

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

TECHNICKO EKONOMICKÁ OPTIMALIZACE VÝROBY

TEMPEROVANÉ LITINY ČSN 42 2540
V PODMÍNKÁCH ZÁVODU ČKD Ž A N D O V

KMM - 019

Karel S e i d l

Vedoucí diplomové práce: Doc. ing. Z. Holubec, CSc
VSST Liberec

Konzultant: s. B. Khol
ČKD Praha, o.p. závod Žandov

Rozsah práce a příloha

Počet stran:	47
Počet tabulek:	1
Počet obrázků:	46
Počet příloh:	-
Počet výkresů:	-

DT 621.791.052: 621.785

4. června 1982

strojn^í a textiln^í
Vysoká škola: v Liberci Fakulta: strojn^í
materiálů a strojírenské
Katedra: metalurgie Školní rok: 1981/82

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Karel S E I D L
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: Technicko ekonomická optimalizace výroby tempero-
vané litiny ČSN 42 2540 v podmínkách závodu
ČKD Žandov

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte stručnou rešerši zadané problematiky
2. Proveďte hodnocení primární bílé struktury a teploty eutektické prodlevy za současného stavu výroby taveniny.
3. Navrhněte možné zásahy do výroby taveniny z hlediska ovlivnění primární struktury s cílem snížení sklonu k tvorbě staženin a zvýšení grafitizace při žihání.
4. Zhodnoťte vliv navržených zásahů na sklon k tvorbě staženin a rychlost grafitizace při temperování
5. Proveďte dílčí závěry včetně technicko-ekonomického posouzení.

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

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
727/62-III/2 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK XV, sešit 24 ze
dne 31. 8. 1962 § 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

V 216/82 S

KM/1/81

Rozsah grafických prací: obrázky, tabulky, diagramy

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran

Seznam odborné literatury:

Vetiška, A.: Teoretické základy slévárenské technologie

Giršovič, N.G.: Kristalizacija i svojstva čuguna v otlivkach

Drápal : Temperovaná litina

Podklady ze závodu

Články z časpisů

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

Konzultant s. Bohumil Khol (ČKD Žandov)

Datum zadání diplomové práce: 14.9.1981

Termín odevzdání diplomové práce: 4.6.1982



Doc.Ing. Václav Chaloupecký, CSc

Vedoucí katedry

Doc.RNDr. Bohuslav Stríž, CSc

Děkan

v Liberci dne 10.9. 1981

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

V Liberci, dne 4. června 1982


vlastnoruční podpis

O b s a h

Úvod	4
1. Charakteristika stávajícího způsobu výroby odlitků z temper. litiny v ČKD Žandov	5
2. Základní technologické předpisy pro výrobu feriticko perlitické litiny při temperovacím cyklu 24 hodin	6
3. Současný stav výroby taveniny	7
4. Hodnocení tavírenského postupu	8
5. Současný stav temperování	11
6. Celkové hodnocení současného stavu výroby	15
7. Teoretická část	16
7.1. Teplota likvidu a eutektická teplota bílé litiny	16
7.2. Eutektické tuhnutí bílé litiny a jeho vliv na odlitky z temperované litiny	18
7.3. Metalurgické proměnné ovlivňující chování litiny	21
8. Experimentální část	24
8.1. Metodika zkoušek	24
8.2. Zkoušky při stávající technologii v závodě	26
8.2.1. Zkoušky s taveninou odstátou 16 hodin	26
8.2.2. Zkoušky s taveninou odstátou 64 hodin	29
8.3. Celkové hodnocení stávající technologie	37
8.4. Návrh úpravy taveniny	37
8.5. Zkušební série za použití očkování boraxem	38
9. Návrh změny technologie v závodě	45
10. Celkové technicko-ekonomické hodnocení	45
11. Závěr	46
12. Literatura	47

Ú v o d

Uplatňování vědeckotechnického pokroku v celém národním hospodářství byla na XVI. sjezdu Komunistické strany Československa věnována značná pozornost. Požadavek rychlého zavádění výsledků výzkumu do praxe je jedním ze základních úkolů techniků na závodech. Tento úkol vyvstává do popředí zejména v rozhodujících odvětvích naší ekonomiky, mezi něž patří i strojírenství. Přejít národního hospodářství na cestu intenzivního rozvoje je možný jedině při pronikavém snižování nároků na suroviny, materiály, paliva, energie a pracovní síly. Z tohoto požadavku vyplývá nutnost odkrývat veškeré rezervy a pomocí vědeckotechnické revoluce usilovat o vysoký stupeň využití kovů, zvýšení užitečných hodnot výrobků a zrychlení obratu kovového fondu státu.

V konkrétních podmínkách československé strojírenské metalurgie jsou to úkoly dvojnásob důležité, protože je to odvětví s vysokou energetickou a materiálovou náročností, která je dosud vyšší než v jiných technicky vyspělých státech. V daných podmínkách je nutné se zabývat zvýšením technické úrovně našeho slévárenství, zejména fondově úsporným způsobem, t.j. při minimálních investičních nákladech. Ve slévárně temperované litiny o.p. ČKD Praha závod Žandov je takovým úkolem zavedení zkráceného temperovacího cyklu.

Pro potřeby závodu ČKD Žandov vypracovali pracovníci Výzkumného ústavu ČKD "Výzkum zkrácení temperovacího cyklu v závodě Žandov na 24 hodin". Výsledků této práce není prozatím plně provozně využíváno a snahou této práce je přispět objasněním některých úzkých technických vlivů při přípravě taveniny k zavedení výsledků výzkumu do provozního využívání.

1. Charakteristika stávajícího způsobu výroby odlitků z temperované litiny v ČKD Žandov

Slévárna temperované litiny ČKD Praha, o.p. závod Žandov, byla v roce 1978 v provozních celcích přípravná formovacích směsí, jádrových směsí a formovna rekonstruována. Přestavba byla vynucena nevyhovujícím stavem technického vybavení a z toho vyplývajícími značnými hygienickými nedostatky. Také řada kvalitativních ukazatelů byla na nízké úrovni. Současně byl uplatněn požadavek na zvýšení výroby z 1.650 tun odlitků ročně na 2.300 tun.

Provozní celek pískového hospodářství je stavebně i technologicky úplně nový. Jeho vybavení je charakterizováno dvěma mísiči MKY 710 pro přípravu jednotné bentonitové směsi pro formování na syrovo a dvěma mísiči MK 355 pro přípravu jádrových směsí.

Starší hala formovny byla vybavena bezrámovým automatem fy. WEBAC RMB 2016 (Švédsko) s projektovanou kapacitou 260 forem za hodinu. Pro odlévání je použito elektrické indukční kanálkové předpecí fy. FOMET - DUPLEX C 1500 (Itálie). Pro menší serie odlitků je slévárna vybavena rámovou linkou za použití formovacích strojů Foromat 10-1 (NDR). Rekonstrukce splnila svoji úlohu v oblasti hygieny práce, vzrostla i kvalita odlitků.

