

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

NOSITELKA ŘÁDU PRÁCE

Fakulta strojní

Obor 23-07-8

Strojírenská technologie

zaměření

strojírenská metalurgie

Katedra materiálů a strojírenské metalurgie

O V Ě Ř E N Í M O Ž N O S T Í P O U Ž I T Í S L Ě -
V Á R E N S K Ě H O D I L A T O M E T R U P R O K O N -
T R O L U S T R U K T U R Y L I T I N S Č E R V Í K O -
V I T Ý M G R A F I T E M

K M M - 295

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jana Kulháňková
VŠST Liberec

Rozsah práce

Počet stran 67
Počet tabulek 7
Počet obrázků 17

DT

10. května 1988

strojn^í a textiln^í
Vysoká škola: v Liberci Fakulta: strojn^í
materiálu a strojírenské
Katedra: metalurgie Školní rok: 1987-88

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Jan Š E S T Á K
obor strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Ověření možnosti použití slévárenského dilatometru pro kontrolu struktury litin s červíkovitým grafitem

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s vlastnostmi, použitím, způsoby výroby a kontrolou litiny s červíkovitým grafitem v podmínkách slévárny AZNP Mladá Boleslav. Zaměřte se při tom na metody dilatometrické.
2. Podle pokynů konzultanta proveďte odlití zkušebních tabek a zhodnoťte je měřením na slévárenském dilatometru.
3. Získané dilatogramy vyhodnoťte a porovnejte je s mikrostrukturou jednotlivých vzorků.
4. Proveďte diskusi získaných výsledků a navrhněte technologický postup pro kontrolu výsledné struktury litiny pomocí dilatometrických křivek.

V 171 / 885

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PŠČ 461 17

25.11.88
- kontrola
- předání

KMM/SM

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy:

cca 50 stran

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího a konzultanta
diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

RNDr. Jana Kulhánková

Konzultant:

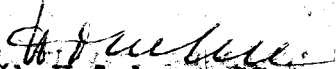
Ing. Kotlaba, AZNP Mladá Boleslav

Datum zadání diplomové práce:


7.9.1987

Termín odevzdání diplomové práce:

10.5.1988


Doc. Ing. Zdeněk Holubec, CSc.

Vedoucí katedry


Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.

Děkan

v Liberci dne 4.9. 1987

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

Sestř. Jan

V Liberci 10. května 1988

O B S A H

Strana

1.	<u>Úvod</u>	7
2.	<u>Teoretická část</u>	8
2.1	Definice vermikulární litiny	8
2.2	Výroba vermikulární litiny	8
2.2.1	Chemické složení vermikulární litiny	9
2.2.2	Tavení a vsázkové suroviny	9
2.2.3	Modifikace	10
2.2.3.1	Modifikace slitinami na bázi PVZ	10
2.2.3.2	Nedokonalá modifikace hořčíkem	11
2.2.3.3	Modifikace komplexními slitinami na bázi Mg-Ti-PVZ	11
2.2.3.4	Modifikace komplexními slitinami na bázi Mg-PVZ	12
2.3	Vlastnosti vermikulární litiny	13
2.3.1	Mechanické vlastnosti za normální teploty	13
2.3.1.1	Pevnost v tahu a tažnost	13
2.3.1.2	Tvrдость	14
2.3.1.3	Houževnatost	14
2.3.1.4	Modul pružnosti	14
2.3.1.5	Útlum	14
2.3.1.6	Únava	15
2.3.2	Mechanické vlastnosti za zvýšených teplot	16
2.3.3	Mechanické vlastnosti za snížených teplot	16
2.3.4	Slévárenské vlastnosti	16
2.3.4.1	Sklon k zákalce	16
2.3.4.2	Doba trvání modifikačního účinku	16
2.3.4.3	Zabíhavost	16
2.3.4.4	Sklon ke staženinám	17
2.3.5	Fyzikální vlastnosti	17
2.3.5.1	Tepelná vodivost	17
2.3.6	Technologické vlastnosti	17

2.3.6.1	Obrobitelnost	17
2.3.6.2	Růst a opal	18
2.3.7	Celkové shrnutí výhod vermikulární litiny vůči šedé a tvárné litině	18
2.4	Možnosti zjišťování struktury a tvaru grafitu v litině	19
2.4.1	Termická analýza	19
2.4.2	Diferenciální termická analýza	20
2.4.3	Měření měrného elektrického odporu litiny v průběhu tuhnutí	21
2.4.4.4	Ultrazvuková defektoskopie	22
3.	<u>Experimentální část</u>	23
3.1	Použitá metoda pro zjišťování tvaru grafitu v litině-určení časového průběhu dilatace vzorku v procesu tuhnutí	23
3.1.1	Hodnocení vlastností litin pomocí lineárních dilatačních křivek	23
3.1.2	Vliv základních metalurgických parametrů výroby na lineární změny rozměrů odlitků ze šedé litiny	28
3.1.3	Možnosti omezení rozptylu metalurgických parametrů výroby litiny, které ovlivňují průběh lineární dilatační křivky, ve slévárně AZNP Mladá Boleslav	30
3.1.4	Princip použité kontrolní metody	23
3.2	Zařízení pro zjišťování lineárních dilatačních křivek litin	34
3.2.1	Přístroje, které obsahuje dané měřicí zařízení a jejich zapojení při měření	34
3.2.2	Popis jednotlivých měřicích přístrojů a zkušební formy	36
3.2.2.1	Slévárenský dilatometr DM-204	36
3.2.2.2	Indukční snímač MS-I	38
3.2.2.3	Zapisovací přístroj TZ 4100	38
3.2.2.4	Zkušební forma	41
3.2.3	Funkce zařízení	41
3.3	Postup při měření	42
3.4	Postup při vyhodnocení lineárních dilatačních křivek ze záznamového listu a procentuálního množství grafitu	42

3.5	Naměření a vyhodnocení skupiny lineárních dilatačních křivek	44
3.5.1	Podmínky při měření	44
3.5.2	Použité zapojení a nastavené parametry měřících přístrojů	45
3.5.3	Vyhodnocení naměřených lineárních dilatačních křivek	46
3.5.3.1	Vyhodnocení první provedené série měření uskutečněné v SVÚM Brno	46
3.5.3.2	Vyhodnocení druhé série měření	49
3.5.3.3	Vyhodnocení třetí série měření	52
4.	<u>Diskuse získaných výsledků</u>	60
5.	<u>Závěr</u>	63
6.	<u>Seznam použité literatury</u>	66
7.	<u>Seznam příloh</u>	67

Seznam použitých symbolů

Symbol		název
MPR	-	maximální předsmršťovací roztažení
PD	-	předsmršťovací doba
% GG	-	procentuální množství globulárního grafitu
% ČG	-	procentuální množství červíkovitého grafitu
% LG	-	procentuální množství lupínkového grafitu
% G	-	souhrn procentuálních množství jednotlivých tvarů grafitu
TP	-	teplota litiny v peci
TŘM	-	teplota litiny před modifikací
TOM	-	teplota litiny po modifikaci
TL	-	teplota lití

1. Ú V O D

V současné době, kdy jsou na jakost výrobků kladeny stále vyšší požadavky, vyvstala nutnost zavádět do výroby nové materiály, které jsou schopny tyto požadavky splňovat.

Jedním takovým materiálem, jenž má určité specifické vlastnosti, které ho předurčují k použití ve strojírenství je vermikulární litina, nebo-li litina s grafitem červíkovitého tvaru. Tento materiál chtějí využít i pracovníci AZNP Mladá Boleslav, jelikož stoupající výkony motorů, vyšší účinnost paliva i menší možnosti vnějšího chlazení, zvyšují teplotu výfukového potrubí až nad teplotu 500 C, při kterých již tato součást vyrobená ze šedé litiny praská. Výfukové potrubí zhotovené z vermikulární litiny splňuje ještě při těchto teplotách požadavky na něj kladené. Pro naplnění tohoto cíle je ovšem nutné zvládnout metalurgické problémy spojené s výrobou této litiny. To se podaří jen v případě, bude-li k dispozici dostatečně přesná, rychlá a spolehlivá kontrolní metoda. Právě možnosti použití jedné vybrané kontrolní metody v provozní potřebě AZNP Mladá Boleslav se zabývá tato diplomová práce.

2. T E O R E T I C K Á Č Á S T

2.1 Definice vermikulární litiny

Vermikulární litina je slitina železa s uhlíkem, křemíkem, manganem a dalšími prvky, přičemž uhlík, který není vázán ve strukturních složkách základní kovové hmoty je vyloučen jako grafit převážně červíkovitého tvaru. Různé tvary grafitu jsou charakterizovány hodnotou poměru délky L a tloušťky A grafitové částice:

- lupínkový grafit $L/A =$ větší než 50
- červíkovitý grafit $L/A =$ 2 až 10
- zrnitý grafit $L/A =$ 1

ČSN 42 0461

2.2 Výroba vermikulární litiny /1,6/

Postup výroby této litiny se dělí na dvě etapy:

a/ tavení výchozí litiny určené k modifikaci na litinu s červíkovitým grafitem.

b/ modifikace a v případě potřeby i grafitizační očkování.

Modifikací se dosahuje vyloučení grafitu červíkovitého tvaru, grafitizační očkování potlačuje výskyt volného cementitu ve struktuře.

2.2.1 Chemické složení vermikulární litiny

Obsah C a Si ve vermikulární litině se může pohybovat ve velmi širokém rozmezí /2,5 - 4,2 % C : 2,0 - 3,5 % Si/. Hodnota uhlíkového ekvivalentu ovlivňuje vlastnosti litiny, ale například pevnost není jeho hodnotou mnoho ovlivňována. Pokud se týká obsahu dalších prvků ve vermikulární litině není mangan omezován, fosfor je naopak nežádoucí a jeho obsah je ohraničen 0,15 %. Obsah síry je požadován co nejnižší /pod 0,035 %/ zejména z důvodů ekonomických, které jsou dány spotřebou modifikátoru. Jestliže chceme dosáhnout určitých vlastností vermikulární litiny je možné ji legovat niklem do 30 %, chromem do 1 %, molybdenem do 2 %, vanadem do 0,5 %, titanem do 0,5 %, mědí do 2 %, cínem do 0,15 %. Olovem a vizmutem se nedoporučuje legovat, jelikož mohou narušit vznik červíkovitého grafitu.

2.2.2 Tavení a vsázkové suroviny

Výchozí litina pro výrobu vermikulární litiny se v současné době taví ve všech běžných tavicích agregátech /kuplovna, indukční kelímková pec, elektrická oblouková pec/ případně jejich kombinací a odsiřovacím zařízením. Nejméně výhodné se zdá být použití kuplovny, protože síra, která je obsažena v koksu částečně přechází do litiny, což má za následek vyšší spotřebu modifikátoru. Pokud má tavenina příliš vysoký obsah síry je nutno provést odsiřování pomocí různých odsiřujících látek, například vápníku, vápna, sody.

Tímto lze snížit obsah síry u indukční pece pod 0,01 % a u kuplovný na 0,03 %.

Vsázkové suroviny /surové železo, ocelový odpad a vratný materiál/ a metalurgický pochod je nutné volit tak, aby v tavenině:

- byl požadovaný obsah uhlíku
- nebyl příliš vysoký obsah křemíku /další křemík se vnáší při modifikaci a grafitizačním očkování/
- byl únosný obsah síry, fosforu, chromu a rušivých stopových prvků

Jestliže je požadována feritická struktura je bezpodmínečně nutné snížit na minimum obsahy manganu, fosforu a síry.

2.2.3 Modifikace

V současné době existují v podstatě čtyři praktické způsoby modifikace:

- slitinami na bázi prvků vzácných zemin /PVZ/
- nedokonalá modifikace hořčíkem
- komplexními slitinami na bázi Mg Ti PVZ
- komplexními slitinami na bázi Mg PVZ

2.2.3.1 Modifikace slitinami na bázi PVZ

Podstatou je modifikace výchozí litiny, která musí mít obsah síry snížen minimálně pod 0,03 %, směsným kovem PVZ respektive před slitinami Si PVZ.

Modifikátor se vhazuje do proudu kovu při přelévání

taveniny z pece do pánve, kde se vzhledem k nízkému bodu tání /790 - 850 C/ a vysokému bodu varu /3000 C/ snadno rozpouští a nevypařuje se. Jeho množství je přímo úměrné obsahu síry v tavenině. Doba odeznění modifikačního účinku je kratší než deset minut. Nevýhodou tohoto modifikování je velký sklon vzniklé litiny k zákalce. Proto je nutné po ukončení modifikace intenzivně grafitizačně očkovat.

2.2.3.2 Nedokonalá modifikace hořčíkem

Nedokonalá /podkritická / modifikace hořčíkem nebo slitinami MgSi je v praxi velmi složitá operace, protože průběh Mg - reakce musí být pod přísnou kontrolou. V důsledků vysokého tlaku par Mg v tavenině /teplota varu 1105 C/ tvoří důležitou roli ztráty výparem, takže lze pozorovat o něco rychlejší doznívání účinků modifikace než při zpracování taveniny PVZ.

