktura je prostoupena lupínky grafitu, stávají se nejexponovanějším místem, zejména rozhraní feritových a cementových lamel ve styku s lupínky grafitu, kde vzniká zárodek mikrotrhliny křehkým lomem ještě před úplným vyčerpáním deformačních schopností feritu. Uplatňuje se tak vnitřní vrubový účinek grafitových lupínků, ovšem rozdílně podle směru intenzity silového toku vůči grafitovým lupínkům. Na základě vlastních experimentů shodně s literárními prameny konstatuje Jareš, že litinové zkušební tyče se chovají jako tyče ocelové s úmyslně vytvořenými otvory, jmenovitě tyče se štěrbinovými otvory jsou analogické svým chováním tyčím ze šedé litiny s lupínkovým grafitem. U šedé litiny legované musí být rozhodujícím kriteriem pro volbu druhu a množství legujících prvků jejich působení na zjemnění vyloučených lupínků grafitu v kriticky namáhaných stěnách a potom teprve jejich vliv na zjemnění a homogenizaci základní hmoty /6/.

Obecně se připouští, že grafit typu A, alespoň pokud jde o povrch vrtání, významně zlepšuje odolnost proti oděru a opotřebení a současně potlačuje tendence k tvorbě volného feritu /4/.

Je též patrný zřetelný vliv tvaru grafitu na intenzitu oxidace. Potvrdil se zde nepříznivý vliv lamelárního grafitu, který svým tvarem napomáhá průniku oxidace dovnitř odlitku /7/.

Velmi důležitou vlastností šedých litin je velmi dobrá schopnost útlumu, která značně závisí na tvaru a velikosti grafitu. Zatímco grafit vyloučený ve tvaru tenkých lupínků tlumení zvětšuje, zrnitý grafit působí mírněji. Přesto však litiny se zrnitým grafitem jsou výhodnější než ocel.

Grafitové lupínky ve struktuře snižují velmi podstatně citlivost litiny k účinkům vrubů. Při dynamickém namáhání je proto šedá litina často rovnoceným nebo dokonce výhodnějším konstrukčním materiálem než ocel.

Strukturní složky litiny s vyjímkou grafitu a jiných vměstků nazýváme základní kovovou hmotou. Krystalizace základní kovové hmoty bývá studována odděleně od krystalizace grafitu (grafitizace).

Grafitizace je obtížná v binární soustavě Fe-C, ovšem v litinách, které obsahují prvky, grafitizaci podporující, dochází k ní snadno. Mezi těmito prvky je třeba na prvním místě uvést křemík. Další grafitizační prvky jsou hliník, nikl, měď, fosfor atd. Vzhledem k mimořádnému významu křemíku jsou sestaveny ternární diagramy Fe-C-Si vždy pro určité % Si.

Průběh krystalizace litiny závisí nejen na chemickém složení, ale i na podmínkách odvodu tepla. Počet a velikost eutektických buněk má základní význam pro strukturu a vlastnosti litiny, ale není jediným strukturním určujícím činitelem pro mechanické vlastnosti a nelze mluvit o jednoznačné souvislosti mezi těmito veličinami /8/.

3.6. Strukturní součásti šedé litiny

a) Grafit - jeho množství a tvar má význačný vliv na vlastnosti litiny. Norma rozděluje grafit na: lupínkový, lupínkový mírně přechlazený, přechlazený, zrnitý, temperový.

b) Perlit - tvoří základní hmotu (matrici) v perlitické šedé litině. Jeho struktura, tj. hustota destiček cementitu a feritu a jejich velikost, určuje pevnost a houževnatost litiny a její odolnost proti opotřebení.

Kromě těchto dvou základních složek může být přítomen ještě:

c) Ferit (jako volný) - v litině v podstatě tuhý roztok křemíku v železe. Litiny s větším množstvím feritu mají menší pevnost v tahu, tvrdost i menší odolnost proti opotřebení než litiny perlitické.

d) Cementit (jako volný) - objevuje se tuhneli litina dle metastabilního rovnovážného diagramu. Dle složení a rychlosti ochlazování se jen část uhlíku přemění na cementit, pak tvoří nesouvisející krystaly nebo je všechen uhlík vázán na železo jako karbid, pak tvoří ve struktuře souvislou síť. Taková litina je na lomu bílá, je velmi tvrdá a křehká.

e) Fosfid železa - při větším obsahu fosforu (asi nad 0,03 %) jako ternární eutektikum $Fe-Fe_3C-FeP$ zvané steadit. Má velmi nízkou teplotu tání (950 °C) a proto při krystalizaci litiny tuhne jako poslední. Je to tvrdá a křehká složka.

f) Sirníky - jako samostatná fáze, a to buď sirník manganatý (MnS), nebo podvojný sirník manganatý a železnatý (xFeS-yMnS).

3.7. Vliv chemického složení

Přísadové prvky mění podmínky prvotní krystalizace a překrystalizace. Krystalizace litinových odlitků je funkcí několika činitelů: chemického složení kovu, rychlosti ochlazování odlitku, charakteru roztavené litiny atd. Všichni tito činitelé předurčují příslušné strukturní změny grafitu i základní kovové hmoty litiny.

Chemické složení má na krystalizaci litiny velký vliv. Měníme-li složení litiny, můžeme za jinak stejných podmínek dosáhnout toho, že odlitky budou mít různou strukturu.

Sledujeme-li vliv prvků na krystalizaci litiny, zajímá nás nejvíce jejich vliv na grafitizaci. Podle toho je rozdělujeme na prvky grafitizaci:

a) podporující - Al, C, Si, Ti, Ni, Cu, P, Co, Zr;
b) zabraňující - Nb, W, Mn, Mo, S, Cr, V, Te, Mg, Ce, B /1/.

Grafitizace - krystalizace grafitu nastává při ochlazování ve formě, kdežto prvotní krystalizace probíhá v oblasti mnohem vyšších teplot. Grafitizace šedé litiny probíhá buď přímou krystalizací grafitu nebo rozpadem dříve vyloučených karbidů. Dle toho rozeznáváme tuhnutí dle stabilní či metastabilní soustavy. Krystalizační zárodky při grafitizaci tzv. koncentrační odchylky (tj. skupina atomů odchylné koncentrace) - přítomnost cizích zárodků způsobuje, že litina tuhne ve stabilní soustavě, kdežto bez nich probíhá tuhnutí dle soustavy metastabilní /1/.

Grafitizační působení prvků se také spojuje s jejich působením na polohu bodů C, S, E v rovnovážném diagramu Fe-C. Za stejných podmínek má každé zvýšení překrystalizační teploty a posunutí bodů C, S, E doleva obvykle příznivý vliv na grafitizaci, protože grafitizace probíhá tím rychleji, čím vyšší je teplota a čím více uhlíku se vylučuje z taveniny a z tuhého roztoku. Toto má své vyjímky. Např. chróm snižuje obsah uhlíku v eutektiku, zvyšuje jeho teplotu tuhnutí, avšak zároveň zabraňuje grafitizaci /1/.

Grafitizační působení prvků dle polohy v periodické soustavě:

a) podporující grafitizaci - prvky I. a VIII.skupiny
b) zabraňující grafitizaci - prvky V. a VI.skupiny.

Grafitizační schopnost prvků je periodickou funkcí jejich atomového čísla, poněvadž poloha prvku v periodické soustavě souvisí se stavbou jeho atomu /1/.

Grafitizace je z větší části difúzním pochodem probíhajícím v roztoku a grafitizační účinek prvků se zpravidla vysvětluje vzájemnou vazbou mezi atomy roztoku, která rozhoduje o rozdělení prvků mezi jednotlivé fázové složky. Tento poměr může být vyjádřen takto:

$$P_e^c : (P_e^{Fe} + P_C^C), \qquad (1)$$

kde P_e^C je chemická vazba legujícího prvku s uhlíkem,
P_e^{Fe} je chemická vazba legujícího prvku se železem,
P_C^c je chemická vazba mezi atomy uhlíku /1/.

Čím větší je poměr (1), čím větší jsou síly, které vážou prvek k uhlíku (P_e^C), tím větší je pravděpodobnost, že uhlík bude krystalovat ve formě karbidů a naopak. Vliv prvků na difúzní grafitizaci je tedy určován nejen slučovacími silami s uhlíkem, ale i slučivostí se železem /1/.

Vliv prvků na strukturu a vlastnosti litiny se neprojevuje pouze podmínkami grafitizace, nýbrž i krystalizací základní kovové hmoty. Slitinové prvky mění krystalizaci i strukturu litiny tvorbou roztoků s jejími základními strukturními složkami nebo nových zvláštních fází. Je proto nutné rozlišovat grafitizační a přímý vliv prvků.

Přímé působení rozpustných příměsí i slitinových prvků na parametry krystalizace se udává jejich vlivem na množství práce potřebné k tvoření zárodků, na rychlost difúze, vazkost a tepelnou vodivost kovů.

Mimo to mají na krystalizaci přímý vliv nerozpustné nebo těžko rozpustné sloučeniny, které tvoří vynucené zárodky nebo adsorbční blanky na rostoucích krystalech. Tím se mění stupeň přechlazení a tedy i parametry krystalizace. Během překrystalizace se proto mění teplota i rychlost přeměny austenitu. Snížení teploty přeměny i její zpomalení zvyšuje disperzi zplodin rozpadu austenitu a vede ke zjemnění struktury základní kovové hmoty litiny.

3.7,1. Vliv chemického složení na krystalizaci a strukturu šedé litiny

Uhlík - má největší význam ze všech prvků, které způsobují grafitizaci. Grafitizační působení uhlíku v šedé litině se vysvětluje tím, že uhlík zvětšuje počet zárodků a zvyšuje eutektickou a eutektoidní teplotu. Posunuje eutektický i eutektoidní bod směrem doleva tj. k vyšším teplotám a nižším koncentracím, zmenšuje tedy rozpustnost uhlíku v tuhém i tekutém stavu a způsobuje grafitizaci. Vyšší procentuelní obsah uhlíku podporuje hrubnutí vyloučeného grafitu. S klesajícím obsahem uhlíku v šedé litině se zjemňuje vyloučený grafit a nakonec dostává mezidendritický tvar. Aby došlo ke vzniku mezidendritického grafitu při vyšším obsahu uhlíku je nutno zvýšit rychlost ochlazování odlitků.