Pro dosažení plánovaného výkonu 2.300 tun odlitků ročně se jevila úzkým profilem kapacita stávajících žíhacích pecí a bylo nutné připravit v souladu s kapacitním náběhem odpovídající řešení. Před rozhodnutím o náročné devizové investici do oblasti žíhacích pecí byl požádán VÚ ČKD Praha o provedení výzkumu zkrácení temperovacího cyklu v závodě Žandov ze 48 hodin na 24 hodin. Toto řešení skýtalo možnost vyloučení devizové investice a zároveň snížení energetické náročnosti temperování.

Tímto krokem by se částečně kompenzovala skutečnost, že snížení počtu pracovníků kujné slévárny ze 112 před rekonstrukcí na stávajících 99 pracovníků a zlepšení hygienických podmínek je provázáno nárůstem spotřeby energie. Instalovaný příkon před rekonstrukcí byl včetně tavírny 410 kW, za současného stavu je 1472 kW, přičemž technologické minimum je 974 kW.

Přes jednoznačnou vysokou náročnost vývojového úkolu pro zkrácení cyklu o plnou polovinu se pracovníci VÚ ČKD Praha řešení ujali. Požadavek zkrátit cyklus o 24 hodin je dán nutností odebírat el. energii k nánřevu (až 580 kW/hod) pouze v nočních hodinách.

Úkol byl splněn a uzavřen v roce 1979 schválenou závěrečnou zprávou. /L/

2. Základní technologické předpisy pro výrobu feriticko - perlitické litiny při temperovacím cyklu 24 hodin.

2.1. Předpis chemického složení

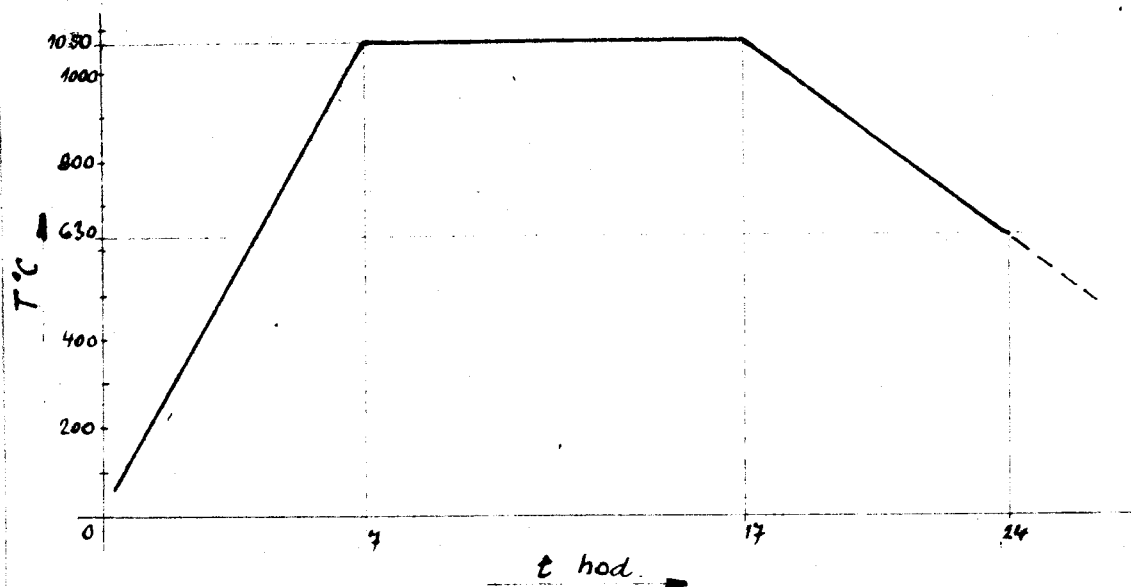
% C	2,45 - 2,65
% Si	0,90 - 1,20
% Mn	max 0,50; min. 2 x % S
% S	max 0,15
% P	max 0,08
% Cr	max 0,08

2.2. Očkování

litinu očkovat Al - 0,03 % h. a.

2.3. Temperovací cyklus 24 hodin (obr. 1)

I	doba nánřevu na teplotu prvního údobí grafitizace 1050°C	7 hodin
II	doba prodlevy na teplotě 1050°C	10 hodin
III	doba ochlazování na teplotu 630°C v druhém údobí grafitizace	7 hodin
IV	z teploty 630°C ochlazování na vzduchu	