2.2.3.3 Modifikace komplexními slitinami na bázi Mg - Ti - PVZ

Podstata této metody spočívá v přítomnosti titanu, který je prvkem nejvíce rušícím vznik zrnitého grafitu. Výhodou této metody je, že přítomnost titanu způsobí zastavení přeměny tvaru grafitu na formě červikovité a ani předávkování hořčíkem nemá již za následek vznik grafitu zrnitého.

Vyráběné předslitiny obsahují mimo hořčíku, titanu a PVZ i vápník, hliník i křemík, což má za následek, že předslitina účinkuje v širokém rozsahu síry v tavenině. Ten je limitován 0,035 %. Ke zdárnému průběhu modifikace je třeba

zajistit teplotu taveniny /při modifikaci/ 1400 C, při nižších teplotách se rychle zvyšuje podíl zrnitého grafitu ve struktuře.

Další výhodou tohoto výrobního procesu je malý sklon litiny ke vzniku zákalky, takže prakticky odpadá nutnost grafitizačního očkování. Naproti tomu existují oprávněné námitky, že dochází k znečištění vratné litiny titanem, což je nepříznivé z hlediska další výroby tvárné litiny.

2.2.3.4 Modifikace komplexními slitinami na bázi Mg - PVZ

Při této metodě se titan vylučuje z modifikační slitiny z důvodů znečištění vratné litiny a zhoršení obrobiteľnosti. Tímto způsobem lze zpracovávat výchozí litinu s poměrně vysokým obsahem síry, až 0,12 %. Teplota výchozí litiny má být při modifikaci 1475 - 1510 C. Je-li teplota příliš vysoká vzniká v důsledku zvýšeného propalu hořčíku nebezpečí nedokonalé modifikace, při nižších teplotách dochází ke vzniku většího podílu zrnitého grafitu.

2.3 Vlastnosti vermikulární litiny

Jelikož je vermikulární litina dosud poměrně málo známý materiál jsou zde uvedeny některé její vlastnosti. /1/

2.3.1 Mechanické vlastnosti za normální teploty

2.3.1.1 Pevnost v tahu a tažnost

Pevnost v tahu vermikulární litiny se pohybuje v rozsahu 320 - 550 MPa v závislosti na uhlíkovém ekvivalentu, struktuře základní kovové hmoty, charakteru červíkovitého grafitu a rychlosti chladnutí. Hodnoty nevýrazné meze kluzu leží v rozsahu 260 - 380 MPa.

Tažnost vermikulární litiny se pohybuje mezi hodnotami 0,5 - 4,5 % v závislosti na struktuře základní kovové hmoty, čistotě použitých surovin, přítomnosti cementitu ve struktuře, množství grafitu ve formě zrnité, uhlíkovém ekvivalentu a rychlosti chladnutí. Výrazného zvýšení tažnosti lze dosáhnout feritizačním vyžíháním této litiny. U tohoto materiálu se objevuje i jev známý u šedé litiny, rozdílnost zatěžovacích křivek pro tah a tlak. Pevnost v tlaku je větší než pevnost v tahu.

Pro zachování výhodných vlastností vermikulární litiny se ve struktuře nemá vyskytovat více než 20 % zrnitého grafitu, aby byly zachovány výhodné vlastnosti. Jelikož však podíl zrnitého grafitu ve struktuře stoupá s rostoucí rychlostí chladnutí, vyskytuje se běžně v tenkých stěnách odlitku až 50 % zrnitého grafitu.

2.3.1.2 Tvrдость

Hodnoty tvrdosti se opět pohybují ve velice širokém rozmezí 130 - 270 HB, v závislosti na celé řadě již uvedených faktorů /uhlíkový ekvivalent, chemické složení, základní kovová hmota, rychlost chladnutí a podobně/, jejichž vhodnou volbou lze dosáhnout jakoukoliv požadovanou tvrdost.

2.3.1.3 Houževnatost

Hodnoty vrubové houževnatosti vermikulární litiny se pohybují od 15 do 40 J/cm². Toto rozmezí bylo stanoveno na zkušebních tyčích Ø 20 mm.

Houževnatost vermikulární litiny závisí na poměru červikovitého a zrnitého grafitu v mikrostruktuře a na poměru perlitu a feritu v základní kovové hmotě.

2.3.1.4 Modul pružnosti

Hodnota modulu pružnosti se pohybuje v rozmezí 140 - 150 MPa . 10³, přičemž je nejvíce závislá na tvaru grafitu. Nachází se tedy mezi hodnotami známými pro litinu šedou /80 - 130 MPa . 10³/ a tvárnou /160 - 170 MPa . 10³/.

2.3.1.5 Útlum

Útlumová schopnost jakékoliv litiny je nepřímě úměrná modulu pružnosti a tvaru grafitu. Z toho tedy vyplývá, že vermikulární litina se bude i v tomto případě nacházet mezi litinou šedou a tvárnou /spíše blíže k tvárné litině/.

2.3.1.6 Únava

Únavová pevnost vermikulární litiny je závislá na stejných faktorech jako pevnost v tahu. Hodnota meze únavy je dále závislá i na druhu cyklického zatěžování:

druh namáhání	hodnota meze únavy /MPa/
míjivý tah	160 - 185
plochý ohyb	180 - 210
ohyb za rotace	250 - 270

2.3.2 Mechanické vlastnosti za zvýšených teplot

Pevnost v tahu vermikulární litiny se v rozmezí teplot 20 - 200°C snižuje asi o 50 MPa, v rozmezí 200 - 300°C vzrůstá přibližně o 25 MPa. Mezi teplotami 300 - 500°C dochází k výraznému poklesu hodnoty pevnosti v tahu, téměř na polovinu výchozí hodnoty.

2.3.3 Mechanické vlastnosti za snížených teplot

S klesající teplotou se snižuje i hodnota rázové a vrubové houževnatosti. Po překročení kritické teploty klesá hodnota houževnatosti podstatně rychleji. V případě vrubové houževnatosti je kritická teplota okolo 0°C, pro rázovou houževnatost pak -40 až -50°C.

2.3.4 Slévárenské vlastnosti

2.3.4.1 Sklon k zákalce

Sklon vermikulární litiny k zákalce /v porovnání se sklonem výchozí litiny/ je závislý na použitém druhu modifikátoru.

Sklon k zákalce značně vzrůstá při modifikaci výchozí litiny směsným kovem PVZ. Situace se zlepšuje při použití předslitin na bázi PVZ - Si. Pokud jsou použity komplexní modifikátory na bázi titanu nedochází k žádnému vzrůstu sklonu litiny k zákalce.

Jestliže je nutno snižovat sklon k zákalce kombinuje se modifikace s grafitizačním očkováním, nejčastěji Fe - Si 75 v množství až 0,7 %.

2.3.4.2 Doba trvání modifikačního účinku

Po modifikaci, jejímž účelem je vytvoření červíkovitého grafitu dochází po určitém čase k odeznění modifikačního účinku. Tento čas je různý pro jednotlivé druhy modifikátorů. Po uplynutí této doby tuhne tavenina opět s grafitem lupínkovým v mikrostruktuře.

2.3.4.3 Zabíhavost

Zabíhavost vermikulární litiny je za stejných podmínek /uhlíkový ekvivalent, teplota lití, forma/ shodná se zabíhavostí šedé litiny.

2.3.4.4 Sklon ke staženinám

Sklon vermikulární litiny ke staženinám lze nejlépe ilustrovat při srovnání s litinou šedou a tvárnou. Objem staženiny vzniklé v průběhu tuhnutí je:

- šedá litina	4,1 %
- vermikulární litina	4,8 %
- tvárná litina	7,0 %

Vermikulární litina má spíše tendenci vytvářet soustředěnou staženinu než řediny. Pro výrobu odlitků z vermikulární litiny je možno použít bez úpravy modelové zařízení vyrobené pro odlitky ze šedé litiny.

2.3.5 Fyzikální vlastnosti

2.3.5.1 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost litin obecně je závislá prakticky jen na množství a tvaru grafitu, protože jeho tepelná vodivost je podstatně vyšší než základní hmoty. Hodnota tepelné vodivosti vermikulární litiny činí 40 W/m K.

2.3.6 Technologické vlastnosti

2.3.6.1 Obrobitelnost

Obrobitelnost materiálu je velice komplexní vlastnost daná řadou faktorů. V rozporu se špatnými zkušenostmi s obrobitelností materiálů pevnějších než je šedá litina /legované litiny, tvárná litina/ se zdá být obrobitelnost vermiku-

lární litiny, protože při jejím obrábění nevznikají žádné problémy. Je to zřejmě způsobeno i lepší lámavostí třísky vermikulární litiny než tvárné litiny.

2.3.6.2 Růst a opal

Výsledky srovnávacích zkoušek růstu a okujení šedé litiny s litinou vermikulární ukazují jednoznačně, že okujení a zejména růst vermikulární litiny jsou podstatně menší než v případě šedé litiny.

2.3.7 Celkové shrnutí výhod vermikulární litiny vůči šedé a tvárné litině

Ve srovnání s vysokopevnostní šedou litinou má vermikulární litina tyto výhody:

- vyšší pevnost v tahu a vyšší mez únavy bez použití nákladných legovacích přísad.
- značně vyšší houževnatost
- menší sklon k růstu a opalu

Ve srovnání s tvárnou litinou má vermikulární litina tyto výhody:

- menší sklon k ředinám, takže není nutno odlitky nalitkovat
- vyšší tepelná vodivost a lepší odolnost proti tepelné únavě
- nižší modul pružnosti a vyšší schopnost útlumu

2.4 Možnosti zjišťování struktury a tvaru grafitu v litinách

K tomu, abychom mohli zvládnout zákonitosti vzniku té či oné struktury litiny potřebujeme informace o procesu krystalizace litiny. Obzvláště velký význam mají informace získané kontinuálně během krystalizace. Pro eventuální praktickou aplikaci pak takové informace, které mohou být na vzorku z dané tavby vyhotoveny během tak krátké doby, aby roztažená litina mohla být ještě příslušným způsobem upravena. Uvedeným požadavkům vyhovují takové metody kontinuálního měření fyzikálních veličin tuhnoucí litiny, které jsou schopny indikovat nepřímým způsobem krystalizační děje probíhající při tuhnutí. Obtíže spojené s měřením za vysokých teplot dovolily zatím pouze spolehlivé měření křivek chladnutí a křivek objemových změn.

Nejvíce známé jsou čtyři metody, ze kterých lze s dostatečnou přesností usuzovat na konečnou strukturu a tvar grafitu:

- termická analýza
- měření měrného elektrického odporu v průběhu tuhnutí
- ultrazvuková defektoskopie
- diferenciální termická analýzy

2.4.1 Termická analýza /4/

Termická analýza nejlépe a nejdříveji charakterizuje tuhnutí sledované slitiny. Opírá se o skutečnost, že teplo uvolněné v průběhu reakce je zcela závislé na procesu tuhnutí a tedy i na faktorech, které proces tuhnutí ovlivňují.

Křivka tuhnutí není tedy ve skutečnosti ničím jiným než grafickým zachycením "historie" tuhnutí a současně všech okolností, které proces tuhnutí ovlivňují a spolu s ním samozřejmě i výsledný mikro a makrostrukturální obraz sledované litiny. Kromě této zásadní skutečnosti je nutné vyzdvihnout i potřebnou rychlost, spolehlivost a jednoduchost této metody. Proto došlo v posledních letech k intenzivnímu výzkumu možností praktického použití křivek tuhnutí.

obyčejná křivka tuhnutí nám může poskytnout následující informace:

- hodnotu maximální teploty taveniny
- hodnotu teploty likvidu a pomocí ní přibližně složení taveniny přepočtem z uhlíkového ekvivalentu nebo stupně eutektičnosti
- hodnotu eutektického podchlazení
- celkovou dobu tuhnutí

2.4.2 Diferenciální termická analýza /4/

Diferenciální termická analýza umožňuje přesný a důkladný rozbor obyčejné křivky tuhnutí. Velice dobře zachycuje i ty změny, které jsou v geometrickém průběhu obyčejné křivky tuhnutí velice těžko rozeznatelné. Touto metodou se také mimo jiné nechá zjistit hodnota zaeutektického minima /ZEM/, který není významný pro šedou litinu, avšak má zcela mimořádný význam pro litinu tvárnou. Hodnotu ZEM lze považovat za měřítko tepelné bilance eutektické reakce a snižuje související proces grafitizace. Čím je toto minimum

větší, tím větší je celková tepelná bilance eutektické reakce. Protože rozhodujícím faktorem vývoje tepla je růst grafitu a velikost jeho plošného styku s jeho okolím, je zřejmé, že nejmenší výslednou tepelnou bilanci bude mít grafit s nejmenší stykovou plochou s okolní matricí.