Křemík - zvyšuje eutektickou i eutektoidní teplotu, posouvá body C, S v rovnovážném diagramu Fe-C doleva (klesá rozpustnost uhlíku v tekutém stavu) a způsobuje grafitizaci. Zmenšuje interval tuhnutí (zvyšuje eutektické teploty a snižuje teploty likvidu), což je důležité pro slévatelnost litiny. Zmenšuje oblast roztoku γ. Při obsahu 9 - 11 % křemíku oblast roztoku γ úplně vymizí a litina má primární feritickou strukturu. V litině běžného složení tvoří křemík tuhé roztoky se základními strukturními složkami a netvoří nové fáze. Při větším obsahu křemíku než 2,5 % vznikne nová karbidová fáze, která se při ohřevu neokysličuje. Při obsahu 7 % vypuzuje tato fáze cementit úplně.

Mangan - zabraňuje grafitizaci (nejintenzívnější vliv nad 1,5 až 2 %). V tuhém stavu se Mn v litině úplně rozpouští, tvoří roztoky s feritem i cementitem a netvoří zvláštní strukturní složky. Značně snižuje překrystalizační teploty γ na α, rozšiřuje pole γ a způsobuje zjemnění zplodin rozpadu austenitu, takže vzniká stálá austenitická struktura bez dalších přeměn.

Síra - zabraňuje grafitizaci. Na rozdíl od Mn je velmi málo rozpustná ve feritu (austenitu) i v cementitu, takže při obsahu asi 0,02 % tvoří samostatnou fázi - sirníky. Jejich složení a tvar závisí na obsahu Mn a ostatních prvků v litině. Vliv S na grafitizaci závisí na složení a tvaru sulfidů v litině, velmi ji brzdí je-li přítomna v podobě eutektika nebo roztoku bohatého železem.
Za přítomnosti Mn, Al, Ce, Zr, Mg, Cu a jiných prvků probíhá v litině reakce:

$$FeS + Me = Fe + MeS \qquad (2)$$

Protože je však reakce (2) vratná, existují v praxi vždy sirníky železa zároveň se sirníky druhých prvků. Síra se stává se zřetelem na tvoření bílé litiny tím nebezpečnější, čím nepříznivější jsou ostatní podmínky pro grafitizaci. Také způsobuje praskání odlitků za tepla (za červeného žáru).

Fosfor - posouvá bod C rovnovážného diagramu Fe-C doleva. Snižuje eutektickou teplotu i teplotu likvidu, což ovšem nemá téměř vliv na

interval tuhnutí litiny. S roztavenou litinou tvoří homogenní roztok (stejně jako Si) a snižuje v něm rozpustnost uhlíku. Vyznačuje se velmi omezenou rozpustností v tuhém stavu, zejména za nízkých teplot a při větším obsahu uhlíku v kovu. Je-li fosforu v litině více než kolik se ho v ní může rozpustit, tvoří se nová strukturní složka - - potrojné fosfidové eutektikum $Fe-Fe_3C-Fe_3P$, které se taví při 950 °C. U šedé litiny je možnost výskytu podvojného eutektika (společně s potrojným) $Fe-Fe_3P$ (vlivem některých prvků dochází k rozpadání Fe_3C). Tím, že fosfor tvoří s feritem tuhý roztok s malou koncentrací, oslabuje poněkud meziatomovou vazbu železa s uhlíkem a mírně podporuje grafitizaci (zejména při vysokých teplotách). Při nižších teplotách se vliv fosforu na grafitizaci prakticky neprojeví. Při vysokém obsahu fosforu (nad 0,03 %) o vysoké žíhací teplotě může dojít k vylučování volného uhlíku v lístkovém tvaru, neboť za těchto podmínek se fosfidové eutektikum roztaví a grafit krystaluje z taveniny.

Legující prvky

Mají různý vliv na krystalizaci. Rozdělují se dle toho, v jakém útvaru jsou přítomny v základní kovové hmotě litiny:

1. tvoří převážně nebo výlučně tuhé roztoky s feritem - Ni, Cu, Co, částečně Al
2. částečně rozpuštěné ve feritu a cementitu, částečně tvoří samostatné fáze - Cr, Mo, V, W, B, Te,

Mg atd.

3. tvoří hlavně samostatné fáze (karbidy, nitridy, sirníky) - Ti, Zr, Nb atd.

Prvky prvé skupiny oslabují vazbu železa s uhlíkem a způsobují grafitizaci. Zároveň zmenšují v různé míře rozpustnost uhlíku v roztavené litině a posunují eutektický bod doleva. Zvýšíme-li proto jejich množství v litině, zvětšuje se v počátku množství grafitu a později se zmenšuje.

Nikl - podporuje grafitizaci volných karbidů. V druhotném stadiu grafitizace zpomaluje vlivem snížení překrystalizační teploty poněkud rozpad eutektoidních karbidů. Maximální grafitizace je při 8 % Ni.

Hliník - grafitizace litiny se rychle zvětšuje do 4 % Al a potom stejně prudce klesá, takže při 8 až 16 % Al tuhne litina bíle. Při dalším zvýšení obsahu Al se grafitizace znovu zvětšuje, dosahuje druhého maxima asi při 23 % Al a potom znovu klesá, takže při 29 % Al se litina opět stává bílou.

Měď - působí na grafitizaci podobně jako Ni, ovšem má nižší účinek. Příznivý vliv mědi se projevuje pouze do maxima její rozpustnosti (3,5 %). Je-li jí více, brzdí poněkud grafitizaci.

Prvky druhé skupiny tvoří tuhé roztoky s feritem, austenitem i cementitem. Překročením meze roz-

pustnosti prvků v cementitu se již tvoří nová fáze - - karbidy. Všechny prvky této skupiny zabraňují grafitizaci. Zvlášť intenzivně v tomto směru působí chróm a vanad (2 až 3 % Cr nebo 1 % V stačí na to, aby litina s normálním obsahem Si ztuhla bíle). Molybden, wolfram - tvoří karbidy, malá intenzita v zabránění grafitizace.

Prvky třetí skupiny tvoří převážně samostatné fáze, karbidy nebo jiné fáze, které jsou zárodky pro vytvoření částeček grafitu, způsobují grafitizaci, ačkoli jsou silně karbidotvornými prvky.

Většina legujících prvků zjemňuje eutektické zrno (Ti, Mo, Al, částečně Ni). Opačně působí Cu a částečně P.

Téměř všechny tvoří tuhé roztoky s austenitem, zpomalují překrystalizaci γ na α, neboť snižují teplotu nebo rychlost tohoto pochodu. Mnoho prvků (Mo, Ni, Cr) posunuje křivky rozpadu austenitu doprava a činí je složitějšími. Zvýšením obsahu Mn, Ni, (Cu) dochází k potlačení překrystalizace γ na α a dostáváme litinu s austenitickou strukturou základní kovové hmoty.

Vliv plynů

Kyslík, dusík a vodík jsou stálými příměsemi v litině, ale vyskytují se v nepatrném množství. Důležité je nejen absolutní množství uvedených prvků, ale i jejich stav. Část plynů se slučuje s některými prvky, zbytek tvoří plynové bubliny nebo je rozpuštěn ve strukturních složkách litiny. Nejčastěji se

setkáváme s kysličníky, silicidy, hlinitany, zřídka s nitridy a hydridy. Podle tvaru a stavby těchto sloučenin a roztoků mohou mít plyny různý vliv na krystalizaci litiny.

Např. při obsahu 0,0001 % vodíku nastává znatelná stabilizace karbidů v šedé litině, zvláště za přítomnosti síry /1/.

Tvoří-li kyslík a vodík v příslušné struktuře stabilní sloučeniny s vysokou tavicí teplotou, mohou intenzivně podporovat grafitizaci. Vznikají-li však roztoky s feritem (austenitem), s karbidy nebo složité, snadno tavitelné sloučeniny, které jsou rozloženy po hranicích zrn nebo se absorbují na povrchu rostoucích částeček grafitu, zabraňují tyto prvky grafitizaci /1/.

3.7.2. Vliv chemického složení na mechanické vlastnosti šedé litiny

Na složení strukturních složek z hlediska mechanických vlastností litiny celkem nezáleží. Je důležitá velikost, tvar a rozložení těchto strukturních složek a nikoliv jejich chemické složení a mechanické vlastnosti.

Přísadové prvky působí na mechanické vlastnosti hlavně tím, že mění podmínky prvotní krystalizace a překrystalizace litiny (množství, tvar a rozložení grafitu, velikost zrna, povahu základní kovové hmoty).

Vliv uhlíku a křemíku

S rostoucím obsahem uhlíku a křemíku se zvětšuje stupeň grafitizace, množství grafitu a velikost jeho částic. Při této změně struktury litiny se zhoršují všechny mechanické vlastnosti s vyjímkou dynamické houževnatosti a do určité míry vzrůstá průhyb.

Na mechanické vlastnosti má zvlášť velký vliv obsah uhlíku. Přitom u nízkouhlíkové litiny 2,75 až 3,0 % C se na rozdíl od vysokouhlíkové litiny 3,3 až 3,5 % C mechanické vlastnosti nejprve zvětšováním obsahu křemíku do určité meze zvětšují, ale potom klesají. Lze to vysvětlit přítomností volných karbidů ve struktuře nebo vznikem mezidendritického grafitu v litině s malým obsahem křemíku a uhlíku, což snižuje její mechanické vlastnosti. Sníží-li se obsah uhlíku v litině při patřičném zvýšení obsahu křemíku, zmenší se obsah grafitu při zachování struktury základní hmoty litiny a zároveň se zjemní grafit, neboť se sníží stupeň eutektičnosti. Uhlík a křemík nelze tedy považovat za rovnocenné z hlediska jejich vlivu na mechanické vlastnosti litiny a nahrazení (do určité meze) uhlíku křemíkem vede k tomu, že se zvýší mechanické vlastnosti, zejména v perlitické litině /1/.

Pro posouzení účinku křemíku a dalších prvků na strukturu litiny byly vypracovány empirické vzorce, podle nichž se zjišťuje tzv. uhlíkový ekvivalent (Ce) /2/.