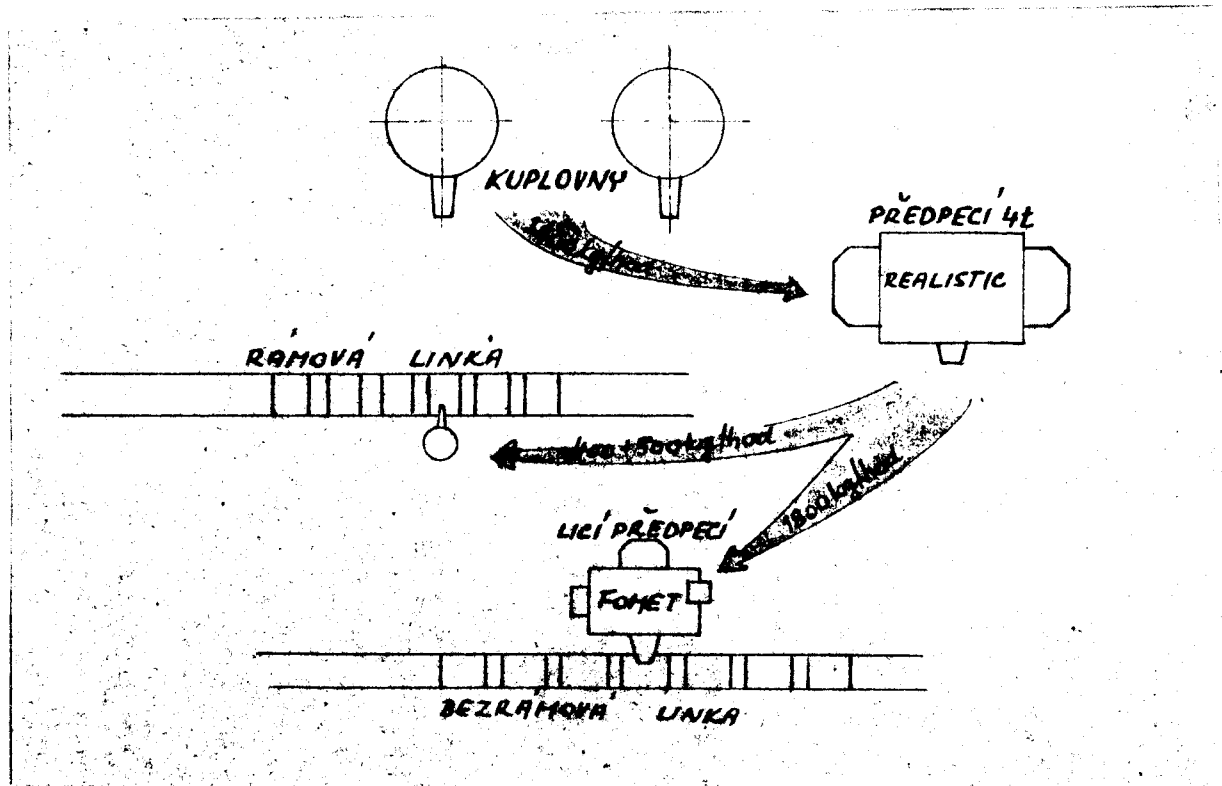


obr. 1 Temperovací cyklus

3. Současný stav výroby taveniny

3.1. Tavírna pro bílou litinu

Tavírna pro bílou litinu je vybavena dvěma studenovětrnými kuplovnami $\varnothing$ 800 mm s jednou řadou pěti dmyšer o $\varnothing$ 200 mm. Výška nístěje je volena 300 mm tak, aby bylo sníženo nahličení tekutého kovu. Vítr je do pece dodáván dmychadlem v množství 80 - 90 m³/min. Množství vzduchu není regulováno. Pro homogenizaci taveniny je tekutý kov přeléván do indukčního kanálkového předpecí ABB 4000 fy. Realistic . Odtud je pak tavenina odebírána částečně do liciho předpecí Duplex C 1500, a to v dávkách přibližně 600 kg, za současného očkovaní 0,015 - 0,020 % Al. Dolévání do liciho předpecí se provádí při stávajícím výkonu linky v intervalu 20 minut. Část taveniny je odebírána do 150 kg odlévací pánve a po naočkování je kov odléván na pracovišti se stroji Foromat 10 - 1 při hodinovém odběru 400 - 500 kg. Celková spotřeba tekutého kovu nepřesahuje zpravidla 2 300 kg/hod.



obr. 2 Schema toku kovu

4. Hodnocení tavírenského postupu

Z pohledu na schema toku tekutého kovu je zřejmá snaha o dobrou homogenizaci tekutého materiálu a zajištění co nejmenšího rozptylu chemického složení, a to použitím akumulačního předpecí ABB 4000. Jsou zde však patrné i některé nedostatky.

4.1.

Nedostatkem z hlediska energetických ztrát je umístění předpecí ABB 4000 nikoliv pod žlábkem kuplovny, ale mimo, takže je nutné kov přelévát bubnovou pánví.

Dochází zde k poklesu teploty taveniny až o 50°C . Tento způsob umístění byl volen proto, aby při poruše předpecí mohl být odebírán tekutý kov přímo z kuplovny.

Nutno říci, že toto řešení (při stávající kvalitě tuzemských výdusek) se projevilo jako prozíravé a dokumentuje tak složitost úkolů ve snižování energetické náročnosti.

4.2.

Druhým velmi podstatným nedostatkem je nesoulad mezi hodinovým výkonem kuplovny a odebíraným množstvím taveniny. Tato skutečnost vede k přerušovanému průběhu tavby a kuplovna je během směny zpravidla 4 - 5 krát odstavována po dobu až 40 minut. Tento způsob vedení tavby výrazně zvětšuje rozptýl chemického složení, zejména uhlíku.

Odstranění tohoto nedostatku předpokládalo snížit výkon kuplovny na 2,3 t za hodinu. Snížení výkonu kuplovny je v omezené míře možné snížením množství větru (vede ke snížení teploty taveniny), zvýšením množství vsázkového koksu (vede ke zvýšenému nauhličení). Obě tyto cesty jsou v podstatě plýtváním a z hlediska výroby taveniny o uhlíkovém ekvivalentu přibližně 3 % naprosto nevhodné.

Pro snížení výkonu při zajištění nejoptimálnějších podmínek tavby by bylo nutné volit kuplovnu o $\varnothing$ 650 mm. Tedy pec o velmi malém průřezu. Výsledkem úvah byl kompromis a jedna z kuploven byla přezděna na $\varnothing$ 700 mm.

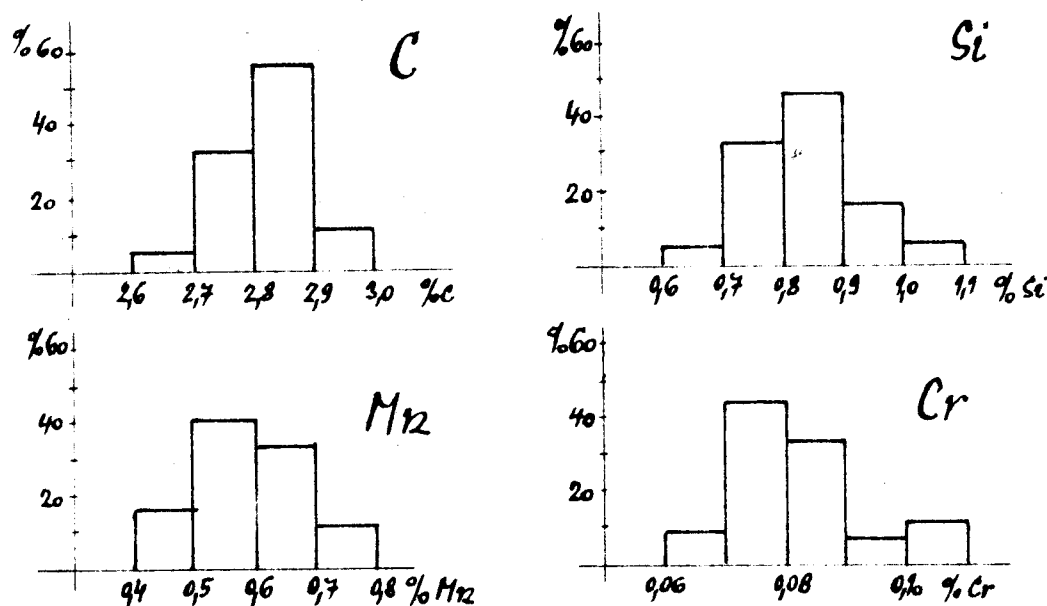
Z hlediska výkonu byl přezděním požadavek splněn. Zlepšení homogenity materiálu však dosaženo nebylo. Příčinou nezlepšeného stavu (v některých krátkých časových úsecích i podstatně zhoršeného) byly časté závěsy materiálu v šachtě pece.

I přes zajištění co nejvhodnější kusovosti ocelového odpadu v vsázce docházelo k častým závěsům. Příčinu je možno hledat ve velké členitosti vratného materiálu vtokových a nálitkových soustav, která je pro drobné odlitky z temperované litiny charakteristická. Kovová vsázka obsahuje až 50 % tohoto materiálu.

To vedlo k opětovné úpravě kuplovny na $\varnothing$ 800 mm. Zdlouhodobého sledování lze říci, že při současném stavu technického vybavení a organizačního zajištění tevírenského provozu spolu s klasicky vybavenou chemickou laboratoří je dosa-

žení požadovaných rozptylů chemického složení taveniny velmi obtížně zajistitelné.