2.4.3 Měření měrného elektrického odporu litiny v průběhu tuhnutí /9/

Jednou z perspektivních metod studia krystalizace grafitu v litinách se jeví metoda měření měrného elektrického odporu v průběhu tuhnutí, neboť lze zcela reálně očekávat, že jeho průběh bude ovlivněn vylučováním grafitu jako složky s podstatně odlišným měrným elektrickým odporem než má základní hmota. Metody měření měrného elektrického odporu lze rozdělit na kontaktní a bezkontaktní.

Při kontaktní metodě měření probíhá vzorkem proud známé intenzity a na dané délce vzorku měříme napětí. Z těchto údajů lze stanovit měrný elektrický odpor. Při použití stejnosměrného proudu může být přesnost měření ovlivněna přídatnými termoelektrickými silami v místech kontaktů. Proto se používá většinou střídavý proud, kde se tyto vlivy omezují na minimum. Bezkontaktní metody měření jsou poměrně komplikované a proto se zde jejich principy nebudeme zabývat.

Podstatné je, že byl prokázán výrazný rozdíl v průběhu měrného elektrického odporu při tuhnutí šedé a tvárné litiny. Zda jde touto metodou odlišit vermikulární litinu od šedé či tvárné litiny, nebylo možné zjistit v žádné dostupné literatuře.

2.4.4 Ultrazvuková defektoskopie /5/

Další možnou metodou pro zjišťování tvaru grafitu je metoda používající ultrazvuku. Princip metody spočívá v měření rychlosti šíření ultrazvukové vlny v kovech. Pro rychlost šíření ultrazvukové vlny v kovech platí vztah:

$$c_L = \frac{E}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{1 - \mu}{1 + \mu} \cdot \frac{1}{1 - 2\mu}}$$

Kde E značí modul pružnosti materiálu, ρ hustotu materiálu, μ Poissonovu konstantu.

Ve vzorci není žádná veličina výrazně závislá na základní hmotě matrice. To dává teoretický předpoklad pro spolehlivé určení tvaru grafitu v závislosti na rychlosti šíření ultrazvukové vlny v litině.

Touto metodou se blíže zabývali pracovníci n.p. Tatra, kteří ji zkoušeli při kontrole skříní diferenciálu. Při nasazení této metody se projeví tyto její výhody:

- operativní nasazení ve výrobě
- značné snížení nákladů na kontrolu
- vysoká produktivita a spolehlivost měření

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Použitá metoda pro zjištění tvaru grafitu v litině - - určení časového průběhu dilatace vzorku v procesu tuhnutí

V této práci bude zkoumána možnost určovat tvar vyloučeného grafitu pomocí metody založené na časové změně délky vzorku v průběhu tuhnutí. Dilatometrie je založena na sledování rozměrových změn /dilatací/, které souvisejí s přestavbou krystalové mřížky.

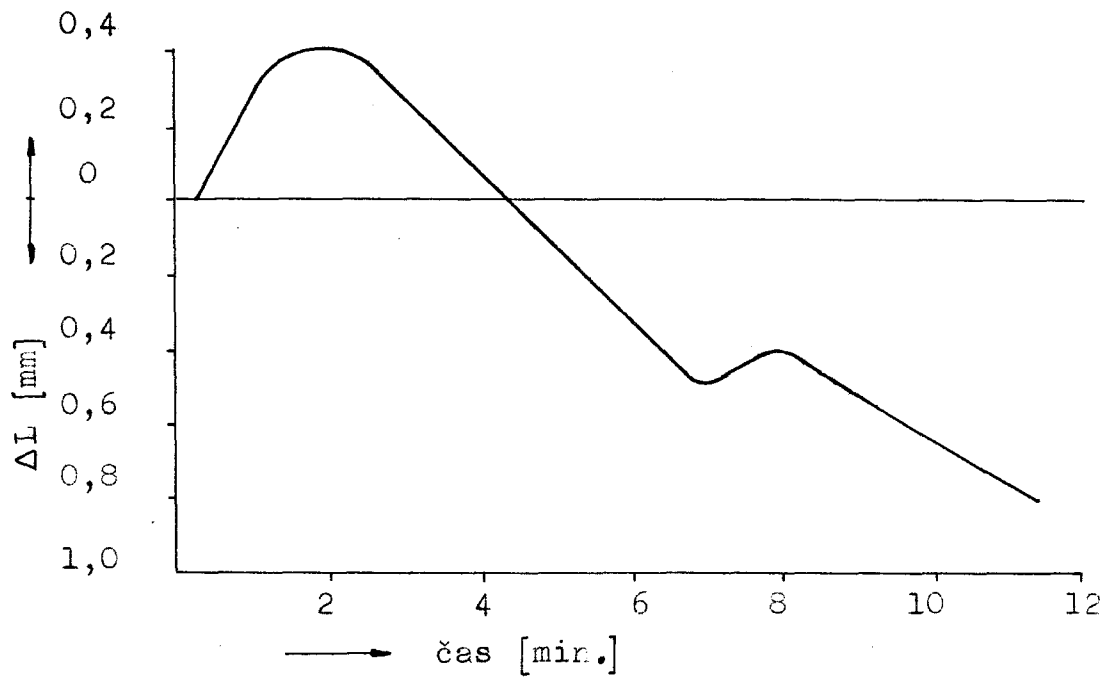
Při měření se získává průběh závislosti rozměrových změn zkoumaného vzorku na čase, případně můžeme současně určit závislost teplota - čas, z čehož je potom možno sestavit závislost rozměrové změny na teplotě.

Zjišťováním lineárního smrštění se budeme zabývat i v této diplomové práci, protože je obecně nejsnazší a provozně nejprístupnější.

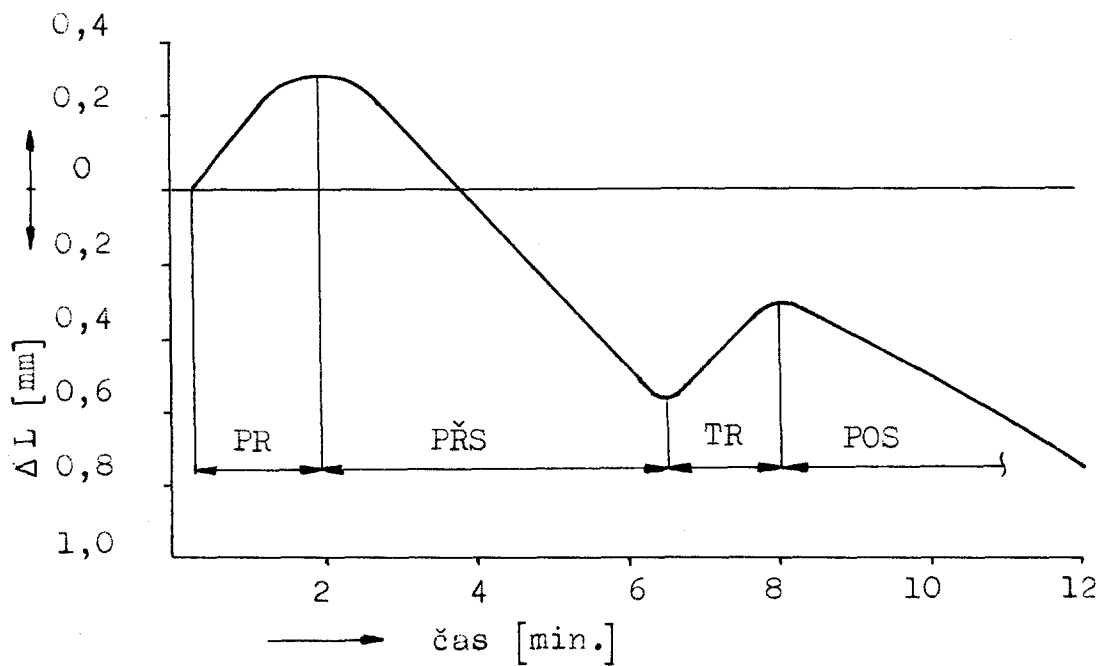
3.1.1 Hodnocení vlastností litin pomocí lineárních dilatačních křivek /2/

Z dosavad uskutečněných měření a z nich plynoucích závěrů, lze tvrdit, že průběh lineárních dilatačních křivek je určitým obrazem krystalizačních pochodů v tuhnoucí litině.

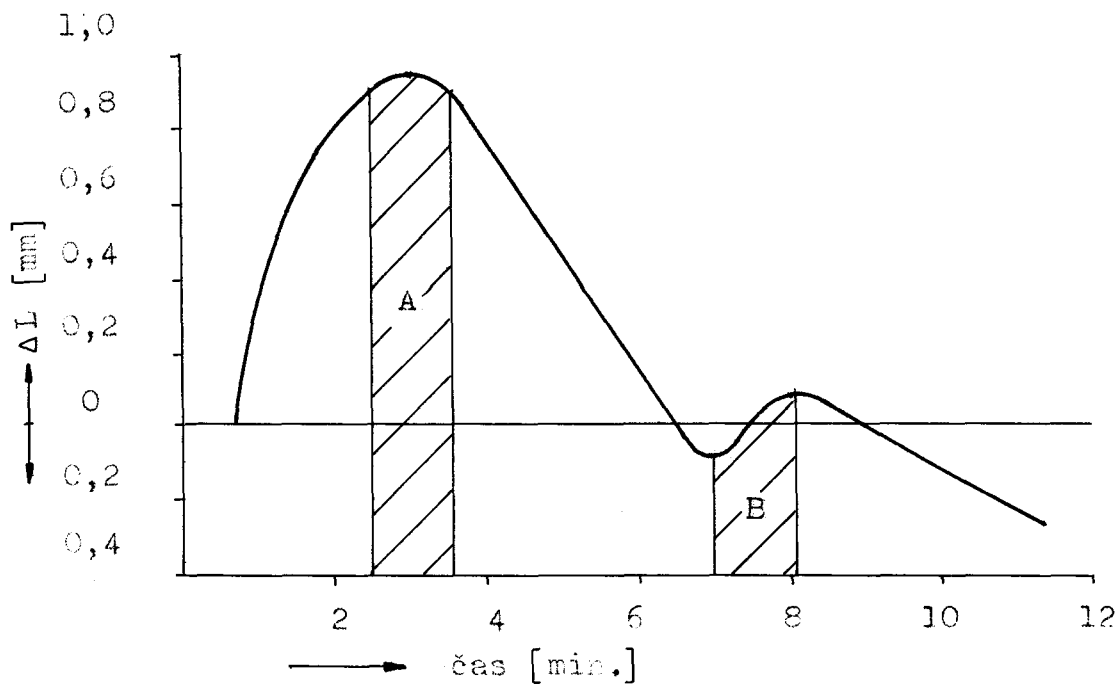
Typický průběh lineárních dilatačních křivek pro různé typy litin, je znázorněn na obrázcích 1,2,3.



Obr. 1 Lineární dilatační křivka pro perlitickou šedou litinu



Obr. 2 Lineární dilatační křivka pro feriticko-perlitickou šedou litinu



Obr. 3 Lineární dilatační křivka pro feriticko-perlitickou tvárnou litinu

Z obr. 2 je patrné, že dochází nejprve k předsmršťovacímu roztažení /PR/, potom následuje předperlitické smršťování /PŘS/, dále lineární dilatace při transformaci na perlit /TR/ a k poperlitickému smršťování /POS/.

Pro vlastní hodnocení mají význam jen časové oblasti A a B vyznačené na obr. 3. Průběh těchto úseků závisí na podmínkách odlévání a podmínkách metalurgických. Časový úsek A, charakterizuje průběh předsmršťovacího roztažení za vysokých teplot /teploty kolem austenitické reakce/ a časový úsek B, charakterizuje průběh transformačních změn za teplot eutektoidních.

Časový úsek A, v němž probíhá předsmršťovací roztažení je velmi důležitý, neboť maximální hodnota předsmršťovacího

roztážení /MPR/ je charakterizována vylučováním grafitu a podmínkami k plnému rozvinutí tohoto pochodu. S tím souvisí nejen chemické složení, teplota přehřátí taveniny, teplota lití, rychlost ochlazování, ale i mechanismus a kinematika grafitizace. Protože jde poměrně o velkou řadu závažných činitelů, je snaha pokud možno řadu těchto činitelů vyloučit a dosáhnout tak určitých závislostí /např. MPR - teplota lití/, které by charakterizovaly krystalizaci litiny.