Příkladem takového vzorce je:

$$Ce = \% C + 0,3 (\% Si + \% P).$$

Mnohem častěji se složení litiny posuzuje podle tzv. stupně eutektičnosti (S_c) /2/, který je např. podle Hellera a Jungblutha dán vztahem:

$$S_c = \frac{\% C}{4,3 - 0,312 \% Si - 0,275 \% P}$$

Vliv manganu a síry

Vliv manganu a síry na mechanické vlastnosti litiny je v podstatě určován změnou struktury základní kovové hmoty (stupně grafitizace, jemnosti perlitu), jakož i změnou příslušného množství grafitu a vznikem sirníkových vměstků. Tento vliv je celkem malý a závisí na složení litiny.

Zvýšení obsahu manganu do 0,8 až 1,2 % při středním a nízkém obsahu uhlíku se zvětšuje pevnost litiny. Zhoršení mechanických vlastností nastává v okamžiku, kdy mangan začne prudce zvětšovat množství vázaného uhlíku za vzniku volných karbidů ve struktuře. Tento okamžik nastává tím dříve, čím méně je uhlíku a křemíku v litině a čím horší jsou podmínky grafitizace. Zvýšením obsahu manganu se rovněž zvýší tvrdost (tím více, čím méně uhlíku a křemíku litina obsahuje), protože se brzdí grafitizace /1/.

Síra sama, zejména v podobě FeS, má nepříznivý vliv na vlastnosti litiny a snižuje pevnost a plastičnost. To lze vysvětlit oslabením rozhraní zrn vyloučením eutektika Fe-FeS a do určité míry tím, že vměstky MnS tvoří další vruby. Tento vliv se však příliš neprojevuje /2/.

Vliv fosforu

Se vzrůstajícím obsahem fosforu se zmenšuje průhyb a houževnatost v rázu, kdežto tvrdost vzrůstá. Největší statická pevnost byla naměřena při obsahu 0,3 % fosforu /1/.

Fosfor má na stejnoměrnost mechanických vlastností i na strukturu litiny nepříznivý vliv. Rozdíl v mechanických vlastnostech tlustých a tenkých částí odlitku se zvětšováním obsahu fosforu vzrůstá /1/.

Vliv přísadových prvků

Legování litiny má pro zlepšení mechanických vlastností velký praktický význam a je odůvodněn takto: utváření druhotné struktury litiny během chladnutí ve formě se podobá tomu, co nastává při tepelném zpracování. Proto je vliv přísadových prvků na stejnorodost litiny v určitém smyslu podobný jako jejich vliv na prokalitelnost oceli a je velmi příznivý.

Přísadové prvky kromě toho zlepšují mechanické vlastnosti litiny tím, že mění podmínky prvotní krystalizace a překrystalizace. Nejintenzivněji působí vanad, molybden, chróm a titan. Tyto prvky zjemňují grafitové vyloučeniny a zlepšují mechanické vlastnosti litiny. Ještě důležitější je vliv přísadových prvků na překrystalizaci, zejména na jemnost perlitu.

Přísadové prvky rozdělujeme do dvou skupin: na prvky tvořící převážně karbidy a na prvky tvořící tuhé roztoky. Na mechanické vlastnosti působí první skupina intenzivněji než druhá, protože při vzniku

sorbické struktury se příznivě mění i tvar grafitu. Vliv karbidotvorné skupiny se zvyšuje s klesajícím obsahem uhlíku v litině.

Z hlediska intenzity působení na pevnost litiny můžeme prvky seřadit následovně: Mo, V, Cr, Ni, Cu /1/. Menší vliv Ni a Cu lze vysvětlit jejich grafitizačním působením. Všechny přísadové prvky zpravidla snižují dynamickou houževnatost s vyjímkou mědi.

Přísadových prvků lze dobře využít jen při jejich správném poměru./1/. Těmto zásadám vyhovuje např. společná přísada niklu a chrómu, nikl podporuje grafitizaci a tvoří tuhý roztok s feritem a tím jej zpevňuje, kdežto chróm zabraňuje grafitizaci, poněkud zjemňuje grafit a tvoří stálé karbidy.

O ostatních prvcích lze říci, že v množství, v kterém se vyskytují v litině je jejich vliv nepatrný. Používá se jich např. jako odkysličovadel, odplyňujících přísad a očkovadel (Ti, Zr, Al). Titan je používán v litinách s vysokým (zabraňuje tvoření grafitového šumu) i nízkým (podporuje grafitizaci) obsahem uhlíku.

4. Přehled metod posuzování a vyhodnocení kvality odlitků vložených válců

4.1. Zkouška tahem

Jednou ze základních mechanických zkoušek je zkouška tahem. Zkušební těleso jednoduchého tvaru se zatěžuje ve zkušebním stroji pomalu rostoucí silou až do porušení a zapisuje se jeho deformace. Tyč zatížená silou F se prodlouží z délky lo - počáteční měřená délka na hodnotu $l_o + \Delta l$. Původní průřez So se zmenší na S. Síla F vyvodí v tyči jmenovité napětí $\sigma = \frac{F}{So}$. Dále se zjišťuje celkové prosté prodloužení $\Delta l = l - lo$, poměrné prodloužení $\varepsilon = \frac{l - lo}{lo}$,

z celkové změny průřezu v místě přetržení určíme poměrné zúžení $\psi = \frac{So - S}{So} \cdot 100$ (%).

Křehký materiál se poruší při dosažení meze pevnosti prakticky bez poměrného zúžení. A tedy poměrné zúžení je cenným měřítkem tvárnosti a houževnatosti materiálu /2/.

4.2. Zkouška ohybem

Tato zkouška je důležitá hlavně u materiálů křehkých, neboť u houževnatého materiálu k porušení zkušebního tělesa ohybem nedojde. Zkušební tyč (obvykle kruhového průřezu) je podepřená na dvou podporách a uprostřed se zatěžuje od nulové hodnoty.

U zkoušky ohybové se zjišťuje v okamžiku porušení kromě pevnosti tyče i největší průhyb. Z průhybu a to hlavně u šedé litiny se určuje houževnatost. Tyče zkoušíme neobrobené na povrchu pouze očištěné /2/.

4.3. Zkouška tvrdosti - dle Brinella

Zde zatlačujeme do zkoušeného materiálu určitou silou ocelovou kalenou kuličku. Tvrdost vyjadřujeme poměrem zatížení ku ploše vytlačeného důlku $HB = \frac{F}{S}$. Na výsledek má vliv zejména velikost zatížení pro daný průměr kuličky, doba zatížení a velikost vtisku se zřetelem na rozměry zkoušeného odlitku. Zkoušený povrch musí být dostatečně rovný bez nečistot a okují. Rovněž je předepsána nejmenší vzdálenost mezi jednotlivými vtisky i vzdálenost vtisku od kraje zkoušeného vzorku /2/.

4.4. Rázová zkouška v ohybu - zkouška vrubové houževnatosti

S rychlostí zatěžování stoupá odpor kovu proti přetvoření. Charakteristické mechanické vlastnosti se zvyšují. Při velké rychlosti deformace se může materiál, který se při statickém zatěžování chová jako houževnatý, porušit na mezi pevnosti bez předchozí deformace. K určení houževnatosti materiálu při rázovém namáhání, jejímž měřítkem je energie spotřebovaná na porušení zkušebního tělesa slouží rázové zkoušky. Aby došlo k přerażení zkušebního tělesa opatřují se vrubem. V jeho dně dochází ke koncentraci napětí, což zvýší pravděpodobnost křehkého porušení tělesa /2/.

4.5. Ostatní zkoušky

Zkoumá se chemické složení a mikrostruktura šedé litiny. Chemické složení lze zjišťovat klasickou cestou - chemickou analýzou, pomocí spektrografu, kvantometru, přístroje Leco.

Pro posouzení jakosti šedé litiny se provádí zákalková zkouška.

Dalšími možnostmi je provedení zkoušky pevnosti mezi klíny na trhacím stroji nebo zkouška pevnosti ve střihu mikrostřihem.

4.6. Zkoušky prováděné v n.p. Agrostroj Jičín

Trhací tyče u zkoušky tahem jsou odlévány do syrové pískové formy. Pevnost litiny v tahu je měřena na tyčích dle ČSN 420830. Způsob a podmínky odlití zkušební tyčky neodpovídají způsobu a podmínkám výroby odlitku vloženého válce. Některé zahraniční firmy neodlévají tyčky na tuto zkoušku, ale odebírají vzorek přímo z těla hrubého odlitku vloženého válce.

Tvrdost je měřena Brinellovou metodou dle ČSN 421241 na obroušených ploškách na válcové ploše hrubého odlitku vloženého válce ve třech místech po 120 ^{o} v jedné rovině kolmé na osu odlitku mezi horní a dolní úvratí pístu.

Zákalková zkouška se provádí tak, že se odleje klínek, na kterém se měří tloušťka litiny, která ztuhla bíle.

Dále se provádí zjišťování chemického složení a mikrostruktury. Chemické složení se vyhodnocuje pomocí kvantometru (ARL 34000D) nebo chemickou analý-

zou.

Dalším vlivem na posuzování kvality odlitků vložených válců je rychlost ochlazování. Zvětšení rychlosti ochlazování vede ke zvýšení podílu vázaného uhlíku. Pomalé ochlazování podporuje grafitizaci a dává litiny měkčí s menší pevností. Rychlost ochlazování v intervalu teplot, kdy se tvoří grafit, to je v mezích od eutektické do podeutektoidní teploty, je důležitým činitelem určujícím grafitizaci a strukturu litiny.

Teplota lití má přímý vliv na krystalizaci kovu a podstatně menší vliv na překrystalizaci. Zvýšení licí teploty zpomaluje ochlazování odlitku ve formě a tím způsobuje grafitizaci šedé litiny a zhrubnutí grafitu, též zvýšený ohřev stěn formy.

Vyšší teplota přehřátí roztavené litiny zmenšuje počet cizích zárodků v tavenině, takže krystalizace probíhá s větším podchlazením. Za těchto podmínek se grafit vylučuje ve formě tenkých lupínků. Přehřátá litina má však sklon ke krystalizaci grafitu v dendritické formě, která je nepříznivá pro mechanické vlastnosti.

Mezi další vlivy na posuzování kvality odlitků patří vliv materiálů použitých k tavbě, teplota tavení, velikost dávky očkovadla, způsob očkování, délka odstátí naočkované litiny, způsob vedení tavby a propal prvků během tavby.

5. Návrh na provedení zkoušek

Bude provedeno odlití určitého počtu odlitků vložených válců do skořepinové formy zvané výstelka (obrázek 1). A sice odlitků po navržené úpravě chemického složení a z běžné sériové výroby. Z těchto odlitků bude náhodně vybráno asi 30 kusů (2 x 10 kusů zkušebních, 10 kusů sériových) jako vzorek.