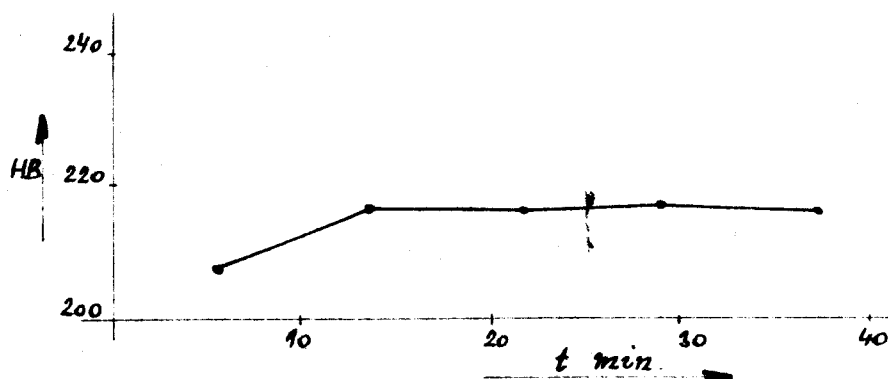
Grafy rozptylů (obr. 3) vycházejí ze sledování období jednoho roku (150 vzorků).



obr. 3 Grafy rozptylů

4.3.

Diskutovanou otázkou může být interval mezi očkovaním a vlastním odlitím na automatické lince. Touto problematikou jsme se zabývali již před uvedením modernizované slévárny do provozu a spolupracovali s SVÚM pobočkou pro výzkum slévárenství Brno. Výsledkem bylo konstatování, že odstátí taveniny po naočkování 0,02 % Al za teploty 1380 - 1400°C měřeno opt. b.k. po dobu až 40 minut nemá podstatný vliv na výsledné mechanické vlastnosti (například - závislost tvrdostí na době odstátí je prakticky přímková). /2/ Temperovací cyklus byl při těchto zkouškách 48 hodinový.



obr. 4 Graf závislosti tvrdosti na době odstátí po naočkování

Interval doplňování očkovanou taveninou přibližně po 20 minutách je tedy dostatečně krátký, aby nezanikl očkující účinek.

5. Současný stav temperování

5.1. Temperovací zařízení

Provoz pro temperování odlitků je vybaven dvěma elektrickými elevátorovými pecemi fy. Ebner (Rakousko). Atmosféra pecí je říditelná vodní parou. Maximální zatížení pece je 10 tun materiálu. Nejvyšší dovolené teploty 1050°C , maximální příkon 600 kW. Teplota a její rozložení je kontrolováno a řízeno pomocí termočlánků (Pt - PtRh).

Průběh teploty může být řízen programovým kotoučem; také obsah CO_2 v žíhací atmosféře může být automaticky regulován.

5.2. Hodnocení temperovacího zařízení

5.2.1.

Elektrické vytápění temperovacích pecí dovozuje velmi jednoduše a přesně řídit tepelný režim. Svým cyklickým charakterem umožňují pece změnu režimu žíhání při jednotlivých sázkách.

5.2.2.

Vzhledem k velkému objemu žíhací pece jsme sledovali vliv umístění vzorků v prostoru pece na výsledné mechanické vlastnosti. Z tohoto pohledu je vliv velikosti pece zanedbatelný. Vzorky z okrajů pece, kde je ochlazovací rychlost poněkud vyšší, vykazují průměrně o 30 MPa větší pevnost v tahu. Ve struktuře těchto vzorků je možné vysledovat větší procento perlitu.

5.2.3.

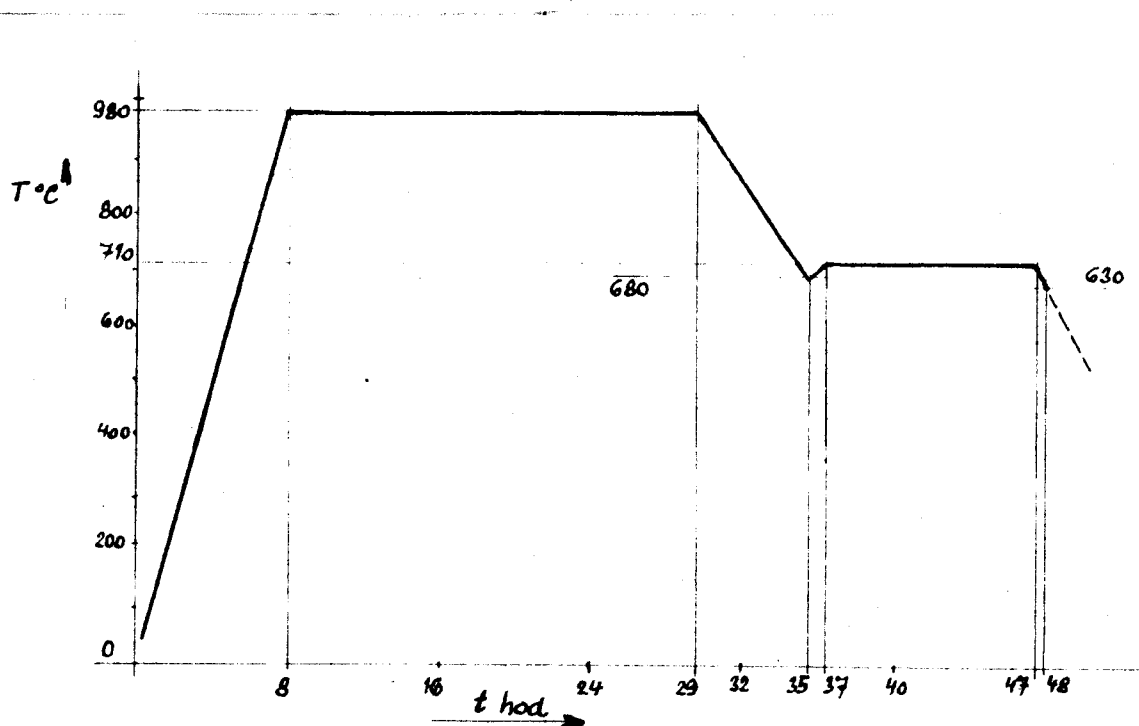
Podstatně méně příznivá je charakteristika komorové pece ve smyslu nejvyšší možné ochlazovací rychlosti mezi prvním a druhým stadiem grafitizace. Hostinský uvádí možné rychlosti 300 až 400°C za hodinu. /6/

U používané pece je dosahováno při nepřímém chlazení vzduchem, kterým je pec vybavena, rychlostí 50 - 60°C za hodinu.

V rámci programu úspor paliv a energie byla nyní jedna z komor zkušebně vylepena izolační hmotou Rezistex. Mimo přímé úspory el. proudu předpokládáme i zvýšení ochlazovací rychlosti. O uspořenou dobu by pak bylo možné prodloužit údobí první grafitizace navrženého zkráceného cyklu a nebo zařadit sferodizační část.