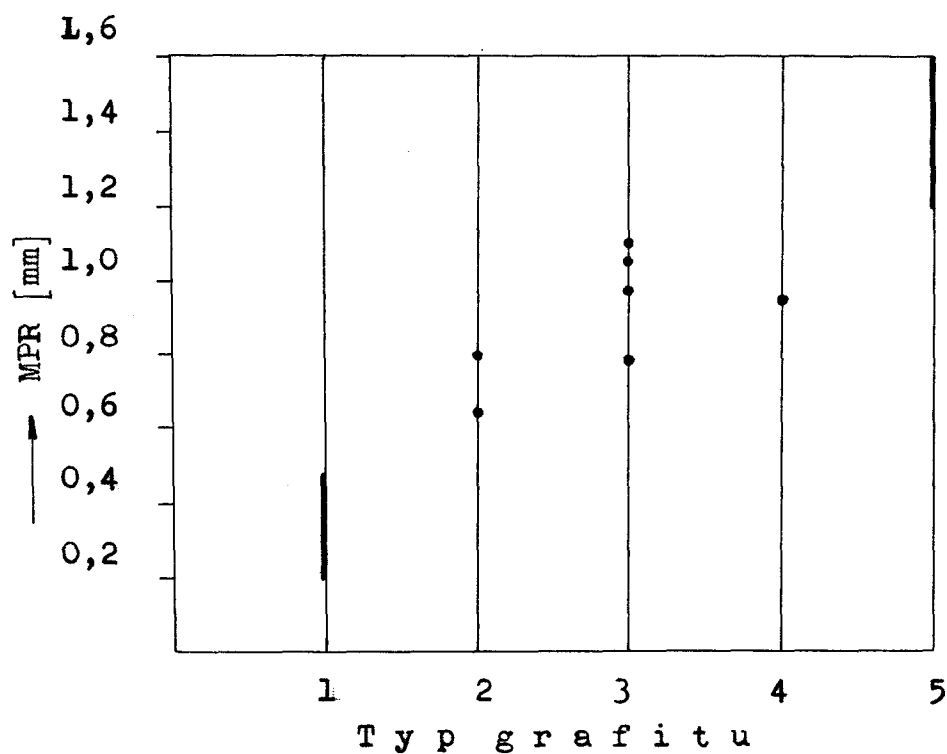
Protože volné lineární dilatace jsou výsledkem objemových změn jež při tuhnutí probíhají, můžeme z hodnoty předsmršťovacího roztážení soudit na:

- a/ výskyt staženin v odlitcích
- b/ celkové smrštění odlévané litiny
- c/ tvar vyloučeného grafitu

Pro bod a/ je do současnosti známo, že odlévání šedé nebo tvárné litiny do sirových forem je spojeno s určitým nebezpečím výskytu staženin v tepelných uzlech. Pevná forma nebo dolévání v přípravcích může výskyt staženin snížit.

Pro bod b/ je dosud známo, že celkové smrštění je dáno kromě jiného i hodnotou maximálního přesmršťovacího roztážení. Rozdíl hodnot MPR v lineárních dilatačních křivkách dvou součástí se projeví i rozdílem konečného rozměru těchto součástí.

Nejdůležitější vliv na hodnotu předsmršťovacího roztážení má bod c/. Na obr. 4 je vidět závislost předsmršťovacího roztážení na tvar vyloučeného grafitu při tuhnutí litiny.



Obr. 4 Závislost maximálního předsmršťovacího roztažení na tvaru vyloučeného grafitu v litině

K číslům v obr. 4 náleží tvar vyloučeného grafitu takto:

- lupínkový grafit = 1
- lupínkový /zrnitý grafit = 2
- zrnitý /lupínkový grafit = 3
- červikovitý grafit = 4
- zrnitý grafit = 5

Z obr. 4 je zřejmé, že největší MPR je u litiny tvárné. Vermikulární litina může mít vhodné maximální předsmršťovací roztažení jako litina s grafitem zrnitý /lupínkový. To je z hlediska zkoumané kontrolní metody jev nepříznivý, protože může ohrozit její spolehlivost.

Časový úsek B v němž, probíhá eutektoidní přeměna, která je rovněž spojena s objemovými změnami a tím i lineárními změnami, může svou hodnotou roztažení také do jisté míry sloužit jako měřítko ke zjišťování kvality na tavené litiny. Lineární změny při těchto nízkých teplotách jsou tím větší, čím více austenitu transformuje na ferit. To závisí na chemickém složení a podmínkách ochlazování při eutektoidní přeměně. Z hlediska chemického složení je to především obsah C, Si, Mn i P.

Je možno předpokládat, že tvar vyloučeného grafitu bude v nějaké závislosti s tzv. předsmršťovací dobou /PB/, což je doba, která uplyne od počátku lineární dilatace vzorku k hodnotě MPR. /o problematice předsmršťovací doby nebyla v dostupné literatuře žádná informace/.

3.1.2 Vliv základních metalurgických parametrů výroby na lineární změny rozměrů odlitků ze šedé litiny/2/

Dosavadní provedené zkoušky zaznamenaly závislosti MPR na stupni eutektičnosti a na poměru obsahu C/Si v litině.

Získané závislosti u neočkované litiny lze charakterizovat takto:

a/ při poměru obsahu C/Si cca 0,5 - zvyšováním stupně eutektičnosti se snižuje MPR při lití do bentonitové formy a toto je tím větší čím větší je teplota lití. Při lití do CT formy se se zvyšujícím stupněm eutektičnosti zvyšuje MPR.

- b/ při poměru C/Si cca 2,0 - zvyšováním stupně eutektičnosti se MPR prakticky nemění při lití do bentonitových forem a rovněž vliv teploty lití není výrazný. Při lití do CT formy se předsmršťovací roztažení zvyšuje se zvyšováním stupně eutektičnosti a je také větší při rostoucí lici teplotě.
- c/ nezávisle na poměru C/Si a stupně eutektičnosti zvyšování teploty lití zvyšuje MPR.
- d/ nezávisle na poměru C/Si a stupni eutektičnosti se při přechodu z bentonitové formy na CT formy MPR snížilo /i když existují malé výjimky/.

Získané závislosti u očkované litiny lze charakterizovat takto:

- a/ při poměru obsahu C/Si cca 0,5 - při porovnání s neočkovanou litinou, očkování zvětšuje MPR v celém rozsahu stupně eutektičnosti. Toto zvýšení je tím výraznější čím nižší je stupeň eutektičnosti.

Zvyšování stupně eutektičnosti zmenšuje MPR při lití do bentonitové i CT formy.

Zvyšování teploty lití zvyšuje MPR při lití do bentonitové i CT formy.

Použití CT formy místo bentonitové snižuje MPR nezávisle na stupni eutektičnosti.

- b/ při poměru obsahu C/Si cca 2,0 - při porovnání s neočkovanou litinou očkování zvyšuje MPR, zejména u litiny s nízkým stupněm eutektičnosti lité do CT formy.

Zvyšování stupně eutektičnosti při odlévání do bentonitové i CT formy zvětšuje MPR. Zvětšení MPR při lití do bentonitové formy však není výrazné.

Zvyšování teploty lití u bentonitové i CT formy zvyšuje MPR.

c/ nezávisle na stupni eutektičnosti použití CT formy místo bentonitové, MPR zmenšuje.

Vliv fosforu je shrnut v několika následujících bodech:

a/ u litiny s nízkým stupněm eutektičnosti očkované i neočkované, zvyšování obsahu fosforu zvyšuje MPR.

b/ u litiny s vysokým stupněm eutektičnosti /u litiny eutektické/ zvyšování obsahu fosforu zmenšuje MPR u litiny neočkované a u litiny očkované zvyšování obsahu fosforu roztažení zvětšuje.

c/ v celém rozsahu obsahů fosforu a to jak u litiny neočkované tak u litiny očkované zvyšování teploty lití MPR zvětšuje.

3.1.3 Možnosti omezení rozptylu metalurgických parametrů výroby litiny, které ovlivňují průběh lineární dilatační křivky, ve slévárně AZNP Mladá Boleslav

Protože použitá metoda má sloužit k vyhodnocení tvaru vylučovaného grafitu, lze pro hodnocení natavené litiny využít MPR či PD /kap. 3.1.1 /, které by sloužily jako rozhodující faktory pro určování typu vyloučeného grafitu.

MPR i PD jsou závislé na těchto hlavních faktorech výroby litiny /2/:

- a/ chemické složení litiny
- b/ teplota lití a teplota přehřátí taveniny
- c/ rychlost ochlazování

Aby zkoumaná kontrolní metoda měla dostatečnou přesnost a spolehlivost je třeba, aby MPR nebo PD byly závislé jenom na jednom faktoru, který zároveň ovlivňuje i tvar vyloučeného grafitu. Za tento faktor je nutné považovat měrné množství modifikátoru /množství modifikátoru připadající na hmotnostní jednotku taveniny/. Dosažení toho, aby jeden faktor byl proměnlivý a ostatní byly konstantní je v praxi nemožné. V provozních podmínkách slévárny musíme vždy počítat s jistými nepřesnostmi. Ty je ovšem nutné co nejvíce zmenšit. Kdyby tomu tak nebylo, bylo by MPR /PD/ ovlivňováno nejen měrným množstvím modifikátoru, ale i současně se měnícím chemickým složením teplotou lití, teplotou přehřátí i rychlostí ochlazování. T o to se musí zákonitě projevit na spolehlivosti dané kontrolní metody, jelikož by mohl pro dvě různé taveniny lišící se právě v těchto faktorech, nastat případ, že by PR /PD/ byla v obou případech shodná nebo velice podobná, ale tvar vyloučeného grafitu by zhodný nebyl.

Omezení působení pro nás škodlivých faktorů napomáhá již samotný výrobní proces ve slévárně AZNP Mladé Boleslav i požadavky na použití zkoumané kontrolní metody.

Fakt, že měření lineárních dilatačních křivek vzorku, sloužící pro vyhodnocení, probíhá vždy ve stejné zkušební

formě, nám vlastně umožňuje říci, že vliv ochlazování je omezen na minimum. Odvod tepla z taveniny probíhá při každém měření přibližně stejně. Odchytky vzniklé např. měnicí se teplotou okolí, rozdílnými vlastnostmi formovacích směsí /toto pomáhají odstranit poměrně dokonalé přípravné formovacích směsí/ i zhutněním formovacích směsí v rámech, musíme uvažovat jako zanedbatelné.

Situace se poněkud komplikuje při omezování vlivu chemického složení taveniny. Snad ještě nebyly vypracovány práce, které by se zabývaly problematikou vlivu chemického složení na průběh lineárních dilatačních křivek vermikulární litiny. Jelikož ani nebylo možné provést měření, ze kterých by vyplynul vliv chemického složení taveniny na průběh lineárních dilatačních křivek, z důvodu jak časového, tak i organizačního zajištění v AZNP Mladá Boleslav, není snadné odhadnout, zda tolerance chemického složení taveniny, dosahovaná při výrobě litin ve slévárně AZNP Mladá Boleslav, je dostačující k tomu, aby se tento vliv omezil dostatečně. Co se týče způsobu zjišťování chemického složení taveniny v dané slévárně, je prováděno na kvantometru, který zaručuje jeho dostatečně přesné zjištění, jenž je pro zkoumanou kontrolní metodu nutné. Odpověď na otázku, jaký mají vliv dosahované odchytky v chemickém složení taveniny na spolehlivost a použitelnost dané kontrolní metody, by měla dát i tato diplomová práce.

K vlivu teploty lití a teploty přehřátí lze říci, že v současné době zkoušejí v AZNP Mladá Boleslav uvést do

praxe měření teploty před vyléváním pecí a také měření teploty před rozvozem taveniny k formám. /bezkontaktní měření teplot/ Teplotu při vylévání z pece lze považovat za teplotu přehřátí dané taveniny a teplotu při rozvozu kovu k formám za teplotu licí. Jelikož lze pod kontrolou udržet i teplotu, při které modifikujeme danou taveninu, můžeme konstatovat, že i vliv teplotních faktorů je omezen na minimum.

3.1.4 Princip použité kontrolní metody

Pokud budou v dostatečné míře omezeny faktory, uvedené v předešlé kapitole, pak se MPR stane funkcí měrného množství modifikátoru. /možná je také závislost PD na měrném množství modifikátoru, jelikož je PD závislé na MPR/Jelikož i tvar vyloučeného grafitu je závislý na měrném množství modifikátoru, můžeme tvrdit, že výsledný tvar vyloučeného grafitu je závislý na MPR /PD/.

Pro stanovení této závislosti je nutné provést určitý počet měření z nichž získáme lineární dilatační křivky pro různý stupeň modifikace, přičemž množství a tvar vyloučeného grafitu určíme pod mikroskopem.

Pro samotné kontrolní účely, však stačí určit dvě tzv. mezní lineární dilatační křivky, respektivě mezní velikosti MPR /PD/. Tyto křivky určují procentuální množství vyloučeného grafitu různého tvaru, při kterých by ještě litina měla vlastnosti, které jsou u ní požadovány z hlediska použití daného odlitku.

Po získání dvou mezních MPR /PD/, bychom už mohli konsta-

tovat, že pokud naměříme velikost MPR /PD/ takovou, která bude ležet mezi mezními velikostmi MPR /PD/, tak získáme litinu s požadovaným procentuálním množstvím různých typů grafitu.