U zkušebního lití budou provedeny dvě tavby. Jedna bez niklu (pouze stopy) a s titanem. Druhá též bez niklu (pouze stopy) a s titanem, ale se zvýšeným obsahem fosforu.

Teplota přehřátí taveniny v peci bude 1450 °C. Teplota lití se bude pohybovat v rozmezí 1330 - - 1380 °C.

Odlévané odlitky vložených válců budou typu 345-10. Dávkování nataveného kovu bude provedeno vážením a jako očkovadlo bude použit Gramod 30 (0,30% na váhu kovu), které se bude sypat při lití z předpecí do licí pánve do proudu kovu. Doba rotace odlitku bude 5 minut a odlitky budou po vyjmutí z kokily chladnout na klidném vzduchu, aby nebyla ovlivněna struktura ve sledované oblasti mezi horní a dolní úvratí. Po vychladnutí bude provedeno otrýskání hrubého odlitku.

Vyhodnocení zkoušek bude provedeno pomocí chemického složení, mikrostruktury, mechanických vlastností, vad odlitků a obrobitelnosti. Chemické složení bude získáno na emisním kvantometru firmy ARL typu 34000 D. Mikrostruktura bude vyhodnocena ze vzorku,

z příčného výřezu vloženého válce, z místa, kde je největší rozdíl mezi tvrdostí na vnějším válcovém povrchu a tvrdostí na pracovní ploše. Z mechanických vlastností bude zjišťována tvrdost Brinellovou metodou. A to tvrdost na vnějším válcovém povrchu, na nákružku a v oblasti budoucí pracovní plochy vždy na třech místech po 120 °. Obrobitelnost bude vyhodnocena na základě výsledků získaných obráběním keramickými řeznými destičkami na lince firmy Alfing. Při zkouškách obrobitelnosti budou vyhodnoceny vady odlitků.

6. Vyhodnocení odlitků ze sériové výroby a po navržené úpravě chemického složení

6.1. Chemické složení

Na automatickém licím stroji (obrázek 2) bylo odlito 90 zkušebních odlitků vložených válců od každé tavby. Odebráno bylo náhodně 9 kusů z každé tavby jako vzorek. První tavba byla bez niklu (pouze stopy) a s titanem, druhá obdobná, ale se zvýšeným obsahem fosforu. Po odlití byly vložené válce dávány do beden, kde chladly.

Složení odlitků ze sériové výroby bylo získáno z minulých taveb tak, aby chemické složení ostatních prvků a uhlíkový ekvivalent odpovídal zkušebním odlitkům pro možnost porovnání.

Pro zjištění chemického složení byla odlita zkušební medaile (plaketa) do měděné kokily. Rozměry medaile jsou Ø 37 mm a tloušťka 4 mm. Je nutný stejný způsob odběru vzorku, aby se vyloučil faktor

rozdílné struktury. Vzorek musí být dobře uklidněn, nesmí v něm být bubliny a trhliny a nesmí obsahovat zalitou strusku. Jelikož se má stanovit i obsah uhlíku, musí mít šedá litina bílou strukturu. K dosažení dostatečné rychlosti chladnutí slouží měděná kokila.

Ze slévárny putovaly potom vzorky do metalografie na broušení potrubní poštou. Kvalita broušení má také vliv na analýzu. Musí se brousit stejnými brusnými kotouči a je nutné dodržovat zrnitost brusného materiálu. Vzorek se nesmí spálit a musí být dodržena rovinnost broušení.

Vlastní chemické složení bylo zjišťováno na emisním kvantometru ARL 34000 D.

Tento kvantometr pracuje na principu spektrochemické analýzy, určuje kvalitativní i kvantitativní atomové složení vzorku z jeho spektra. Spektrem rozumíme soubor frekvencí (vlnových délek) elektromagnetického záření, emitovaného parami daného vzorku za určitých podmínek. Počtem charakteristických frekvencí je vyjádřeno kvalitativní složení vzorku a poměrné rozdělení intenzity záření na tyto frekvence odpovídá kvantitativnímu obsahu složek /10/.

Na kvantometru bylo zjištěno chemické složení zkušebních odlitků po navržené úpravě chemického složení (tabulka 1) a složení odlitků ze sériové výroby (tabulka 2).

Číslo tavby	C	Si	Mn	Ni	Cr	S	P	Ti	Ce^x
	(%)								
I	3,21	1,82	0,74	0,06	0,38	0,03	0,42	0,13	3,81
II	3,06	1,83	0,71	0,06	0,35	0,03	0,67	0,10	3,86

tabulka 1

Číslo tavby	Číslo vzorku	C	Si	P	S	Mn	Cr	Ni	Ce^x
		(%)							
200	632	3,21	1,84	0,42	0,04	0,71	0,35	0,31	3,93
193	619	3,24	1,86	0,42	0,05	0,71	0,42	0,30	4,05
184	579	3,24	1,84	0,41	0,04	0,68	0,35	0,28	3,99
179	569	3,25	1,89	0,40	0,04	0,70	0,32	0,31	3,95
175	556	3,24	1,83	0,40	0,05	0,74	0,38	0,33	3,90
162	520	3,19	1,85	0,41	0,05	0,83	0,32	0,31	3,85
159	513	3,24	1,77	0,39	0,03	0,69	0,34	0,33	3,88
158	511	3,21	1,88	0,42	0,03	0,74	0,50	0,27	3,96
157	509	3,22	1,88	0,40	0,03	0,70	0,35	0,33	3,90

tabulka 2

6.2. Mikrostruktura

Vzorek pro mikrostrukturu byl získán z příčného výřezu vloženého válce, z místa kde je největší rozdíl v tvrdosti na vnějším válcovém povrchu a na pracovní ploše. Takto získané vzorky byly pro metalografický výbrus zalévány dentakrylem do hliníkových formiček. Po ztvrdnutí dentakrylu se vzorky vyjmuly z formičky a provedlo se jejich vybroušení. Byly použity brusné papíry postupně 60, 120 a 400 zrn / cm^2. Potom se provedlo leštění roztokem FEROGEN 1, což je roztok korundového prášku ve vodě. Nakonec se vzorek umyl ve vodě a lihu, otřel se filtračním papírem a nechal usušit. Na takto připraveném vzorku se mohl pozorovat grafit - jeho velikost, tvar a rozložení při 100 x zvětšení. Po naleptání NITALEM, používá se 1 % nebo 3 % roztok kyseliny dusičné v alkoholu, se zjišťoval postupně obsah feritu (100 x zvětšení), tvar perlitu (500 x zvětšení), disperzita perlitu (1000 x zvětšení), velikost fosfidového eutektika (100 x zvětšení), typ fosfidového eutektika (20 x zvětšení), velikost síťoví (20 x zvětšení). Potom se vzorek musel znovu přebrousit a přeleštit. Po naleptání roztokem FRY-MAKRO, což je chlorid měďnatý (5 g), kyselina solná koncentrovaná (25 ml), etylalkohol (25 ml) a destilovaná voda (50 ml) se zjišťoval počet eutektických buněk na 1 cm^2 při 20 x zvětšení.

Výsledky byly zaneseny do tabulek. Hodnoty zkušebních odlitků vložených válců tavby I do tabulky 3, tavby II do tabulky 4 a hodnoty odlitků ze sériové výroby do tabulky 5.

Číslo tavby		I	I	I	I	I
Číslo vzorku		24	25	26	27	28
Grafit	Tvar	I	I	I	I	I
	Rozložení	A,C,D	A,C,D,E	A,C,D	A,C,D	A,C,D
	Velikost	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6
	% grafitu rozlož.A	85	83	86	97	95
Perlit	P	1	1	1	1	1
	P_d	0,5/1/1,4	0,5/1/1,4	0,5/1/1,4	0,5/1	0,5/1
Steadit	F	2	2	2	2	2
	F_r	2,3	2,3	1,2	1,2	1,2
	F_d	400	400/650	400	400/650	400/650
	F_v	2000/6000	2000/6000	2000/6000	2000/6000	2000/6000
Počet eutektických buněk EB / cm^2		411	416	395	432	416

tabulka 3

Číslo tavby		I	I	I	I
Číslo vzorku		29	30	31	32
Grafit	Tvar	I	I	I	I
	Rozložení	A,C,D	A,C	A,C	A,C
	Velikost	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6
	% grafitu rozlož.A	98	97	85	93
Perlit	P	1	1	1	1
	P_d	0,5/1/1,4	0,3/0,5/1	0,3/0,5/1	0,5/1
Steadit	F	2	2	2	2
	F_r	1,2	2,3	2,3	1,2
	F_d	650	400	250/400	250/400
	F_v	2000/6000	2000/6000	2000/6000	2000/6000
Počet eutektických buněk EB / cm^2		395	443	475	432

tabulka 3 pokračování

Číslo tavby		II	II	II	II	II
Číslo vzorku		33	34	35	36	37
Grafit	Tvar	I	I	I	I	I
	Rozložení	A,C,D	A,C,D	A,C,D	A,C,D	A,C,D
	Velikost	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6
	% grafitu rozlož.A	90	93	88	90	74
Perlit	P	1	1	1	1	1
	P_d	0,5/1/1,4	0,5/1/1,4	0,5/1/1,4	0,5/1	0,3/0,5/1
Steadit	F	2	2	2	2	2
	F_r	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
	F_d	400/650	400/650	400/650	250/400	250/400
	F_v	2000/6000	2000/6000	2000/6000	2000	2000/6000
Počet eutektických buněk EB / cm^2		416	400	432	402	416

tabulka 4

Číslo tavby		II	II	II	II
Číslo vzorku		38	39	40	41
Grafit	Tvar	I	I	I	I
	Rozložení	A,C,D	A,C,D	A,C,D	A,C,D
	Velikost	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6
	% grafitu rozlož.A	93	87	88	85
Perlit	P	1	1	1	1
	P_d	0,3/0,5/1	0,5/1/1,4	0,5/1/1,4	0,5/1/1,4
Steadit	F	2	2	2	2
	F_r	2,3	2,3	2,3	2,3
	F_d	400	400/650	400	400/650
	F_v	2000/6000	2000/6000	2000/6000	2000/6000
Počet eutektických buněk EB / cm^2		432	427	427	401