5.3. Teplotní a časový průběh žíhání

I	doba náběhu na teplotu prvního údobí grafitizace 980°C	8 hodin
II	výdrž na teplotě prvního údobí grafitizace 980°C	21 hodin
III	doba ochlazování na teplotu 680°C	6 hodin
IV	náhřev na teplotu sferodizace perlitu 705 - 710°C	2 hodiny
V	výdrž na teplotě sferodizace 705 - 710°C	10 hodin
VI	ochlazování v peci před vyjetím na vzduch 630°C	1 hodina
VII	ochlazování na vzduchu	



obr. 5 Diagram stávajícího temperovacího cyklu

5.4. Hodnocení teplotního a časového průběhu žíhání

Používaný temperovací cyklus odpovídá svojí délkou a teplotami běžně uváděným hodnotám. /6/

Zkušební tavby a žíhací zkoušky provedené Jelínkem /3/ ukazují však na značné rezervy. Uvádí ve své práci dobu rozpadu veškerého ledeburitického cementitu max. 12 hodin. Pro zkoušky bylo voleno chemické složení v rozmezí:

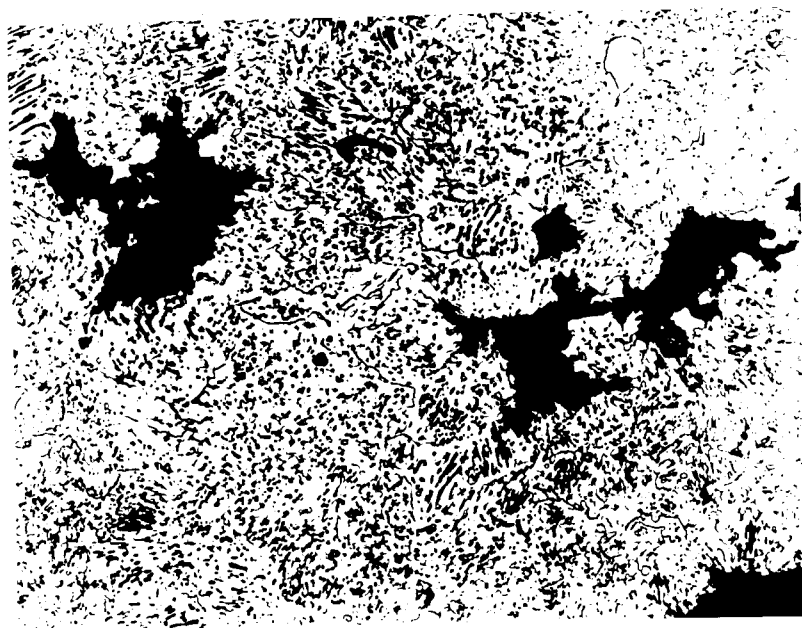
C 2,40 - 2,82 %; Si 0,62 - 1,09 %; Mn 0,39 - 0,69 %;
 S 0,14 - 0,19 %; P 0,09 - 0,10 %; Cr 0,09 - 0,10 %;
 Teploty izotermické prodlevy byly při těchto zkouškách 950°C.

Průběhy náhřevu a ochlazování stávajícího temperovacího cyklu jsou dány charakterem pece a velmi málo ovlivnitelné. Zkoušky prováděné s přímým chlazením vzduchem při vyjetí vozu z pece za teplot 850°C narazily na řadu technických, bezpečnostních a organizačních problémů.

V současné době se o tomto způsobu chlazení neuvažuje. Doba pro sferodizaci perlitu je dostatečná.

Celkový charakter diagramu (obr. 5) zaručuje tedy i při nedodržení úzkého chemického rozmezí, případně i výskytu jiných negativních vlivů (nesprávné očkování, stárnutí termočlánků, výpadky či vypínání el. proudu) vyhovující výslednou strukturu. Cenou je zde však vyšší spotřeba el. energie.

Optimální výsledná struktura temperované litiny zpracované stávajícím způsobem (obr. 6)



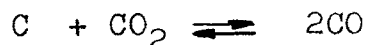
leptáno nitalem

obr. 6 Struktura vytemp. litiny 500 x

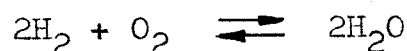
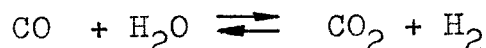
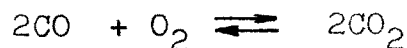
5.5. Žihací atmosféra

Žihací atmosféra je udržována mírně oduhličující pro dosažení oduhličené vrstvy 0,8 - 1,2 mm. Důvodem pro povrchové oduhličení je následné žárové zinkování velké části vyráběného sortimentu. Technologický předpis stanovuje udržovat v prvním údobí grafitizace obsah CO_2 na hodnotě 5 - 7 %. Úprava obsahu se provádí přidávkou vodní páry.

Oduhličení probíhá tedy těmito reakcemi



Regenerace atmosféry reakcemi



5.6. Hodnocení žíhací atmosféry

Obsah 5 - 7 % CO_2 v žíhací atmosféře odpovídá podle literárních údajů mírně oduhličujícímu prostředí. /4/

Provozně plně vyhovuje. Nedostatkem v této oblasti je pouhé vybavení pecí analyzátory CO_2 . Vhodnější by byly analyzátory CO_2 ; H_2 ; CO ;

6. Celkové hodnocení současného stavu

Z pohledu dobré výsledné kvality odlévaného materiálu dle ČSN 42 25 40 jsou v závodě vytvořeny veškeré předpoklady. Případné nedostatky (vysoká tvrdost materiálu), které se projevují při mezioperační kontrole po žíhání, se provozně odstraní opětovným vyžíháním. Výskyt primárního lupínkového grafitu prakticky není. I při stávajícím 48 hodinovém cyklu dochází tedy, i když omezeně, k nedodržení předepsané tvrdosti odlitků.

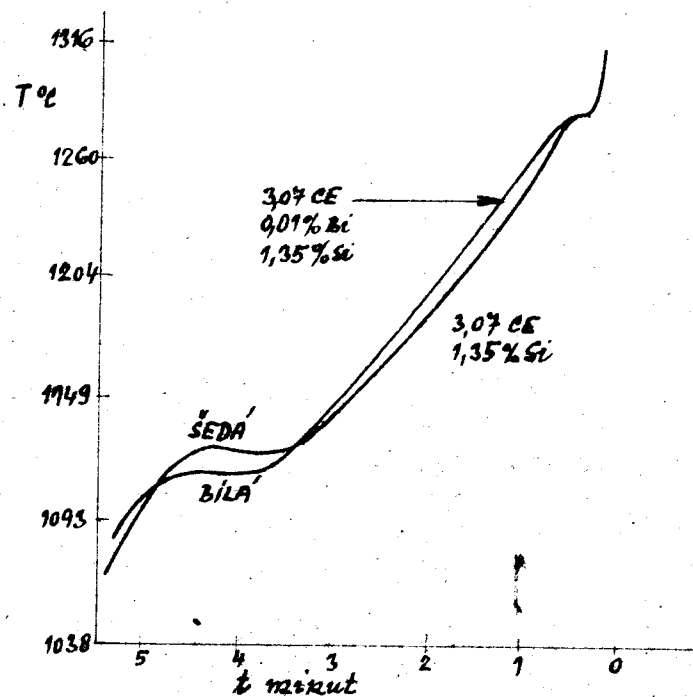
Odtud také pramení některé výhrady proti vyvinutému zkrácenému cyklu.