Na tomto základě můžeme již stanovit samotný průběh zkoumané kontrolní metody. Lze ho rozdělit do následujících bodů:

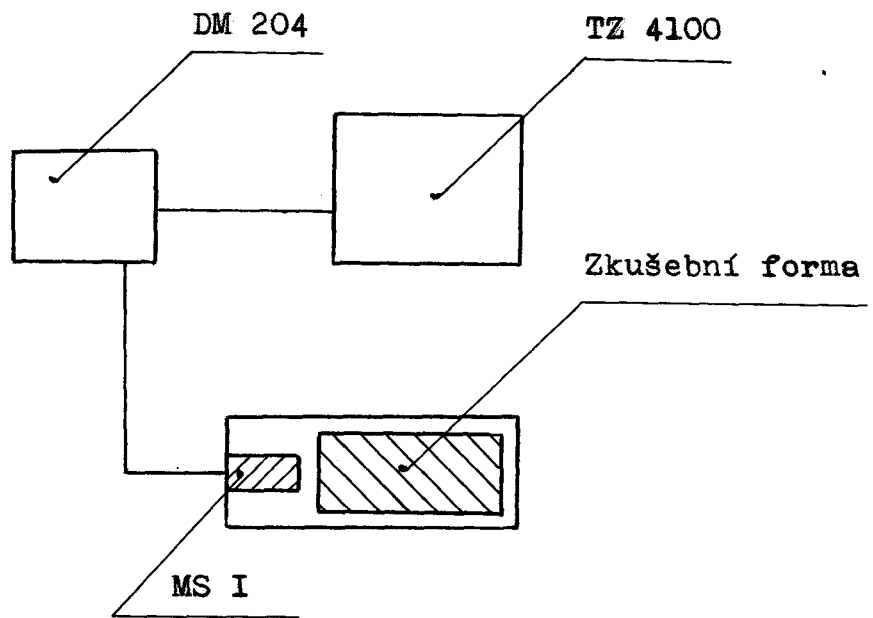
- a/ zjištění MPR /PD/ vzorku natavené litiny
- b/ porovnání s mezními hodnotami MPR /PD/
- c/ když zjištěná velikost MPR /PD/ bude ležet uvnitř hodnot mezních MPR /PD/, tak můžeme povolit odlévání roz-tavené litiny. Při opačném výsledku je nutné provést úpravu taveniny a pak provést kontrolu znovu.

3.2 Zařízení pro zjišťování lineárních dilatačních křivek litin /3/

3.2.1 Přístroje, které obsahuje dané měřicí zařízení a jejich zapojení při měření

Zařízení obsahuje tyto přístroje:

- a/ přístroj k měření dilatací litin v průběhu tuhnutí
DM 204
- b/ indukční snímač MS I
- c/ tranzistorový zapisovač TZ 4100



Obr. 5 Schematické znázornění zapojení přístrojů při měření



Obr. 6 Zapojení přístrojů při měření

3.2.2 Popis jednotlivých měřících přístrojů a zkušební formy

3.2.2.1 Slévárenský dilatometr DM 204

Přístroj sestává z těchto dílčích obvodů :

- a/ napájecí zdroje
- b/ stabilizovaný zdroj pro napájení indukčních vysílačů
- c/ klopný obvod pro ovládání pomocného relé, přepínajícího výstupní napětí obou indukčních vysílačů na jeden registrační přístroj /tzv. meandrový zápis/.
- d/ tlačítková souprava pro volbu propojení indukčních vysílačů

Přístroj poskytuje možnosti zápisu na :

- a/ jeden zapisovač
 - součet výstupních hodnot
 - rozdíl výstupních hodnot
 - meandrový zápis obou výstupních hodnot

- b/ dva zapisovače

Měření dilatací můžeme provádět :

- a/ jedním indukčním snímačem
- b/ dvěma indukčními snímači

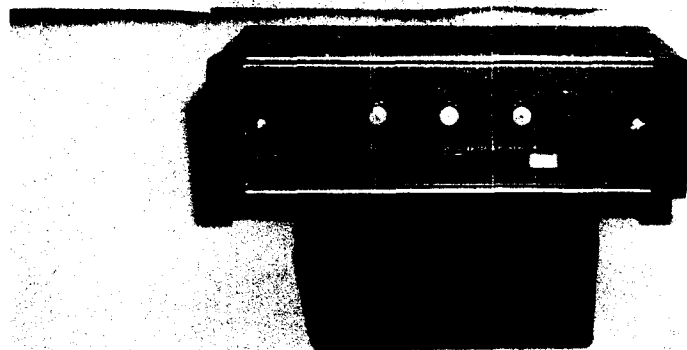
Použitelné rozsahy měření dilatací :

- a/ - 2,0 až + 2,0 mm
- b/ 0,0 až + 4,0 mm

Z dalších technických údajů lze uvést :

- příkon 6 VA - 220 V/ 50 Hz

- rozměry 235 x 80 x 220 mm
- hmotnost 2 kg



Obr. 7 Slévárenský dilatometr DM 204

Vlastní přístroj DM 204 je vestavěn do universální stavebnicové přístrojové skříně, která je velmi vhodná pro průmyslové použití. Užití tohoto systému předpokládá řešení přístroje metodou funkčních celků tzv. panelových jednotek. Tato metoda má značné výhody konstrukční a výrobní. Umožňuje širokou unifikaci funkčních celků, výměnost jednotek a usnadňuje opravy.

Základní kostra skříně je tvořena dvěma taženými hliníkovými profily, bočnicemi a příčnými lištami. Na tuto kostru jsou upevněny všechny potřebné detaily, které jsou zhotoveny buď z plastických hmot nebo z plechů ze slitin hliníků.

3.2.2.2 Indukční snímač MS I

Indukční snímač typu MS I je napájen z vysoce stabilizovaného zdroje stejnosměrného napětí, které je přiváděno na tranzistorový střídač. Vzniklým střídavým napětím je napájen válcový indukční snímač, který pracuje v diferenciálním zapojení. Uvnitř indukčního snímače je umístěno pohyblivé feromagnetické jádro, na jehož poloze je závislá hodnota výstupního napětí. Při vychýlení jádra na jednu nebo druhou stranu od nulové polohy se mění hodnota výstupního napětí sekundárního vinutí. Toto střídavé napětí se přivádí na vstup dvoutranzistorového jednofázového diskriminátoru, který napětí fázově citlivě usměrní. Po odfiltrování zbylé střídavé složky z výstupního napětí je paralelně k výstupu vysílače připojen filtrační kondenzátor. Na příslušném zatěžovacím odporu na výstupu vysílače se tedy objeví stejnosměrné napětí, jehož velikost je přímo úměrná velikosti výchylky feromagnetického jádra a jeho polarita smyslu výchylky.

Šroubové táhlo jádra je opatřeno kovovým terčíkem s nalepenými feritovými magnety pro uchycení mechanického sklíčidla. V něm je upevněna keramická tyčinka OXAL o rozměrech $\emptyset 5 \times 100$ mm. Tímto konstrukčním řešením jsou přenášeny dilatační změny měřeného vzorku na vlastní snímač.

Proti poškození je snímač chráněn plechovým krytem.

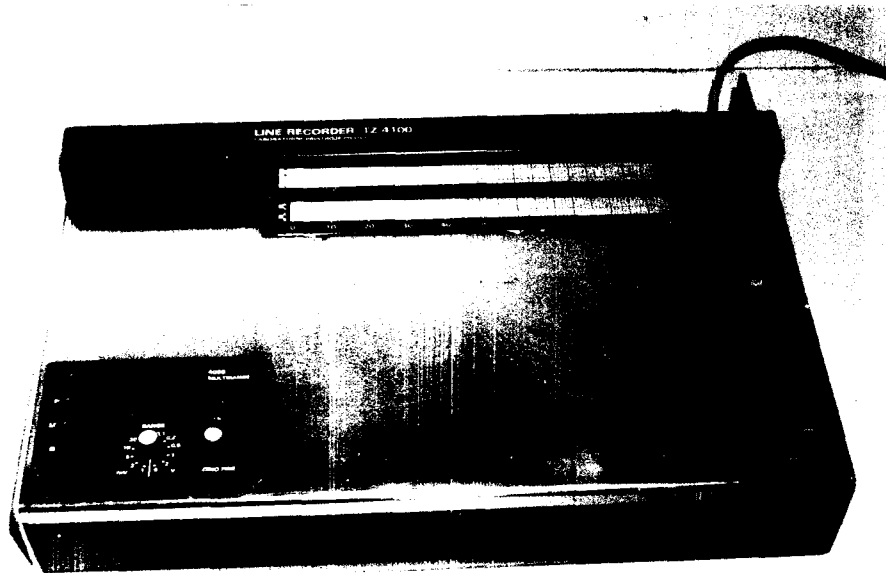
3.2.2.3 Zapisovací přístroj TZ 4100

K přístroji DM 204 je nutno připojit k provedení zápisu naměřených hodnot liniový kompenzační zapisovač, který

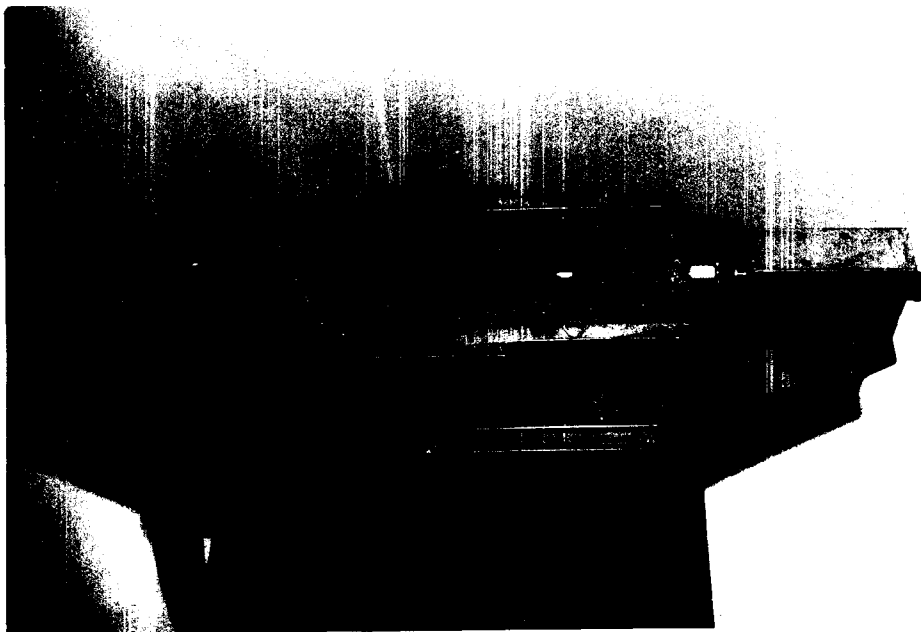
není součástí příslušenství.

Při měření lineárních dilatačních křivek, které byly prováděny v této diplomové práci, byl použit tranzistorový zapisovač TZ 4100, který umožňuje:

- plynulou změnu nulové polohy pisátka
- zaznamenat pouze jednu dilatační křivku /není možný meandrový zápis/
- měnit rychlost posuvu záznamového listu



Obr. 8 Zapisovací přístroj TZ 4100



Obr. 9 Zkušební forma a indukční snímač MS I



Obr. 10 Zkušební vzorek se zelitým kalíkem

3.2.2.4 Zkušební forma

Zkušební forma je nedělená, otevřená, bez vtokové soustavy, ručně formovaná. Vzniklá vyformovaná dutina, pro odlití zkusebního vzorku, má tvar hranolu o rozměrech : 25 x 25 x 200 /mm/. V obou menších stěnách hranolu vzniknou po dokončení formy otvory, sloužící pro vedení pohyblivých korundových tyčinek snímajících dilataci vzorku nebo pro upevnění pevného kolíku, který umožňuje pouze jednostranou dilataci vzorku.

Při výrobě zkušebních forem bylo nutné dodržet pokud možno stejné podmínky /složení a upěchování formovací směsi/, aby bylo dosaženo jejich stejných vlastností /tepelná vodivost, tuhast/, což bylo potřebné z hlediska možnosti porovnávat zjištěné výsledky měření.

Formovací směs připravovala úpravna formovací směsi a tudíž bylo vždy zaručeno její přibližně stejné složení. /jiné složení formovací směsi bylo u zkoušek provedených ve SVÚM v Brně/. Z důvodu stejného upěchování formovací směsi prováděl výrobu zkušební formy pokud možno jeden pracovník.

3.2.3 Funkce zařízení

Činnost zařízení vyplývá z obr. 5. Indukční snímač převede změnu rozměru vzorku na elektrické napětí. Toto napětí zpracuje slévárenský dilatometr podle nastaveného režimu /kap. 3.2.2.1/ a vyšle napětí do zapisovacího přístroje, který toto napětí převede na výchylku zapisovače, jenž je

v určitém poměru ke skutečné změně rozměru vzorku /podle nastavené citlivosti/.