tabulka 4 pokračování

Číslo tavby		200	193	184	179	175
Číslo vzorku		632	619	579	569	556
Grafit	Tvar	I	I	I	I	I
	Rozložení	A,C	A,B,C	A,B,C	A,B	A,B,C
	Velikost	3,4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6	4,5,6
	% grafitu rozlož.A	93	100	100	95	85
Perlit	P	1	1	1	1	1
	P_d	0,3/0,5/1	0,3/0,5/1	0,3/0,5/1	0,3/0,5/1	0,3/0,5/1
Steadit	F	2	2	2	2	2
	F_r	2,3	3	2,3	2,3	3
	F_d	250/400	400	400/650	400	400
	F_v	2000/6000	2000	2000	2000	2000
Počet eutektických buněk EB / cm^2		368	389	379	384	400

tabulka 5

Číslo tavby		162	159	158	157
Číslo vzorku		520	513	511	509
Grafit	Tvar	I	I	I	I
	Rozložení	A,C	A,C	A,B,C	A,C
	Velikost	4,5,6	3,4,5,6	3,4,5,6	3,4
	% grafitu rozlož.A	90	83	87	100
Perlit	P	1	1	1	1
	P_d	0,5/1	0,3/0,5/1	0,3/0,5/1	0,3/0,5
Steadit	F	2	2	2	2
	F_r	3	2,3	3	3
	F_d	400	250/400	400/650	250/400
	F_v	2000/6000	2000	2000/6000	2000
Počet eutektických buněk EB / cm^2		400	384	382	413

tabulka 5 pokračování

Z každé tavby zkušebních odlitků a ze sériové výroby bylo vybráno 5 vzorků, na kterých byl pozorován grafit při 100 x zvětšení. V oblasti budoucí pracovní plochy, což je 10,5 - 11,5 mm od vnějšího okraje, bylo nalezeno charakteristické místo a toto místo vyfotografováno.

Potom byl z každé tavby vybrán 1 vzorek, který se naleptal Nitalem a pozorovala se struktura základní hmoty šedé litiny při 500 x zvětšení. Také z těchto vzorků byly pořízeny fotografie. Všechny fotografie byly umístěny do přílohy.

6.3. Mechanické vlastnosti

Z mechanických vlastností byla zjišťována pouze tvrdost, protože trhací tyče pro zkoušku tahem jsou odlévány do suché pískové formy a tedy způsob a podmínky odlití neodpovídají způsobu a podmínkám výroby odlitku vloženého válce.

Tvrdost byla měřena na tvrdoměru HPO 3000. U celého zkušebního odlitku vloženého válce byla nejdříve měřena tvrdost na vnějším válcovém povrchu ve třech bodech po 120 ° ve vzdálenosti 95 mm od nákružku (tabulka 7, 8). Ve stejných rovinách též ve třech bodech po 120 ° byla měřena tvrdost na nákružku vloženého válce (tabulka 7, 8). Potom byl proveden stopkovou vertikální frézou podélný výřez o tloušťce 17 - 20 mm, jehož jedna strana je tvořena rovinou dřívějších měření na válcové ploše i na nákružku. Na tomto výřezu bylo provedeno v místě budoucí pracovní plochy, což je 10,5 - 11,5 mm od vnějšího okraje, měření tvrdosti v sedmi bodech dle obrázku 3 a výsledky zaneseny do tabulky 6. Potom byl z odlitku

vloženého válce udělán příčný výřez tloušťky 20 mm (obrázek 4), který procházel ve vzdálenosti 95 mm. Na tomto výřezu ve zbývajících dvou místech po 120 ° v oblasti budoucí pracovní plochy bylo též provedeno měření tvrdosti (tabulka 7, 8). Tvrdost byla měřena Brinellovou metodou kuličkou o Ø 10 mm a zatížení 3000 N.

Stejný postup měření byl též prováděn u odlitků ze sériové výroby, s vyjímkou měření tvrdosti na podélném výřezu v sedmi bodech v oblasti budoucí pracovní plochy (tabulka 9).

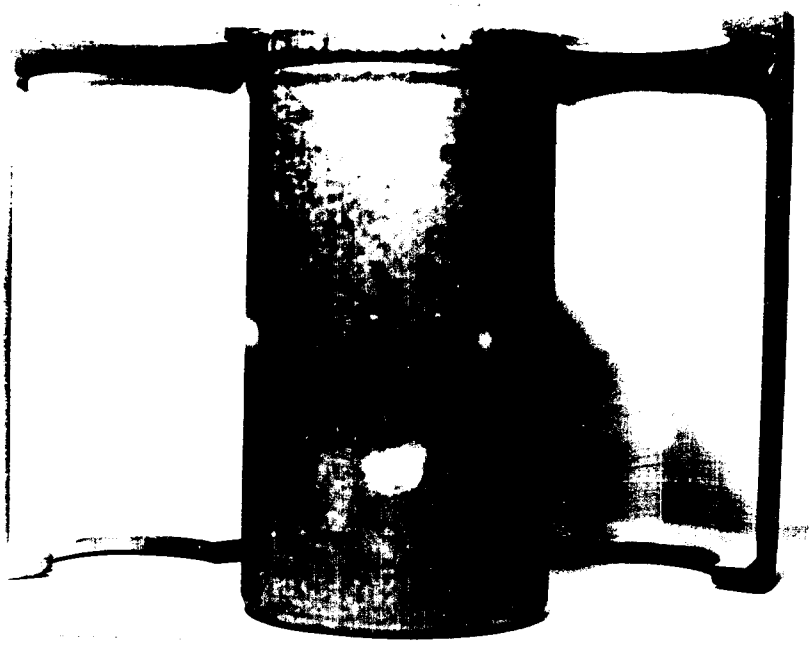
Kde

HB_v je tvrdost na vnějším povrchu dle Brinella

HB_n je tvrdost na nákružku dle Brinella

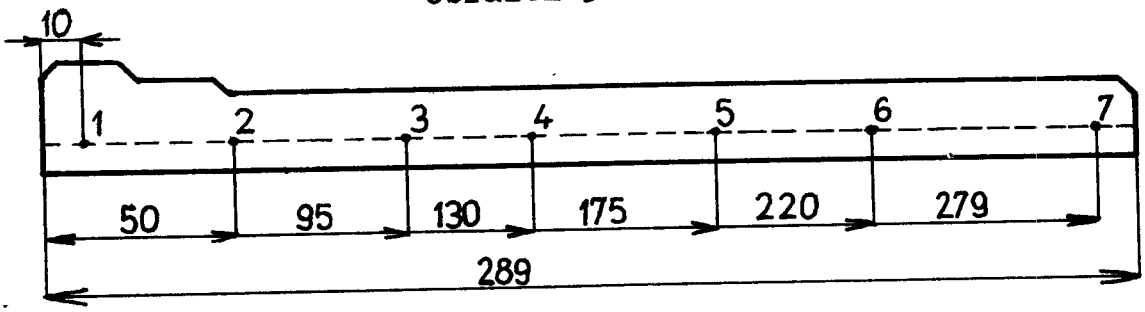
HB_p je tvrdost na pracovní ploše dle Brinella

(viz. tabulky 7, 8, 9)



obrázek 1

obrázek 3



Číslo vzorku / č. úpichu	1	2	3	4	5	6	7
24	222	215	213	212	216	218	222
25	240	235	236	229	236	239	230
26	211	207	208	208	212	213	215
27	242	234	229	230	235	235	239
28	241	237	240	237	236	235	240
29	236	235	232	229	219	222	235
30	224	221	217	214	213	219	231
31	235	224	224	225	224	221	225
32	230	226	217	218	222	228	234
ø	231	226	224	222	224	226	230
33	228	224	221	221	218	224	228
34	241	236	235	234	228	228	242
35	242	235	231	231	232	236	249
36	244	240	235	235	236	237	250
37	241	231	229	232	232	236	250
38	249	236	244	240	240	244	252
39	236	228	226	224	232	229	252
40	239	239	232	224	225	228	234
41	232	231	229	225	225	230	237
ø	239	233	231	230	230	232	240

tabulka 6

Číslo vzorku	Číslo úpichu	1	2	3	ø
24	HB_v	239	235	235	236
	HB_n	234	232	236	234
	HB_p	226	224	213	221
25	HB_v	242	244	242	243
	HB_n	255	253	250	253
	HB_p	235	236	228	233
26	HB_v	231	229	230	230
	HB_n	234	232	232	233
	HB_p	221	208	222	217
27	HB_v	239	244	244	242
	HB_n	246	246	242	245
	HB_p	229	224	228	227
28	HB_v	241	242	242	242
	HB_n	248	246	244	246
	HB_p	239	240	232	237
29	HB_v	241	236	235	237
	HB_n	244	246	242	244
	HB_p	232	223	224	226
30	HB_v	234	235	232	234
	HB_n	234	234	234	234
	HB_p	217	229	223	223
31	HB_v	241	239	241	240
	HB_n	248	246	246	247
	HB_p	229	224	226	226
32	HB_v	239	239	240	239
	HB_n	242	242	245	243
	HB_p	229	225	217	224