7. Teoretická část

7.1. Teplota likvidu a eutektická teplota bílé litiny.

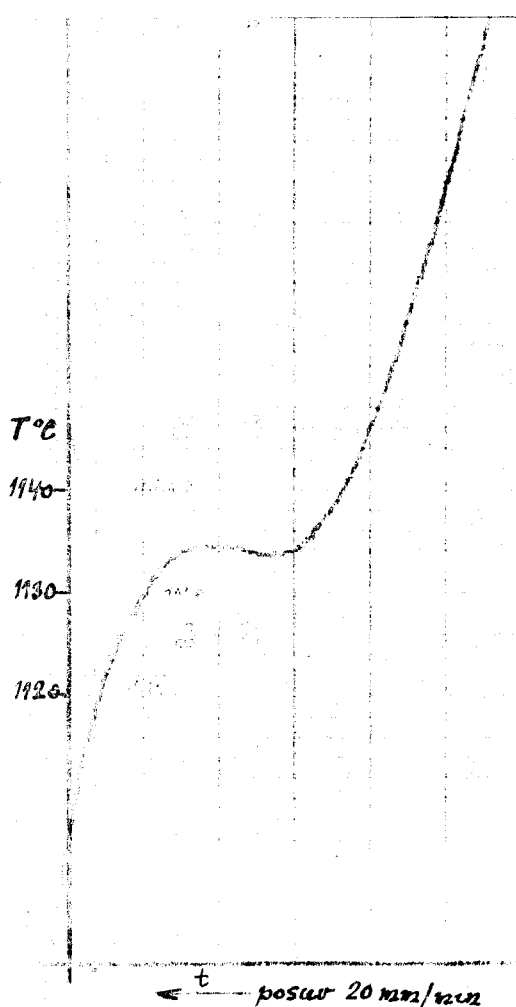
Křivky chladnutí se staly užitečným nástrojem analýzy a řízení jakosti materiálu ve slévárenské výrobě. V oblasti šedých litin jsou vztahy mezi pevností (tvrdostí) a teplotou likvidu, případně rozdílem teplot likvidu, a eutektickou teplotou všeobecně známy. V provozní praxi se tyto vztahy spolu se zákalkovou zkouškou velmi osvědčily. Dnešní rozvoj termické analýzy ve spojení s derivací křivky chladnutí pak skýtá řadu dalších možností v určení schopnosti a typu grafitizace. /10/

U temperované litiny není možné očekávat podobné vztahy mezi pevností a teplotou likvidu (rozdílem teplot likvidu a eutektické teploty) jako u šedé litiny. Je však možné předpokládat určité vazby na grafitizační rychlost, počet grafitizačních center, sklon k tvorbě staženin a podobně. Charakteristický rozdíl mezi křivkou chladnutí šedé a bílé litiny je uveden na obrázku 7. /8/

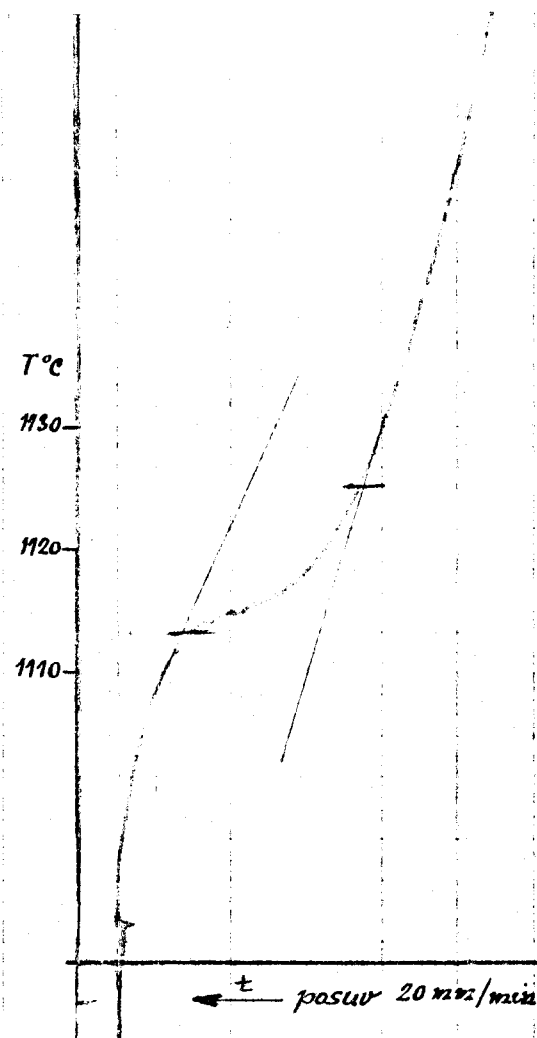


obr . 7 Křivky chladnutí bílé a šedé litiny

V podmínkách naší slévárny byly získány obdobné křivky tuhnutí. (obr. 8; 9;) Litina měla složení C 2,88 %; Si 1,04 %; Mn 0,56 %; P 0,08 %; S 0,14 %. Průměr odlévaného vzorku byl 60 mm. Bílé tuhnutí bylo vyvoláno přidáním 0,015 % Bi. Na křivkách není zaznamenána prodleva likvidu. Aby byla dosažena co možná nejvyšší přesnost v oblasti eutektické teploty, byla hodnota likvidu mimo měřicí rozsah přístroje.



obr. 8
Křivka tuhnutí šedé litiny



obr. 9
Křivka tuhnutí bílé litiny

Eutektická prodleva, jak je na křivce bílé litiny zaznamenána, neindikuje přesnou teplotu počátku nebo konce eutektického tuhnutí. Místo toho ukazuje pouze rozsah teplotního a časového intervalu tuhnutí eutektika. R.W. Heine uvádí šest typů průběhu křivek eutektické reakce. /8/

Uvádí také výběrem z literatury sedm empiricky stanovených vztahů pro teplotu likvidu a dvě rovnice pro teplotu eutektické reakce. Rozdíly v jednotlivých hodnotách uvádí do spojitosti s postupem tavení, přehřátím, skladbou vsázky, obsahem plynů a očkovaním.

$$T_E = 1104 + 9,8 \cdot (\% C - 1,23 \% Si - 3,0 \% P) ^\circ C \quad /8/$$

$$T_E = 1155 - 20,197 \% Si - 48,7 \% P \quad ^\circ C \quad /9/$$

T_E teplota eutektické reakce

7.2. Eutektické tuhnutí bílé litiny a jeho vlivy na odlitky z temperované litiny.

Vztahy mezi chováním nebo vadami odlitků a procesy eutektického tuhnutí jsou popsány v práci Heineho. /9/