3.3 Postup při měření

Postup lze rozdělit do následujících bodů:

- a/ správné zapojení jednotlivých přístrojů a nastavení jejich parametrů /3/
- b/ zařízení uvedeme do provozu
- c/ nastavení nulové hodnoty pisátka /šedesátý dílek zapisovacího listu, což nejvíce vyhovuje pro měření dilatačních křivek litin /3//
- d/ zapnutí posuvu záznamového listu
- e/ nalití taveniny do zkušební formy
- f/ po zaznamenání lineární dilatační křivky vypneme zapisovací přístroj a po výměně zkušební formy můžeme provést nové měření od bodu c/

3.4 Postup při vyhodnocení lineárních dilatačních křivek ze záznamového listu a procentuálního množství grafitu

Ze samotné křivky můžeme vyhodnotit čas uběhnutý od počátku měření nebo čas, za který proběhla určitá změna velikosti roztažení či smrštění vzorku. Dále je možno určit i velikost změny rozměru vzorku v daném čase.

Podstatným pro vyhodnocování uběhnutého času je nastavená rychlost posuvu záznamového listu V /mm \cdot s⁻¹/.

Pokud ji známe můžeme stanovit čas t /s/, za který se zázna-

mový list posunul o vzdálenost L /mm/ ze vztahu:

$$t = \frac{L}{V}$$

Pro vyhodnocení smrštění či roztažení vzorku je třeba znát maximální změnu rozměru vtorku, kterou je možné zanést na danou šířku záznamového listu. Jelikož je záznamový list rozdělen na šířku na určitý počet dílků, můžeme stanovit změnu rozměru vzorku připadající na jeden dílek. To provedeme tak, že vydělíme hodnotu maximální možné změny vzorku počtem dílků, na které je záznamový list na šířku rozdělen. Při zjišťování rozměrové změny vzorku v určitém čase, pak stačí spočítat dílky mezi nulovou polohou písátka a bodem křivky v daném čase a ty vynásobit hodnotou změny rozměru vzorku připadající na jeden dílek.

Postup při vyhodnocování procentuálního množství vy-
loučeného grafitu:

- na matnici mikroskopu /100 x zvětšeno/ se spočítají všechny grafitové částice / V /
- spočítají se grafitové částice daného tvaru / M /
- procentuální množství grafitu daného tvaru $= \frac{M}{V} \cdot 100$

Když docházelo k větším výkyvům procentuálního množství grafitu daného tvaru v různých místech výbrusu, byl použit odhad.

3.5 Naměření a vyhodnocení skupiny lineárních dilatačních křivek

Pro tuto diplomovou práci jsou k dispozici tři jednotlivé série měření. Dvě série měření byly provedeny v AZNP Mladá Boleslav, třetí ve SVUM Brno.

3.5.1 Podmínky při měření

Měření, která byla uskutečněna v Mladé Boleslavi, probíhala zhruba v podmínkách, při kterých by měla fungovat zkoumaná kontrolní metoda. Měřicí přístroje byly instalovány blízko licího pole formovací linky, což bylo nutné z hlediska dopravy tekutého kovu ke zkušební formě. Tekutý kov se odebíral z licí pánve některého slévače.

Měření uskutečněná ve SVUM Brno, nebylo na rozdíl od již popsaných dvou sérií měření provedeno v pravých provozních podmínkách. Měření byla uskutečněna v malé slévárně, která je součástí tohoto výzkumného ústavu a slouží k experimentálnímu ověřování teoretických poznatků či zkoumání vlastností nových materiálů.

U všech provedených měření bylo použito optické zjišťování teploty taveniny. Chemické složení jednotlivých taveb bylo zjišťováno na kvantometru, či-li s dostatečnou přesností. Za určitou nevýhodu je možno pokládat použití různých modifikátorů, což může mít za následek menší možnost porovnávání dosažených výsledků.

3.5.2 Použité zapojení a nastavené parametry měřících přístrojů

Použité zapojení:

Pro všechna měření bylo použito zapojení s jedním indukčním snímačem.

Nastavené parametry měřících přístrojů:

Rychlost posuvu záznamového listu - 0,25 mm /s

3.5.3 Vyhodnocení naměřených lineárních dilatačních křivek

3.5.3.1 Vyhodnocení první provedené série měření uskutečněné ve SVUM Brno

Byly provedeny dvě tavby různého chemického složení. Z každé tavby bylo uskutečněno pět dílčích taveb, u kterých byl měněn stupeň modifikace, čímž se mělo dosáhnout různého tvaru grafitu ve výsledné litině. Pět měření z první tavby je označeno S-1 až S-5, u druhé tavby S-11 až S-15.

U každé dílčí tavby byly zjištěny tyto údaje: teplota v peci /TP/, teplota litiny před /TŘM/ a po /TOM/ modifikaci, teplota těsně před začátkem odlévání zkusebního vzorku /TL/.

V tabulce I jsou uvedeny hodnoty TP, TŘM, TOM, TL pro první tavbu /pro druhou tavbu byly dané hodnoty prakticky shodné/.

Tab. I charakteristické teploty pro první tavbu

č.dílčí tavby	TP / °C/	TŘM / °C/	TOM / °C/	TL / °C/
S-1	1420	1390	1320	1290
S-2	1430	1390	1310	1290
S-3	1430	1390	1310	1290
S-4	1430	1390	1300	1290
S-5	1430	1390	1320	1290

Tab. II Modifikační a krycí přísady u dílčích taveb

číslo díleční tavby	VL63-0	FeSi75	Ce MM	litin. třísky	ocel. plech	druh litiny
	množství v očkovací pánvi /%/					
S-1 a S-11	1,8	0,5	-	0,8	0,5	tvárná
S-2 a S-12	0,6	0,6	0,055	0,5	0,3	šedá
S-3	0,6	0,6	0,111	0,5	0,3	verm.
S-13	0,6	0,6	0,123	0,5	0,3	verm.
S-4	0,6	0,6	0,133	0,5	0,3	verm.
S-14	0,6	0,6	0,163	0,5	0,3	verm.
S-5	0,6	0,6	0,153	0,5	0,3	verm.
S-15	0,6	0,6	0,208	0,5	0,3	verm.

Použitý ocelový plech měl následující chemické složení /%/:

S	C	Si	Mn	P
0,009	0,07	0,04	0,37	0,02

Tab. III Výsledky získané z první série měření

číslo díleč tavby	MPR /mm/	MPR /%/	PD /s/	% GG	% LG	% ČG
S-1	0,86	0,43	104	100	-	-
S-2	0,40	0,20	112	5	95	-
S-3	0,40	0,20	72	40	60	-
S-4	0,54	0,27	88	95	-	5
S-5	0,56	0,28	112	50	50	-
S-11	0,78	0,39	100	100	-	-
S-12	0,50	0,25	120	30	70	-
S-13	0,48	0,24	112	95	-	5
S-14	0,30	0,15	68	100	-	-
S-15	0,60	0,30	100	90	10	-

3.5.3.2 Vyhodnocení druhé série měření

Byla provedena jedna tavba a z ní různou modifikací získány čtyři dílčí tavby, označené P-1 až P-4. Pro jednotlivé dílčí tavby jsou známy tyto údaje:

Tavba P-1: 1,41 % /váhových/ modifikátoru VL - 63 M

0,98 % třísek

0,49 % FeSi 75

teplota lití - 1300 až 1200°C

Tavba P-2: 1,00 % modifikátoru CG 559 MgTi /fy GIMEX/

1,00 % třísek

0,50 % FeSi 75

teplota lití - 1320 až 1280°C

Tavba P-3: 0,88 % modifikátoru CG 559 MgTi

1,00 % třísek

0,54 % FeSi 75

teplota lití - 1320 až 1290°C

Tavba F-4: 1,33 % modifikátoru CG 559 MgTi

1,63 % třísek

0,76 % FeSi 75

teplota lití - 1310 až 1290°C

Očkování v lici pávni grafitizační - 0,3 % superseed

Teplota v elektrické peci při očkování - 1420°C

Tab. IV Chemické složení po modifikaci

prvek	P-1	P-2	P-3	P-4
C	3,67	3,65	3,63	3,50
Si	2,69	2,66	2,61	2,97
Mn	0,34	0,34	0,34	0,33
Cr	0,040	0,038	0,038	0,038
P	0,037	0,039	0,036	0,036
S	0,021	0,019	0,023	0,019
Ti	0,012	0,093	0,094	0,120
Mg	0,046	0,034	0,027	0,033
Al	0,022	0,019	0,018	0,025
Cu	0,039	0,038	0,036	0,029

Chemické složení na tavírně /%/:

C	Si	Mn	Cr	P
3,91	1,57	0,32	0,036	0,037
S	Al	Mg	Ti	Cu
0,026	0,010	0,0027	0,011	0,039

Tab. V Výsledky získané z druhé série měření

číslo díleč tavby	MPR /mm/	MPR /%/	PD /s/	% GG	% LG	% ČG
P-1	0,52	0,26	90	75	-	25
P-2	0,64	0,32	104	5	-	95
P-3 ⁺⁺	0,28	0,14	104	-	10	-
P-4	0,48	0,24	108	5	-	95

⁺⁺ 90 % grafitu vyloučeno jako mezidendritický

3.5.3.3 Vyhodnocení třetí série měření

Byla provedena jedna tavba, z které bylo různou modifikací získáno pět dílčích taveb, označených B-1 až B-5.

Pro jednotlivé dílčí tavby jsou známy tyto údaje:

Tavba B-1: 1,12 % modifikátoru CG 559 - MgTi

1,05 % třísek

0,60 % FeSi 75

teplota lití - 1320°C

Tavba B-2: 1,24 % modifikátoru CG 559 - MgTi

1,00 % třísek

0,60 % FeSi 75

teplota lití - 1290°C

Tavba B-3: 1,30 % modifikátoru VL 63 S

1,13 % třísek

0,60 % FeSi 75

teplota lití - 1260°C

Tavba B-4: 1,10 % modifikátoru VL 63 S

1,00 % třísek

0,60 % FeSi 75

teplota lití - 1240°C

Tavba B-5: 1,10 % modifikátoru VL 63 S + Zr

1,00 % třísek

0,60 % FeSi 75

teplota lití - 1320°C

Tab. VI Chemické složení po modifikaci

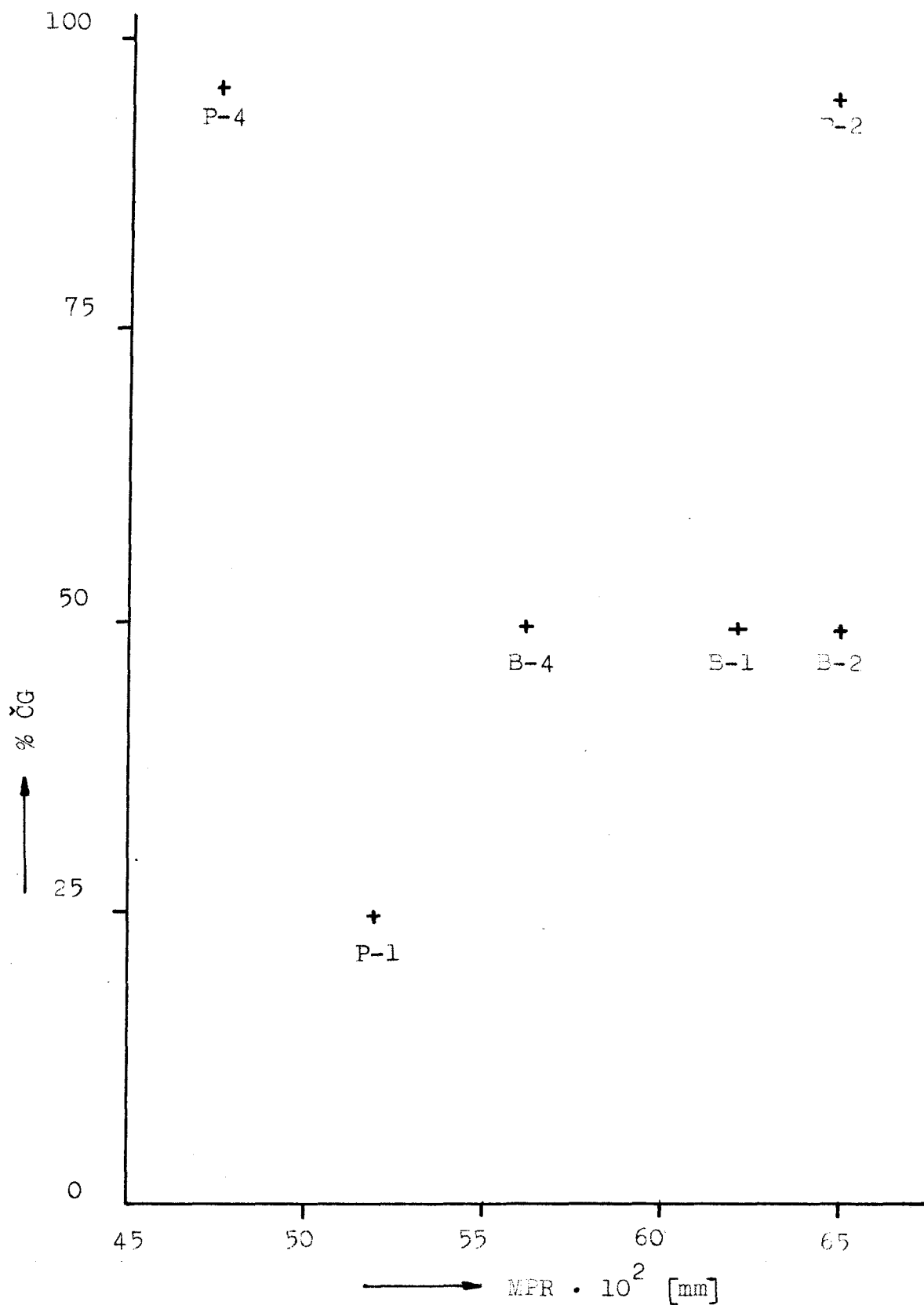
prvek	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
C	3,65	3,69	3,57	3,58	3,54
Si	3,41	3,30	3,36	3,29	3,32
Mn	0,16	0,16	0,38	0,38	0,40
Cr	0,050	0,051	0,047	0,047	0,048
P	0,020	0,021	0,036	0,036	0,036
S	0,010	0,007	0,013	0,018	0,021
Ti	0,115	0,120	0,023	0,014	0,019
Mg	0,020	0,030	0,030	0,030	0,030
Al	0,028	0,032	0,030	0,026	0,025
Cu	0,028	0,030	0,040	0,040	0,041