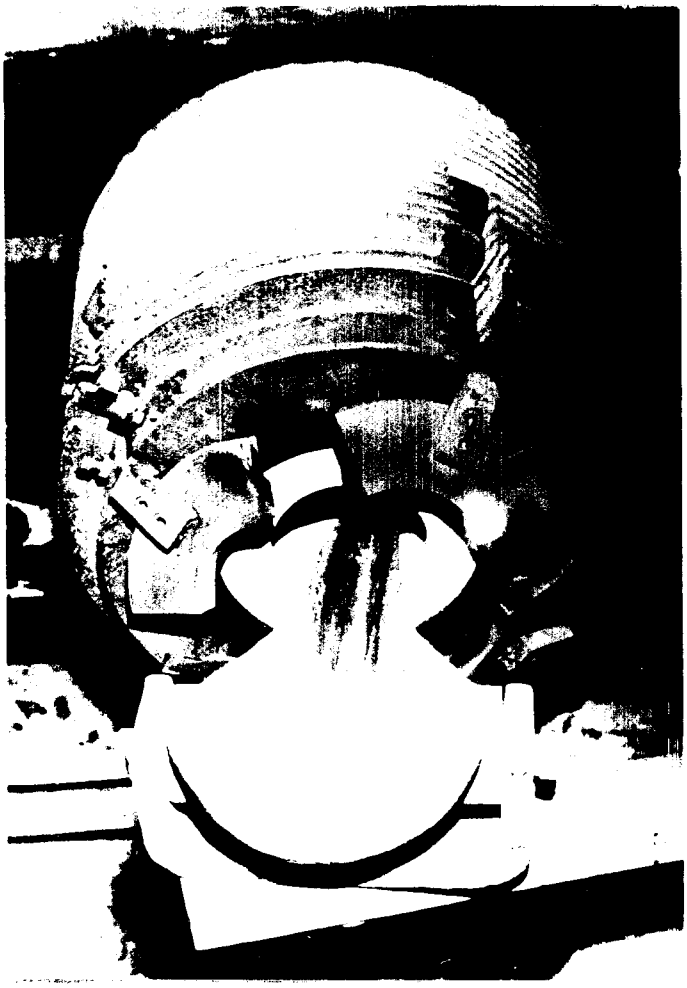
tabulka 7

Číslo vzorku	Číslo úpichu	1	2	3	Ø
33	HB_v	229	237	229	232
	HB_n	246	249	245	247
	HB_p	221	229	225	225
34	HB_v	250	249	250	250
	HB_n	252	250	253	252
	HB_p	235	228	230	231
35	HB_v	249	232	245	242
	HB_n	249	249	250	249
	HB_p	231	235	239	235
36	HB_v	249	248	248	248
	HB_n	249	246	249	248
	HB_p	235	230	234	233
37	HB_v	244	245	244	244
	HB_n	236	240	245	240
	HB_p	235	229	228	231
38	HB_v	242	246	246	245
	HB_n	245	253	252	250
	HB_p	232	232	244	236
39	HB_v	250	249	249	249
	HB_n	250	250	252	251
	HB_p	226	235	234	232
40	HB_v	231	230	230	230
	HB_n	248	224	225	232
	HB_p	232	226	223	227
41	HB_v	246	246	246	246
	HB_n	253	252	252	252
	HB_p	237	229	237	234

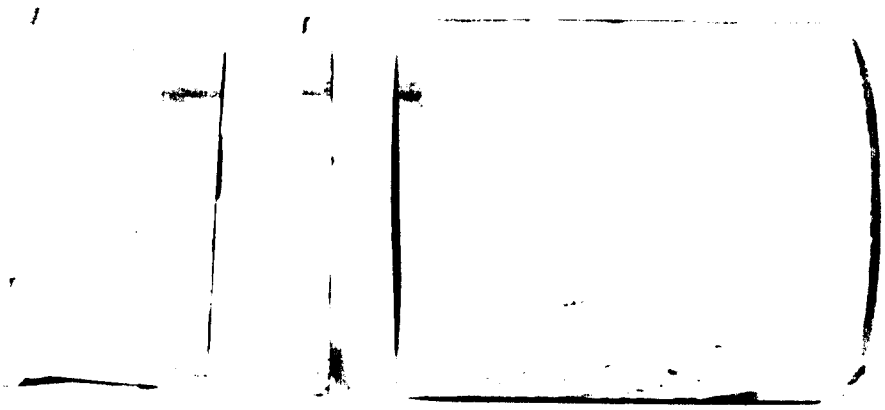
tabulka 8

Číslo vzorku	Číslo úpichu	1	2	3	ø
632	HB_v	239	239	239	239
	HB_n	248	248	248	248
	HB_p	244	244	244	244
619	HB_v	248	248	249	248
	HB_n	245	242	240	242
	HB_p	239	237	237	238
579	HB_v	242	246	246	245
	HB_n	242	242	242	242
	HB_p	237	237	237	237
569	HB_v	239	241	240	240
	HB_n	244	242	244	243
	HB_p	235	234	232	234
556	HB_v	253	253	255	254
	HB_n	252	252	256	253
	HB_p	241	244	242	242
520	HB_v	257	256	256	256
	HB_n	260	257	259	259
	HB_p	249	249	248	249
513	HB_v	244	242	246	244
	HB_n	245	248	248	247
	HB_p	239	236	235	237
511	HB_v	253	253	250	252
	HB_n	235	235	232	234
	HB_p	257	253	252	254
509	HB_v	248	248	242	246
	HB_n	248	255	255	253
	HB_p	240	249	240	243

tabulka 9



obrázek 2



obrázek 4

6.4. Vady odlitků

V n.p. Agrostroj Jičín se dosahuje maximální zmetkovitosti 5 %. Z tohoto celkového množství jsou nejvíce zastoupeny tyto vady způsobující zmetky: přesazené, přelité nebo nedolité, zavaleniny, prasklá výstelka a rozmačkané víčko a řediny. Za letošní rok (od ledna do března) byl jejich výskyt z celkového množství vad dle tabulky 10.

druh vady	leden	únor	březen
přesazené	14,72 %	18,42 %	17,92 %
přelité, nedolité	8,52 %	9,22 %	13,50 %
zavaleniny	8,50 %	9,40 %	7,76 %
prasklá výstelka a víčko rozmačkané	31,26 %	23,15 %	33,97 %
řediny	22,25 %	29,68 %	16,96 %

tabulka 10

Přesazené je vada způsobená obsluhou licího stroje - špatně založená výstelka. Je to posunutí jedné části tvaru odlitku proti druhé nebo posunutí dutin nebo otvorů proti povrchovému obrysu odlitku.

Přelité nebo nedolité spolu s přesazenými patří do rozměrových vad. Přelité - tato vada je způsobena nesprávným dávkováním tekutého kovu, které může být buď chybou obsluhy nebo nepřesností dávkovacího zařízení. Nedolití - vada je způsobena nedokonalým sevřením výstelky v dělicí rovině, které je většinou způsobeno velkým zbroušením výstelek obsluhou.

Zavaleniny patří mezi vady povrchu. Vada vzniká neslitím proudu kovu litého do formy tím, že kov předčasně ve formě ztuhne. Příčinou může být příliš pomalé nebo přerušované lití nebo nízká licí teplota.

Prasklá výstelka a rozmačkané víčko je úzce spojeno s vadami povrchu odlitku vloženého válce, a to se zadrobeninami a zateklinami. Zadrobeniny vznikají z částic prasklé výstelky a při následném odlévání vnikají do povrchu odlitku. K prasknutí výstelky zde dochází před vlastním odlitím, kdy je písková forma založena do zahřáté kovové kokily, zahříváním se roztahuje a praská. Zatekliny - ostré kovové výčnělky na odlitku. Kov proteklý místy prasklé výstelky se při styku s kovovým upinadlem rychle ochlazuje a ovlivňuje nerovnoměrnost struktury - - vzniká tvrdý cementit, který způsobuje potíže při obrábění.

Řediny bývají vždy doprovázeny staženinami. Jsou to uzavřené dutiny uvnitř odlitku s drsným, hrubě krystalickým povrchem. Na vznik staženin má vliv objemové smršťování litiny, které je zde malé, neboť grafit, který se vylučuje, působí proti smrštění. Dle zkušeností mají na vznik staženin vliv plyny a nekovové vměstky v tekutém kovu, v jejichž okolí mohou vznikat tepelná centra, kde kov tuhne naposledy. Též bylo zjištěno, že ke vzniku staženin a ředin vedou výkyvy ve složení vsázky. U odstředivého lití není usměrněné tuhnutí, neboť odlitek tuhne nejen od povrchu formy, ale i od tzv. volného povrchu, kde je intenzivně ochlazován vířícím vzduchem. V místech, kde se obě fronty tuhnutí setkají, tuhne tavenina naposledy. V těchto místech vzniká

největší množství staženin a ředin. Tento nedostatek je řešen vhodnou volbou tloušťky pískové výstelky a kovového upínadla, čímž dosáhneme přesunutí pásma vzniku staženin a ředin do míst přídavku na obrábění.

Na SVÚM Brno byl vnesen požadavek na zjištění druhu a příčin vad odlitků vložených válců pro motory traktoru ZETOR. Jedná se o závažnou vadu, která brání použití těchto vložených válců, a která se objeví až po obrobení odlitků. Teprve na mikrofotografiích struktur a na snímcích získaných řádkovacím elektronovým mikroskopem JEOL bylo zřetelně vidět, že směry os dendritů primární krystalizace probíhají zcela nezávisle na utváření ředin. Nepronikají do nich, ale končí zpravidla na jejich povrchu. To znamená, že plocha omezující ředinu byla pravděpodobně vytvořena dříve, než k ní fronta krystalizace dorazila a nejedná se tudíž o skutečnou ředinu, ale o plynovou dutinu vzniklou ještě v tavenině. Na snímcích je patrno, že povrchy ředin jsou zpravidla pokryty velkými plošnými útvary grafitu, což je vždy průvodním jevem při vzniku plynových bublin na podkladě dusíku nebo vodíku. Nejpravděpodobnější příčinou této vady je zvýšený obsah dusíku nebo vodíku v tavenině. Původcem tohoto přesycení taveniny dusíkem bývají nejčastěji suroviny používané k tavení a z nich především FeMn, který má schopnost vázat velká množství dusíku. Původcem zvýšeného obsahu vodíku bývá nejčastěji drcené FeSi /9/.

Zmetkovitost je dosahována co se týče ředin v sériové výrobě pouze 0,2 %, takže vliv navrhovaného titanu, který působí příznivě na odplynění, se nemohl výrazně projevit.

6.5. Obrobitelnost

Z každé tavby zkušebních odlitků byly vybrány dvě vložky pro zkoušku obrobitelnosti. Byly dány k obrobení do linky Alfing. Nejdříve procházely hrubou sekcí, kde docházelo k hrubování vnějšího povrchu a hrubému vyvrtávání vnitřního průměru. Potom následovala jemná sekce. Zde se dokončovaly tvarové podrobnosti na vnějším povrchu (nákružek, zápichy) a na dvakrát se jemně vyvrtával vnitřní průměr. Pak procházely odlitky sekcí broušení. Jde o bezhroté broušení všech těsnících ploch vložky (plochy k utěsnění vodního prostoru). Na konci linky je prováděno honování. Cílem honování je dosažení takové jakosti povrchu, která zabezpečí stálé a dostatečné mazání při provozu.