7.2.1. Morfologie eutektika.

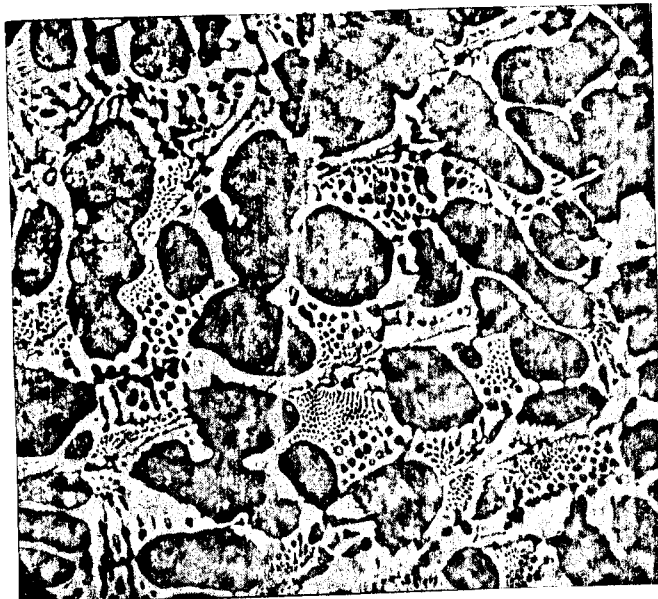
Je možno pozorovat dvě významné rozdílné metalografické morfologie eutektika bílé litiny: ledeburitickou a destičkovou, obrázek 10 a 11. Rickard a Hughes popsali podmínky, za kterých tyto dvě morfologie tuhnou a shrnuli příbuznou práci dřívějších autorů /11/ obrázky 10 a 11 jsou reprodukovány ze zprávy vypracované Rickardem, Hughesem. Nízká teplota přehřátí $1300^\circ C$ vytvořila ledeburitickou strukturu, (obr. 10) a byla doprovázena křivkami chlazení T-t, ukazujícími eutektické podchlazení na asi $1126^\circ C$ a rekalescenci na asi $1137^\circ C$ v litině s obsahem 3,69 % uhlíku, 0,10 % křemíku, 0,02 % manganu, 0,018 % síry, 0,014 % fosforu a 1,21 % chromu. Destičková morfologie, (obr. 11) byla vytvářena ve stejné litině přehřátím na $1500^\circ C$, což vedlo k podchlazení na asi $1100^\circ C$ a rekalescenci $1124^\circ C$.

Rickard a Hughes ukázali ve svých pokusech, že ledeburitické eutektikum vytvářelo krystalizační jádra exogenním způsobem a tuhlo hlavně zvyšováním tloušťky povrchové vrstvy od povrchu směrem ke středu, zatímco destičkové eutektikum vytvářelo krystalizační jádra exogenně a tuhlo z nahodilé tvorby krystalizačních jader na místech uvnitř průřezu, jakož i na povrchu.

Metalografické rozdíly ve dvou uvedených morfologiích mohou být snadno a jasně pozorovány. Ledeburit vykazuje hladké rozhraní mezi eutektickým karbidem a transformovanými dendrity austenitu (perlit) s karbidickou stěnou oddělující tyče nebo desky dobře transformovaného austenitu (perlitu) uvnitř eutektika, obrázek 10.

Žádný eutektický karbid není pozorován v transformovaných dendritech. Perlit se leptá rovnoměrně z větší části. Na rozdíl od toho má destičkové eutektikum opravdu nepravidelné rozhraní mezi transformovaným austenitem a eutektickým karbidem (obr. 11).

Jiným důležitým rozdílem je přítomnost snadno se leptajícího perlitu v sousedství karbidu, pronikajícího do dendritů. Zbytek perlitu vytváří reakci na leptací činidlo podobnou reakci perlitu ve struktuře obsahující ledeburit.



Morfologie eutektika ledeburitického karbidu a transformovaného pro-eutektického austenitu (perlitu).
leptáno 4 % picralem

obr. 10

100 x

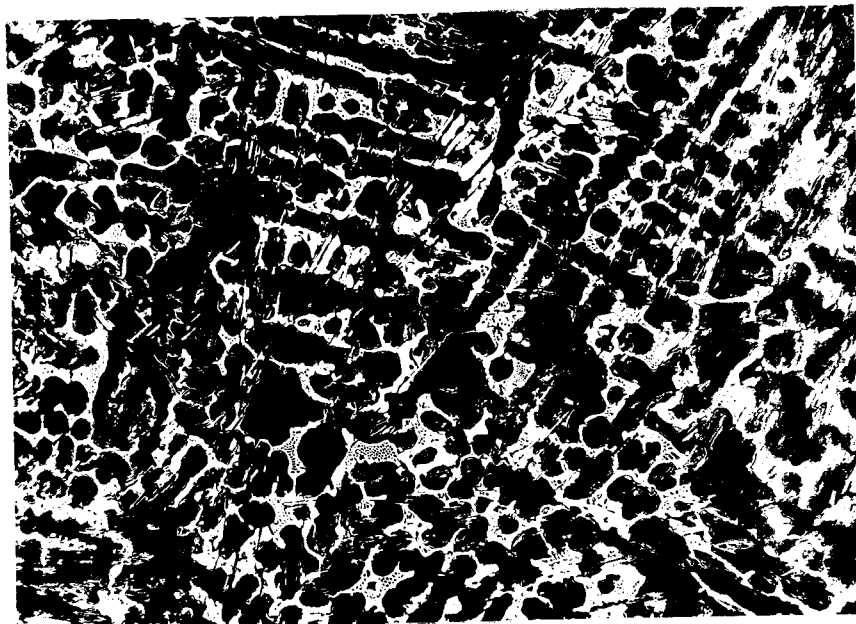


Morfologie destičkového
karbidového eutektika
a transformovaného pro-
eutektického austenitu
(perlitu)
leptáno 4 % picralem

obr. 11

100 x

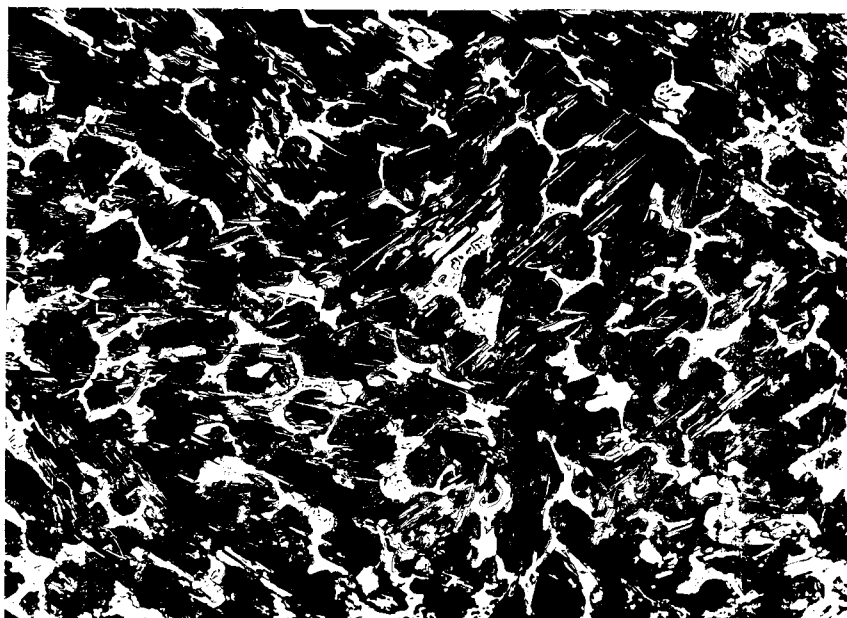
Je-li studován celý průřez odlitku, není mikrostruktura obvykle výhradně ledeburitická nebo destičková. Často jsou přítomny obě struktury, přičemž jedna z nich je převládající. Dva krajní typy struktur, které byly získány ve slévárně ČKD Žandov jsou na obrázcích 12 a 13.