Chemické složení na tavírně %/:

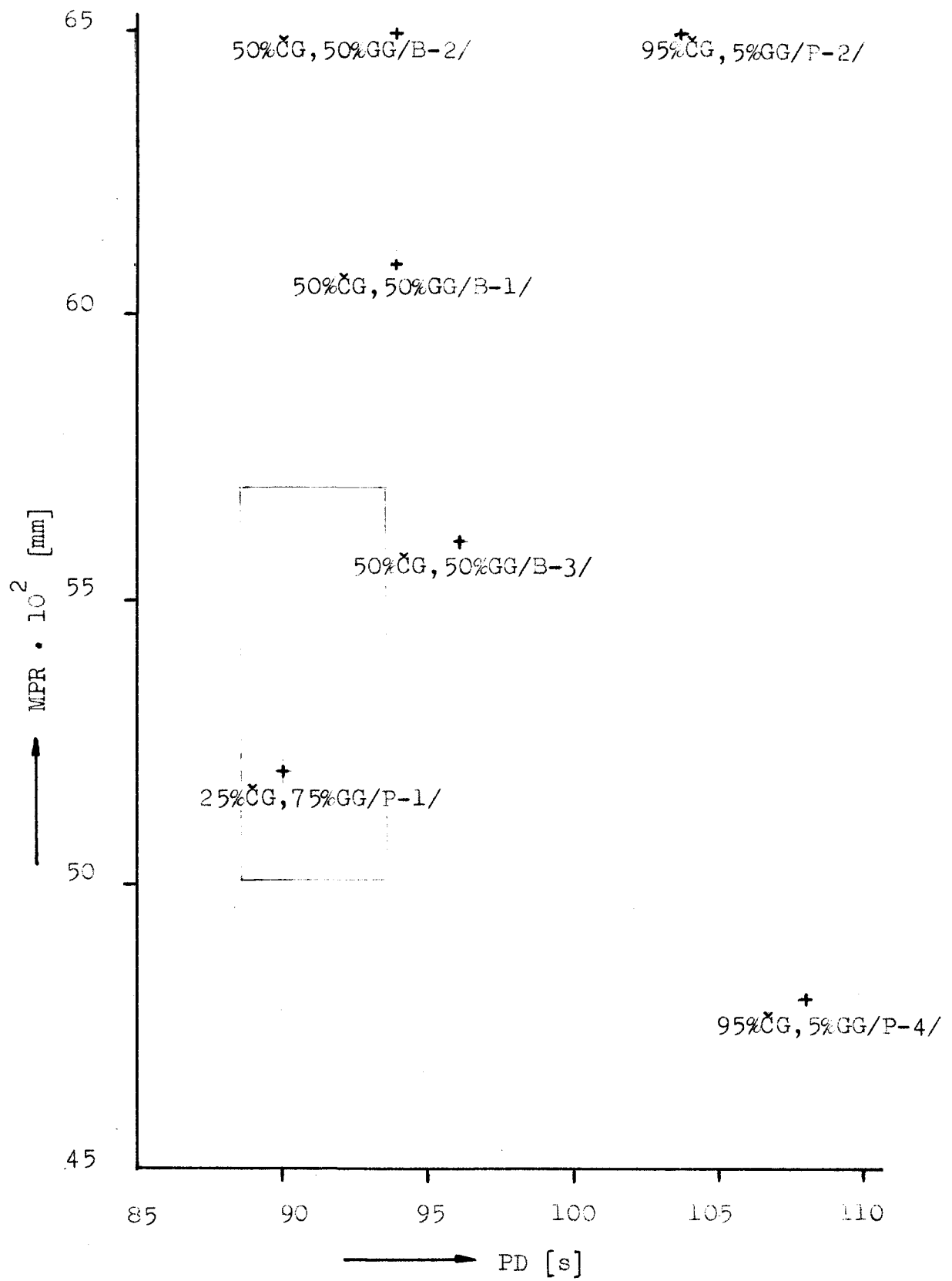
C	Si	Mn	Cr	P
3,89	2,16	0,14	0,049	0,018
S	Al	Mg	Ti	Cu
0,13	0,020	0,001	0,027	0,030

Tab. VII Výsledky získané z třetí série měření

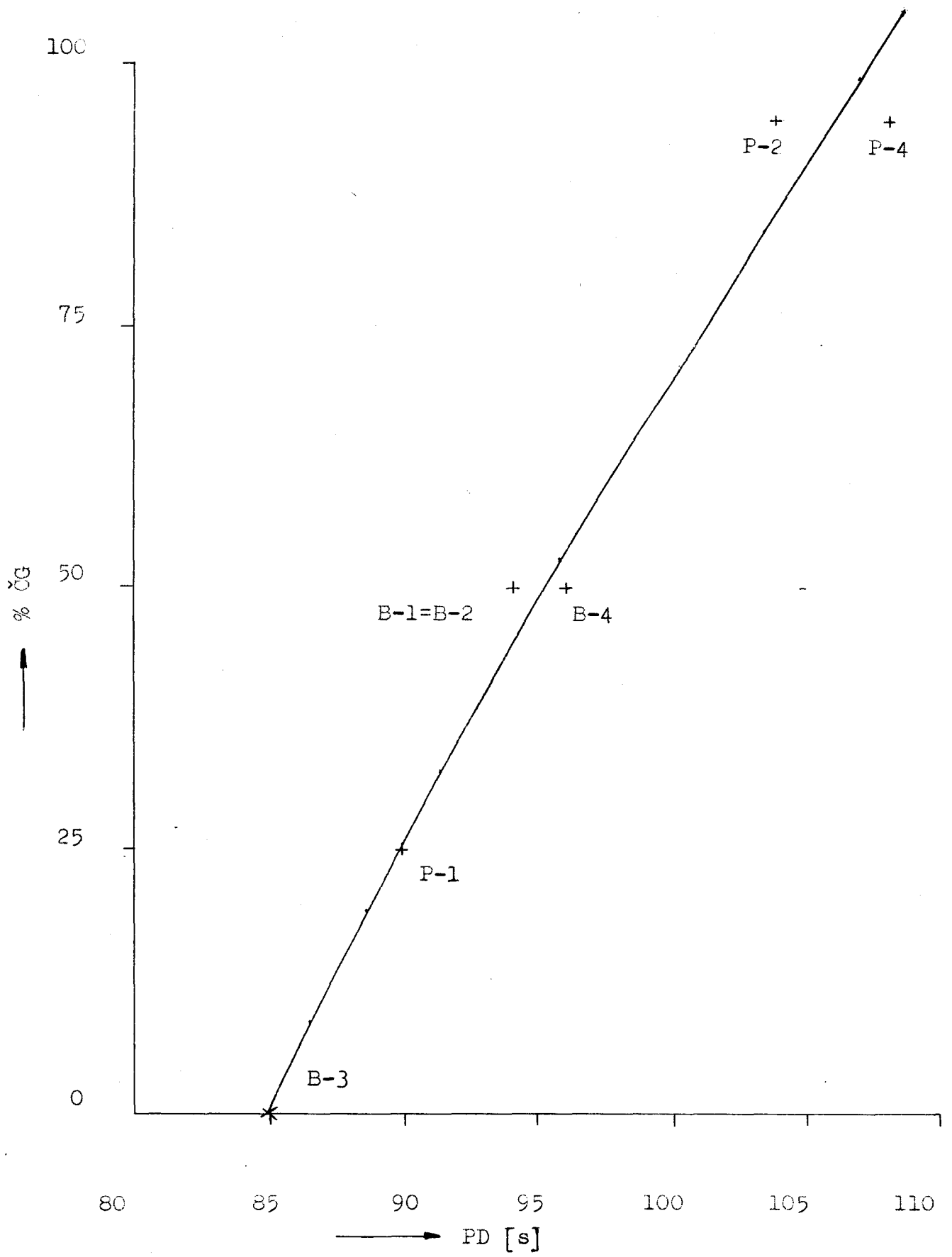
číslo díleží tavby	MPR /mm/	MPR /‰/	PD /s/	% GG	% LG	% ČG
B-1	0,61	0,305	94	50	-	50
B-2	0,64	0,32	94	50	-	50
B-3	0,60	0,30	85	100	-	-
B-4	0,56	0,28	96	50	-	50
B-5	0,48	0,24	120	20	20	60



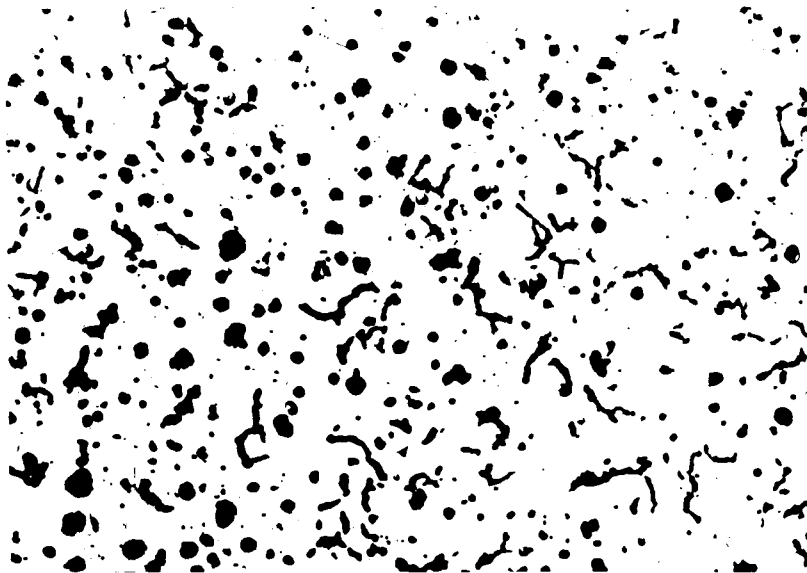
Obr. 11 Vztah mezi MPR a %ČG /zbytek %GG/



Obr. 12 Vztah mezi MPR, PD a %ČG, %GG



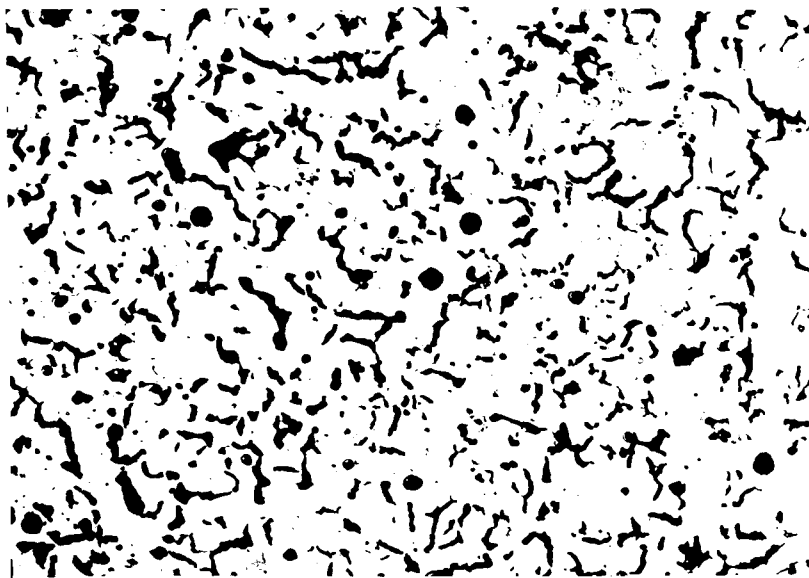
Obr. 13 Závislost %ČG = f/PD/ /zbytek %GG/