Z obrábění vložky na všech sekcích a z prohlídky vloženého válce bylo konstatováno, že operace proběhly bez závad. Obrobený povrch vložek ani opotřebení nástroje se nelišilo od normální sériové produkce. Pouze při broušení těsnící plochy ve spodní části vloženého válce druhé tavby, kde je zvýšený obsah fosforu, došlo ke zvětšení broušeného průměru o 0,02 mm. Dle názoru obsluhy to bylo způsobeno tvrdostí. Ale pokud by byla broušena celá série těchto tvrdších vložek je možné seřízením stroje tuto odchylku odstranit.

Dá se říci, že navržená změna chemického složení neměla výrazný vliv na zlepšení či zhoršení obrobitelnosti.

Na podrobnou kontrolu obrobitelnosti jsou třeba speciální nástroje a je nutné zaslat vložky do výzkumných ústavů. Vzhledem k dosaženým výsledkům tvrdosti a mikrostruktury bylo od podrobnějšího zkoumání obrobitelnosti prozatím upuštěno.

V současné době je prvořadým úkolem pro zvyšování kvality vložených válců v sériové výrobě vyřešení závěrečné operace při obrábění - honování. V posledních letech se výroba motorů pro traktory a nákladní automobily v souvislosti se zvyšováním výkonu bez zvýšení objemu, vydala cestou zvyšování tlaku vzduchu v sání motoru, tedy cestou přeplňování. Se zavedením přeplňování se objevily potíže při záběhu motorů, hlavně u traktorů docházelo již po krátné době provozu k zadření vložených válců. Příčina se hledala zpočátku živelně pouze v materiálu a struktuře, později se zjistilo, že rozhodující vliv na sklon k zadírání, otěruvzdornost a životnost má stav pracovní plochy po honování. V současné době se honování provádí diamantovými kameny, což zapříčiňuje trvalou deformaci povrchové vrstvy základní kovové hmoty vloženého válce (přemazy) a tím zatírání grafitových lamel. Tyto grafitové lamely, jednak samy při suchém tření slouží k mazání, jednak pohlcují při běhu motoru mazací olej, který ze sebe částečně vydají při pohybu pístu po stěně vloženého válce a přispívají ke správnému chodu motoru. Je zjištěno, že při honování diamantovými kameny je odkryto pouze 5 % v příznivých případech 10 % těchto lamel. Východiskem se jeví použití keramických

kamenů při honování, kde bylo dosaženo odkrytí těchto lamel až 20 %. Nevýhodou keramiky je větší opotřebení oproti diamantu.

7. Vyhodnocení získaných výsledků

Bylo provedeno zhodnocení dosažených výsledků mikrostruktury, se zaměřením na tvar, velikost, rozložení grafitu a procentuelní množství grafitu typu A, spolu s tvrdostí na pracovní ploše vloženého válce zkušebních taveb I, II a sériové výroby.

První zkušební tavba byla nalegována titanem na 0,13 % a snížen obsah niklu na 0,06 %. Ve struktuře převažuje grafit o rozložení A, v oblasti pracovní plochy je jeho výskyt v průměru 91,75 %, což je téměř stejné jako u sériové výroby. Grafit o rozložení B se na pracovní ploše nevyskytuje, avšak ve dvou případech došlo k vyloučení grafitu o rozložení D, jež je nežádoucí vzhledem ke struktuře zaručované na materiálovém listu. Výhodné u odlitků z této tavby je zjemnění grafitu, ani jednou se nevyskytla velikost grafitu 3, ve všech případech byla velikost 4, 5, 6 s převažující velikostí 4. Nepříznivě se však toto chemické složení projevilo na tvrdosti odlitků vložených válců a to poklesem hlavně v oblasti pracovní plochy. Průměrná tvrdost na pracovní ploše byla HB_p = 226. V některých případech došlo ke snížení tvrdosti až pod spodní hranici zaručovaného rozsahu (220 - 260 HB), vyskytly se i tvrdosti 208, 213 a 217 HB.

U druhé zkušební tavby bylo provedeno legování titanem na 0,1 %, snížen obsah niklu na 0,06 % a zvýšen obsah fosforu na 0,67 %. Ve struktuře rovněž

převažuje grafit o rozložení A, v oblasti pracovní plochy je jeho výskyt v průměru 86,44 %, což je určité snížení oproti sériové výrobě. Grafit o rozložení B se na pracovní ploše rovněž nevyskytuje, ale ve všech případech došlo k vyloučení grafitu D, který je dle materiálového listu nežádoucí. Výhodné u odlitků z této tavby je opětné zjemnění grafitu. Ani jednou se nevyskytla velikost grafitu 3, ve všech případech byla velikost 4, 5, 6 s převažujícími velikostmi 4 a 5. Nepříznivě se však i toto chemické složení projevilo na tvrdosti odlitků vložených válců, a to poklesem hlavně v oblasti pracovní plochy. Průměrná tvrdost na pracovní ploše byla HB_p = 232. V některých případech došlo ke snížení tvrdosti až ke spodní hranici zaručovaného rozsahu.

U odlitků vložených válců z běžné sériové výroby převažuje grafit o rozložení A, v oblasti pracovní plochy je jeho výskyt v průměru 92,56 %, což je více než u odlitků po navržené úpravě chemického složení. Grafit o rozložení B se sice ve třech případech vyskytuje, je ale podle materiálového listu z hlediska struktury přípustný. K vyloučení grafitu o rozložení D v oblasti pracovní plochy nedošlo. Nevýhodný je zde výskyt hrubšího grafitu velikosti 3 ve čtyřech případech. Tvrdost odlitků vložených válců ze sériové výroby je vyšší. Průměrná hodnota tvrdosti na pracovní ploše dosáhla HB_p = 242, což je ve středu zaručovaného rozmezí.

Po posouzení všech získaných výsledků, se ukazuje, že navrhovaná změna chemického složení nepřinesla očekávané výsledky. Došlo sice k příznivému a výhodnému zjemnění velikosti grafitu, ale na druhé

straně je toto provázeno snížením množství grafitu o rozložení A na pracovní ploše, výskytem grafitu o rozložení D a hlavně velmi nepříznivým a značným snížením tvrdosti na pracovní ploše. Tvrdost na pracovní ploše je totiž jedním z důležitých faktorů ovlivňujících životnost vloženého válce. Přesto není jednoznačným kritériem pro posouzení funkční způsobilosti vloženého válce, zejména jeho životnosti. Proto budou zkušební odlitky vložených válců ve spolupráci s ÚVMV Praha v dalším období obrobeny a použity při zkouškách prováděných výzkumným ústavem.

8. Závěr

Úkolem diplomové práce bylo studium tvaru, velikosti a rozložení grafitu v odlitcích vložených válců odlévaných odstředivě. Mezi možnosti ovlivnění tvaru, velikosti a rozložení grafitu patří: změna chemického složení, změna rychlosti rotace odlitku, změna druhu formy, použití různých očkovadel, změna teplot licí, přehřátí atd. Pro tuto diplomovou práci bylo navrženo prozkoumání vlivu změny chemického složení šedé litiny pro odlévání odlitků vložených válců v n.p. Agrostroj Jičín. Na doporučení odborníků SVÚM Brno bylo rozhodnuto provést legování titanem.

Titan v malých množstvích do 0,1 % patří mezi grafitizační prvky a proto se očekávalo zvětšení množství grafitu o rozložení A na pracovní ploše. Titan rovněž příznivě působí na odplynění, váže se s plyny, hlavně s dusíkem s nímž tvoří nitridy. Nitridy na jedné straně zlepšují odolnost proti opotřebení, na druhé straně ve větších množstvích zhoršují obrobitelnost.

Po odlití zkušebních odlitků vložených válců, provedení zkoušek a porovnání získaných výsledků se sériovou výrobou bylo zjištěno:

1) U zkušebních odlitků došlo k příznivému zjemnění grafitu.
2) Nepříznivě se snížilo množství grafitu A na pracovní ploše, na které se rovněž vyskytl grafit o rozložení D.
3) Nepříznivě se snížila tvrdost na pracovní ploše vloženého válce.
4) Vzhledem k sériové výrobě nedošlo ke zlepšení ani zhoršení obrobitelnosti.
5) Nedošlo ke zvýšení vad odlitků.

Z hlediska dnešního materiálového listu a současné úrovně znalostí se použití nízkolegované šedé litiny legované titanem (v množstvích kolem 0,1 % na váhu kovu) neprojevilo očekávaným příznivým účinkem na tvorbu strukturních částí, zejména grafitu a bylo doprovázeno poklesem tvrdostí na funkční ploše vloženého válce.

Přesto na základě pouze těchto údajů nelze jednoznačně použití titanu zavrhnout. Konečným kriteriem je totiž jeho funkční způsobilost, tj. chování za chodu motoru, odolnost proti opotřebení, kavitaci a pod. a s tím spojená životnost. Zkoušky funkční způsobilosti jsou dlouhodobé a proto nemohly být během vypracování diplomové práce ukončeny.

Literatura

/1/ Giršovič N.G.: Šedá litina (SNTL, Praha 1955)

/2/ Pluhař J.,: Koritta J. Strojírenské materiály (SNTL, Praha 1977)

/3/ Výzkumné a výrobní zprávy TOR-ME n.p. Agrostroj Jičín

/4/ Koreš F.: Použití nízkolegovaných litin při výrobě odlitků pro automobilový průmysl, Seminář nízkolegované litiny České Budějovice (červen 1977)

/5/ Stránský D.: Očkování šedých litin a vliv očkovadla na tvar grafitu, Seminář nízkolegované litiny České Budějovice (červen 1977)

/6/ Exner J.: Význam dynamických vlastností šedých litin pro životnost odlitků, Seminář nízkolegované litiny České Budějovice (červen 1977)

/7/ Jablonský L.: Možnosti použití nízkolegované chróm-křemíkové litiny jako žáruvzdorného materiálu pro odlitky, Seminář nízkolegované litiny České Budějovice (červen 1977)

/8/ Slévárenství: 6 1967 str. 230

/9/ Komplexní zhodnocení vzorků vložených válců, Zpráva 37.6.6896 SVÚM Brno (6.2.1980)

/10/ Moučka, Poljak; Švardala Kvantometrická analýza (SNTL, Praha 1979)

Seznam příloh

V přílohách jsou uvedeny fotografie mikrostruktur zkušebních odlitků taveb I, II a sériové výroby. Z každé tavby zkušebních odlitků a ze sériové výroby bylo vybráno 5 vzorků, ze kterých byly pořízeny fotografie grafitu při 100 x zvětšení v oblasti budoucí pracovní plochy. Od každé tavby a sériové výroby byl rovněž vybrán vždy 1 vzorek, který se naleptal Nitalem a pozorovala se struktura základní kovové hmoty. I zde byly pořízeny fotografie.