Neleptáno

100 x

Obr. 14 Vyloučený grafit z tavby B-2
/50 % CG, 50 % GG/



Neleptáno

100 x

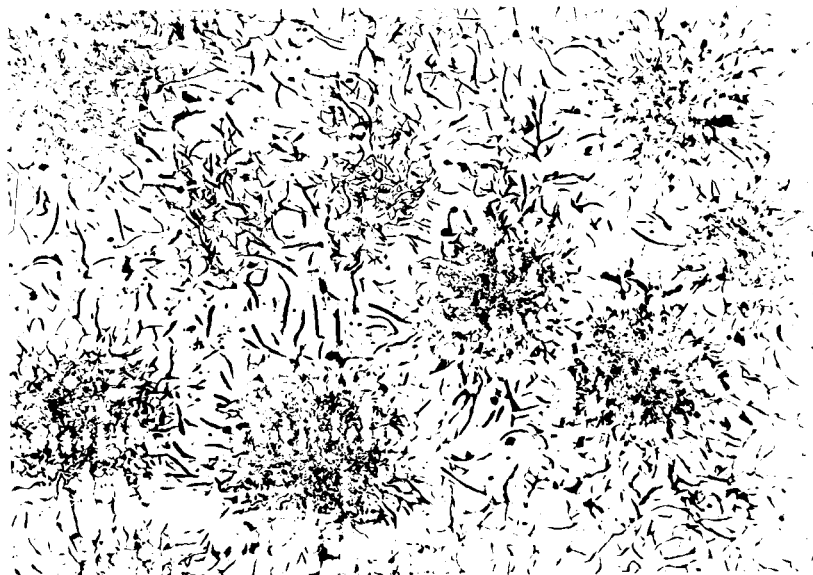
Obr. 15 Vyloučený grafit z tavby P-4
/95 % CG, 5 % GG/



Neleptáno

100 x

Obr. 16 Vyloučený grafit z tavby S-4
/5 % CG, 95 % GG/



Neleptáno

100 x

Obr. 17 Vyloučený grafit z tavby P-3
/10 % LG, 90 % mezidendritický/

4 Diskuse získaných výsledků

Naměřené hodnoty poskytují důležité poznatky, které jsou potřebné pro určení dalšího směru výzkumu dané kontrolní metody.

Z měřených veličin tj. MPR, PD lze sestavit tři závislosti pro procentuální množství různého typu grafitu v litině:

$$\% G = f/MPR/$$

$$\% G = f/PD/$$

$$\% G = f/MPR,PD/$$

Body, které byly vyneseny do závislosti $\% G = f/MPR/$ a jsou znázorněny na obr.11, nejdou proložit křivkou. Jak je z obrázku patrné mají dílčí tavby P-2 a B-2 stejnou velikost MPR přičemž obsah grafitu je v dílčí tavbě P-2: 50 % ČG, 50 % GG a v tavbě B-2: 95 % ČG a 5 % GG. Tento fakt je v souladu s grafickou závislostí $MPR = f/\%G/$ zachycené na obr.4 /kap.3.1.1/, z které vyplývá možnost překrývání různých typů litin z hlediska velikosti MPR. Je tedy možno tvrdit, že ze samotné velikosti MPR nelze spolehlivě určit vyloučená procentuální množství různých typů grafitu v litině.

Závislost $\% G = f/MPR,PD/$ se teoreticky jeví jako výhodnější, protože o procentuálním množství různého typu grafitu v litině rozhodují dva faktory. Při rovnosti velikosti MPR by o konečném výsledku měla rozhodnout velikost PD a naopak. Cílem tohoto řešení, by mělo být vytyčení oblasti v obr.12, v níž by se vyloučení procentuální množství různých typů grafitu pohybovalo v předem stanovených mezích.

Protože bylo provedeno málo měření, nebylo možno vytyčit nějakou konkrétní oblast. Pro představu je na obr.12 fiktivně vytyčena oblast /červeně/ výskytu litiny s obsahem grafitu: 20 % ČG, 80 % GG až 40 % ČG, 60 % GG. Pro potvrzení existence takové oblasti hovoří i to, že v provozních podmínkách nelze dosáhnout úplně stejného chemického složení vyrobené litiny, ani zajistit stejné podmínky pro průběh kontrolní metody. /zkušební forma, lící teplota/ Lze tedy předpokládat, že zároveň se změnou chemického složení se projeví i změna velikosti MPR a PD, při vyloučení stejného procentuálního množství různého druhu grafitu. To způsobí vytvoření určité oblasti výskytu litiny a daným procentuálním množstvím grafitu různého tvaru. Tyto oblasti budou tím menší, čím menší budou odchylky v chemickém složení při výrobě litiny a v průběhu kontrolní metody. Vzdálenost bodů ovlivňuje i nastavená citlivost zařízení /čím větší citlivost, tím větší vzdálenost bodů/.

V obou doposud uvedených typech závislostí dochází k velkým výkyvům velikosti MPR u zkušebních vzorků, které obsahovaly stejné procenta grafitu různého typu /dílčí tavby P-2, P-4 nebo B-2, B-1, B-4/. Nejdříve jsme se domnívali, že tento rozdíl je způsoben odlišnou velikostí vyloučeného grafitu. Ovšem při opětovném porovnání vzorků P-2 a P-4 nebyly zjištěny žádné odchylky. Jelikož chemické složení těchto taveb nevykazovalo větší rozdíly, než tavby, které měly navzájem velmi podobné hodnoty MPR, lze se domnívat, že velké rozdíly ve velikostech MPR byly způsobeny nesprávnou funkcí zařízení /zadrhnutí korundové tyčinky ve zkušební formě/.

Za nejpřínosnější můžeme pokládat závislost $\% G = f/PD/$. Jak potvrdila provedená měření, citlivost PD na případné nesprávné ustavení korundové tyčinky je malá. To potvrzují např. tavby B-4, B-2, unichž při stejném obsahu grafitu jsou dosti odlišné velikosti MPR, ale časy se liší poměrně málo. Při vyhodnocování lineárních dilatačních křivek se ukázalo jako nevhodné nastavení malé rychlosti posuvu záznamového listu. Protože se při měření vzdáleností na záznamovém listě lze snadno dopustit chyby $\pm 0,5$ mm /ivíce/, což je umožněno nejasným vrcholem a někdy i počátkem lineární dilatační křivky, dopouštíme se pak ve výpočtu PD chyby ± 2 s. /při rychlosti posuvu $0,25$ mm/s /, což je vzhledem k malým časovým rozdílům velikosti PD mezi jednotlivými typy litin dost velká chyba, která by mohla způsobit i vytvoření nesprávného závěru o konečném množství vyloučeného grafitu z dané taveniny.

5. Z Á V Ě R

Z provedené diskuse vyplývají pro zkoumanou kontrolní metodu tyto dílčí závěry:

- a/ pro zjištění procentuálního množství grafitu různého tvaru v litině, není možné použít závislost $\% G = f/MPR/$, protože dochází k výskytu stejné velikosti MPR u různých typů litin.
- b/ kontrolní metodu založenou na závislosti $\% G = f/PD/$ je možné použít jako samostatnou, jen při záruce výskytu červíkovitého a globulárního grafitu v litině. Použít tuto kontrolní metodu i při možnosti výskytu lupínkového grafitu v litině je možné jen při spojení s některou další vhodnou kontrolní metodou /např. křivka tuhnutí/./10/

Získanou křivku na obr. 13 je nutné považovat za hrubé přiblížení ke skutečné závislosti, protože byla stanovena z malého počtu hodnot. Matematickou regresí /metoda nejmenších čtverců/ byl získán vztah:

$$\% \check{C}G = 429,68 \cdot \ln \frac{PD}{84,80}$$

Pro výpočet $\% GG$ plotí: $\% GG = 100 - \% \check{C}G$

- c/ získat závislost $\% G = f/MPR,PD/$ se nepodařilo, pro nedostatečný počet hodnot získaných měření. Použití této závislosti jako základ zkoumané kontrolní metody se jeví jako nejlepší, protože by měla dovolit rozlišit současně globulární, červíkovitý i lupínkový grafit. V dalším výzkumu je nutné potvrdit výskyt oblastí /obr. 12/ pro odlišné druhy litin z hlediska obsaženého množství

grafitu různého tvaru. Je možné, že nebudou existovat, protože může nastat případ rovnosti obou měřených veličin /MPR,PD/ pro dva odlišné druhy litin.

d/ naměření přesné hodnoty MPR je omezeno samotnou konstrukcí zkušební formy, ve které dochází ke snímání dilatace vzorku pomocí korundové tyčinky, jenž je vedena vyformovaným kanálkem. Jak se ukázalo, již malé zadrhnutí korundové tyčinky, způsobené jak jejím špatným ustavením před měřením tak i nalitím tavenin do zkušební formy, má za následek zkreslení velikosti MPR.

Pro dosažení lepší možnosti kontroly zprávnosti naměřených hodnot MPR by bylo lepší použít zapojení měřícího zařízení se dvěma indukčními snímači /dvě lineární dilatační křivky z jednoho provedeního měření/.

e/ použitá rychlost záznamového listu /0,25 mm/s / se ukázala jako malá, což bylo zdůvodněno v kapitole 4.

f/ kontrolní metodu založenou na závislosti $\% G = f/PD/$, by bylo možné použít v provozních podmínkách ve spojení s dosud používanou kontrolní metodou založenou na sledování zbytkového množství hořčíku v litině po modifikaci. Spojení těchto dvou kontrolních metod by mohlo přinést celkové zvýšení spolehlivosti v určování procentuálního množství různých typů grafitu obsažených v litině.

Pro výrobu vermikulární litiny je dosud v AZNP Mladá Boleslav navrhován tento kontrolní postup /7/:

1/ po proběhnutí modifikace se odebere z první lící pánve vzorek pro kvantometr

- 2/ odlévání při současném vyhodnocování zbytkového hořčíku
- 3/ podle výsledku zbytkového hořčíku se provede upravení množství modifikátoru do další tavby
- 4/ hotové odlitky se shromažďují /po jednotlivých tavnách/ v čistírně, odkud jsou po celkovém vyhodnocení litiny, buď vráceny nebo poslány k dalšímu zpracování

Postup navrhovaný pro obě kontrolní metody:

- 1/ po provedení modifikace se odeberou z první lící pánve vzorky pro dilatometr DM 204 a kvantometr
- 2/ po vyhodnocení lineární dilatační křivky mohou nastat tyto případy:
 - 11/ PD bude mimo oblast požadované litiny - taveninu lze prohlásit za nevyhovující
 - 12/ PD bude v oblasti požadované litiny - další postup shodný s návrhem AZNP Mladá Boleslav od bodu 3/

Pokud se týká ekonomického hodnocení navrhovaného technologického postupu kontrolní metody, lze říci, že oproti návrhu AZNP Mladá Boleslav by došlo k úspoře jader a forem /a práce vynaložené na jejich výrobu/, do kterých by nebyla nalita tavenina. Na druhou stranu dojde ke zvýšení nákladů v důsledku provozování zkoumané kontrolní metody /výroby zkušebních forem, obsluhující pracovníci/. Vyčíslit úspory je možné, až porovnáním obou metod při provozu.

6. S E Z N A M P O U Ž I T É L I T E R A T U R Y

1. SVOBODA, A. : Katalog odlitků z vermikulární litiny, SVÚM Brno, 1980
2. VONDRÁK, V. : Využití způsobu hodnocení vlastností litin pomocí dilatačních křivek.
In: Možnosti kontroly jakosti litin před odléváním. Plzeň 1977, str. 51
3. SVÚM Brno : Přístroj k měření dilatací šedé litiny v průběhu tuhnutí typ DM 204, SVÚM Brno, 1900
4. DRÁPALA, J. - aj.: Slévárenská ročenka 1982, ČÚV-ČSVTS Praha 1981
5. DEBEF, J. : Slévárenství, 1985, 11, str. 442
6. KLABAN, J. - aj.: Slévárenská ročenka 1983, ČÚV-ČSVTS Praha 1982
7. Firemní materiál AZNP Mladá Boleslav
8. PAVLÍK, I. : Vliv základních metalurgických a technologických parametrů výroby na lineární změny odlitků ze šedé litiny.
In: Možnosti kontroly jakosti litin před odléváním. Plzeň 1977, str. 62
9. MICHLOVSKÝ, J. : Možnosti hodnocení grafitu pomocí změn měrného elektrického odporu v průběhu tuhnutí litin. In: Možnosti kontroly jakosti litin před odléváním. Plzeň 1977, str. 79
10. STEFANESCU, D. M. : Giesserei - Praxis, 1981, 5, str. 80

7. S E Z N A M P Ř Í L O H

1. Záznamový list z první série měření - č. 1
2. Záznamový list z druhé série měření - č. 2
3. Záznamový list z třetí série měření - č. 3

Závěrem této práce děkuji

RNDr. Janě Kulhánkové, vedoucí práce, za odborné vedení

Pracovníkům AZNP Mladá Boleslav ing. K. Kotlabovi, ing.
J. Turkovi za poskytnuté konzultace i pomoc při měření
a s. V. Bendovi za pomoc při laboratorním vyhodnocování
vzorků

Janě Kulhánkové