	Číslo
Zkušební vzorky tavby I	1
Zkušební vzorky tavby I	2
Zkušební vzorky tavby II	3
Zkušební vzorky tavby II	4
Vzorky sériové výroby	5
Vzorky sériové výroby	6

vzorek č.25

neleptáno 100 x

vzorek č.26

neleptáno 100 x

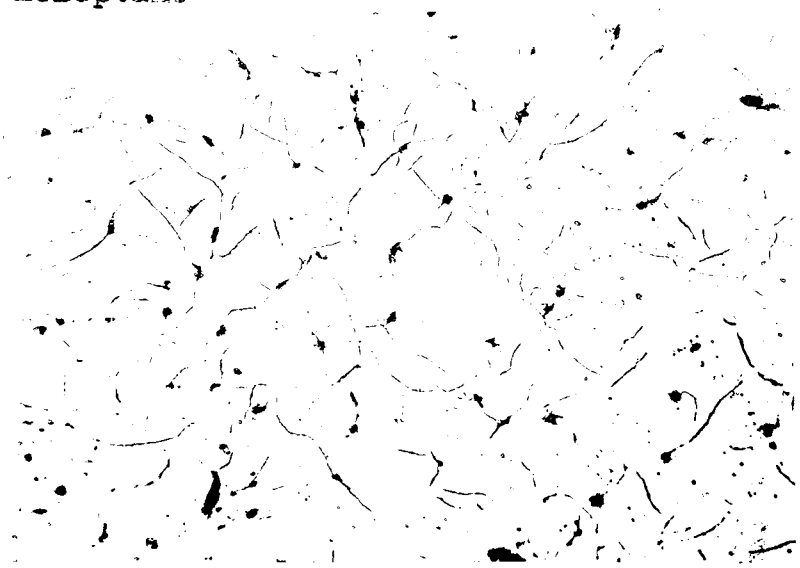
vzorek č.29

neleptáno 100 x

vzorek č.30

neleptáno 100 x

vzorek č.32



neleptáno 100 x

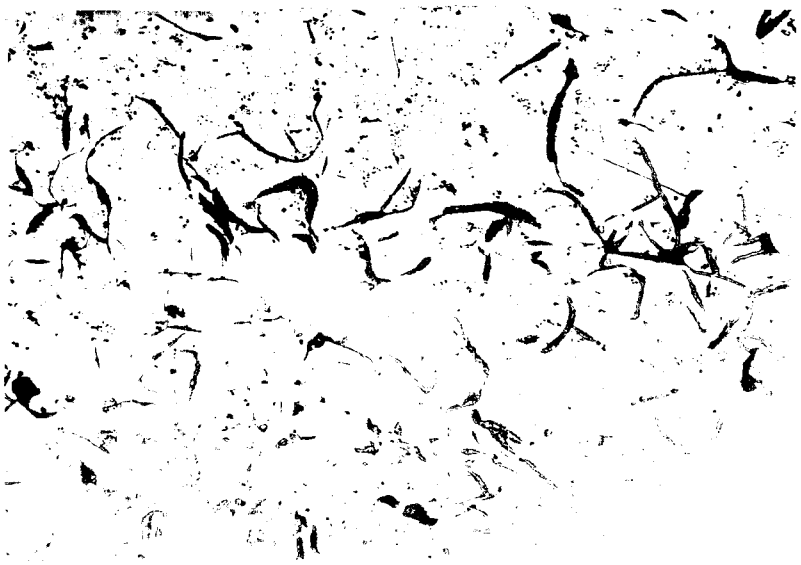
vzorek č.32

leptáno NITAL 500 x

vzorek č.33

neleptáno 100 x

vzorek č.34

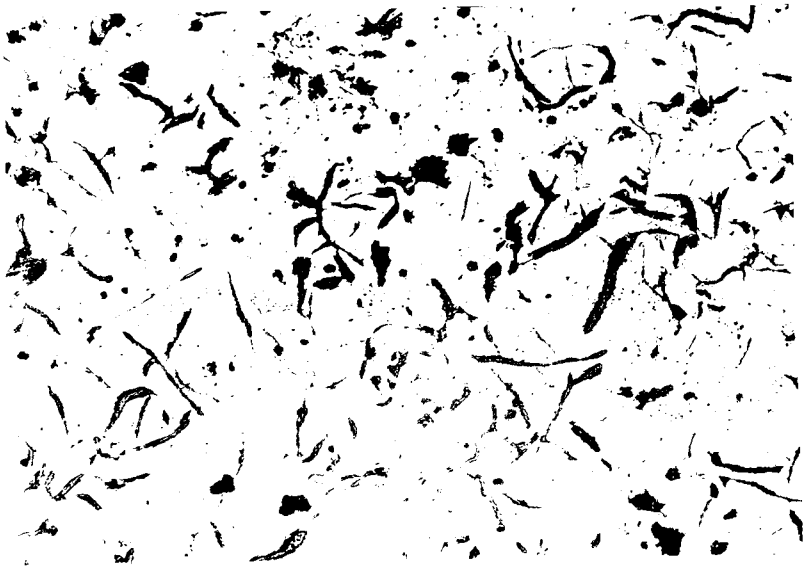


neleptáno 100 x

vzorek č.37

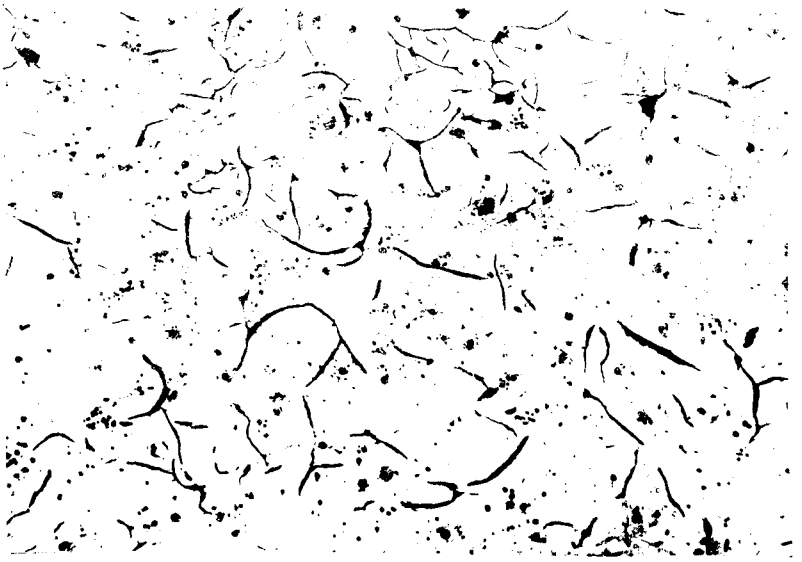
neleptáno 100 x

vzorek č.38



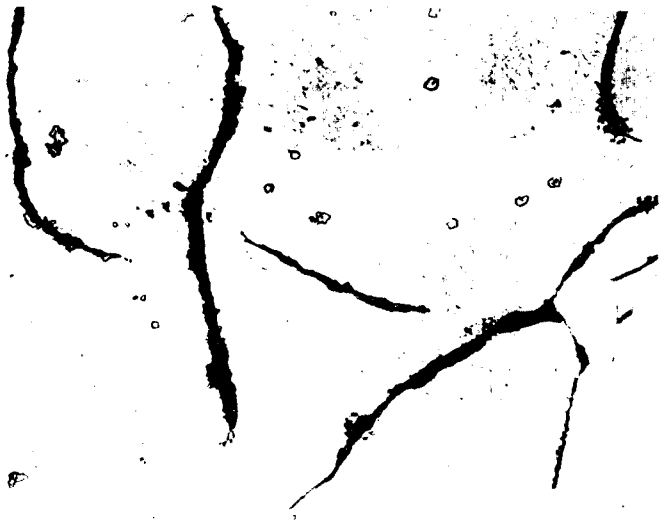
neleptáno 100 x

vzorek č.40



neleptáno 100 x

vzorek č.40



leptáno NITAL 500 x

vzorek č.509

neleptáno 100 x

vzorek č.513

neleptáno 100 x

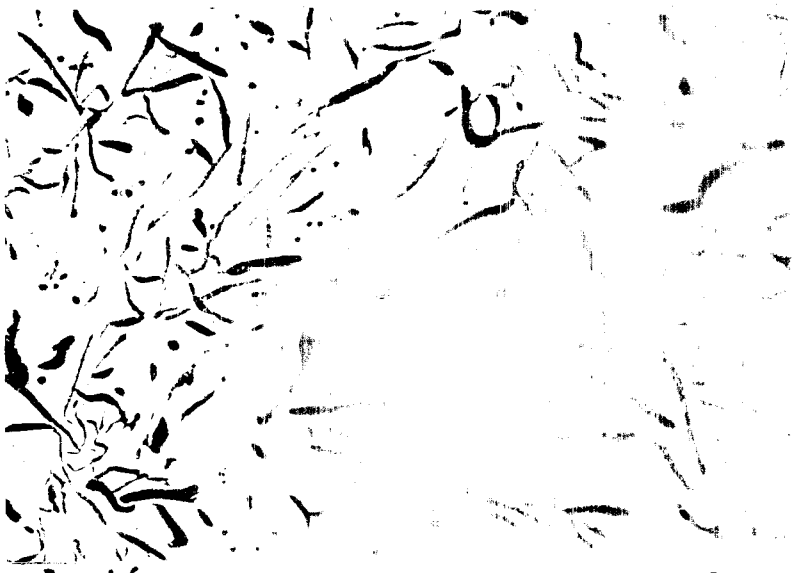
vzorek č.579

neleptáno 100 x

vzorek č.520

neleptáno 100 x

vzorek č.632



neleptáno 100 x

vzorek č.632

leptáno NITAL 500 x

Děkuji tímto s. Doc. Ing. Holubcovi, CSc., s. Ing. Jebavému a s. Ing. Sirůčkovi za cenné rady a pomoc v této práci. Dále bych chtěl poděkovat všem pracovníkům n.p. Agrostroj Jičín, kteří pomáhali při laboratorních zkouškách.

V Liberci dne 22. května 1981 Kraus Milan