Oblá ledeburitická
struktura
(leptáno nitalem)

obr. 12

100 x



Převážně destič-
ková struktura.
Litina byla udrž-
žována v tekutém
(na hladině až
těstovitém) sta-
vu po dobu 7 dní
(leptáno nitalem)

obr. 13

100 x

7.3. Metalurgické proměnné ovlivňující chování litiny.

V experimentální části práce Heineho byly sledovány jednotlivé vlivy působící ledeburitické nebo destičkové eutektické tuhnutí a v návaznosti pak chování litiny při dosazování do odlitku, reakce na žíhání, počet vloček grafitu, na mechanické vlastnosti a možnost charakterizovat vlastnosti litiny v závislosti na teoretické teplotě tuhnutí a skutečně stanovené.

7.3.1.

Ke zjištění, zda došlo k podchlazení, byl zvolen referenční vztah:

$$T_E = 1155 - 20,197 \% \text{ Si} - 48,7 \% \text{ P}$$

S takto vypočtenou hodnotou byly naměřené hodnoty srovnány. Měřené hodnoty teploty eutektické reakce jsou označovány T_{EA} .

Hodnoty uhlíkového ekvivalentu C_E byly určovány ze vztahu

$$C_E = \% \text{ C} + \% \frac{\text{Si}}{4} + \% \frac{\text{P}}{2}$$

Proměnné metalurgického pochodu, které mohou zvýšit hodnotu T_{EA} :

- a. uhlík, vysoký uhlíkový ekvivalent
- b. rychlé tavení
- c. nízké přehřátí
- d. grafitický materiál vsázky, zvláště surové železo
- e. přísady do lící pánve: odlitky, ocelový odpad
- f. očkovací látky: kombinace křemíku, uhlíku, titanu, hliníku, vizmutu a telluru, přidané do pece nebo lící pánve
- g. kombinace výše uvedených vlivů

Proměnné metalurgického pochodu, které mohou snižovat hodnotu T_{EA} :

- a. nízký uhlíkový ekvivalent, vysoký procentický obsah křemíku jakožto legovacího prvku
- b. udržování v oxidačních podmínkách
- c. vysoké přehřátí
- d. vysoká hladina vlhkosti
- e. přísady kyslíčnicků železa
- f. přísady s vysokým obsahem telluru, 0,01 až 0,02 %
- g. přísady s vysokým obsahem vizmutu, 0,02 %
- h. kombinace výše uvedených faktorů.

7.3.2. Vztah mezi morfologií eutektika a teplotou eutektické reakce.

Ledeburitické znaky mikrostruktury jsou nejzjevnější, je-li teplota eutektické reakce co nejblíže teoretické hodnotě. Struktura však není nikdy v celém svém průřezu bez destiček. Při snižování teploty eutektické reakce se morfologie stává spíše destičkovou.

Nejvýraznější destičkové struktury byly pozorovány při silném podchlazení a rychlé recalescenci.

7.3.3. Smršťování a dosazování litiny.

Postup tavení, který vytvořil nejvyšší teplotu eutektické prodlevy pro bílou litinu, vytváří také nejmenší smršťení a způsobuje nejlepší chování při dosazování.

Je možné důsledně uvádět, že litina s maximem ledeburitické struktury působí nejlepší chování při dosazování z nálitku, a to bez ohledu na obsah křemíku.

7.3.4. Reakce na žihání

Grafitizace v prvním stupni při teplotě 954°C a obsahu Si 1,35 % si vyžádala 1,5 hodiny při ledeburitické struktuře, při destičkové struktuře o stejném chemickém složení 3 hodiny. Při snížené teplotě (927°C) byly doby rozpadu 6 a 6,75 hodiny.

Počet vloček byl vyšší u destičkové struktury (215 vloček na mm^2) oproti 142 vločkám na mm^2 při litině s ledeburitickou morfologií.

7.3.5. Vliv eutektického tuhnutí na mechanické vlastnosti.

Při mechanických zkouškách byly u litiny, která měla původně ledeburitickou strukturu, zaznamenány vyšší hodnoty tažnosti, vyšší mez pevnosti a vyšší mez kluzu. Rozdíl činil oproti litině s původní destičkovou strukturou 5,0 - 7,5 %.

7.4. Hodnocení teoretické části.

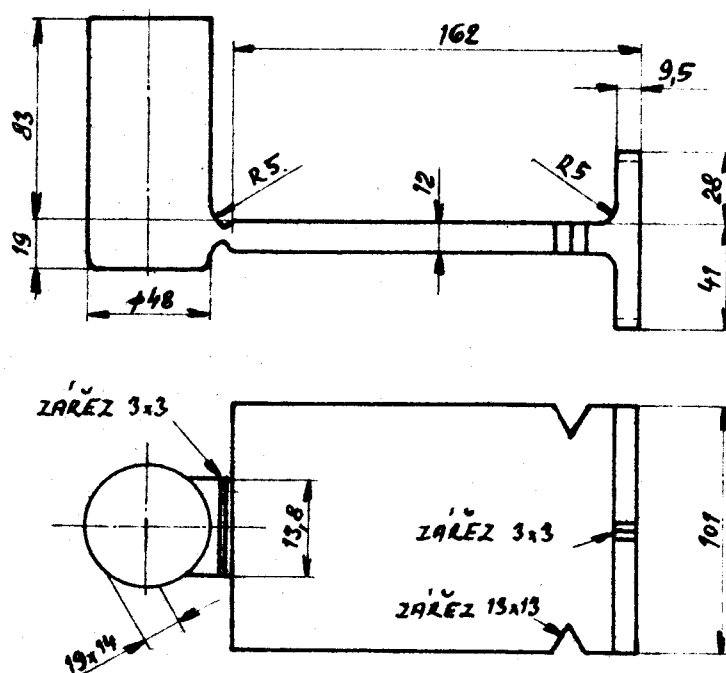
Z literárních údajů je tedy patrna nutnost sledovat při výrobě temperované litiny ne jenom běžné chemické složení kovu, ale i vlivy, které doposud stály v pozadí zájmů metalurga. Teplota přehřátí, doba výdrže na teplotě, oxidy v kovové vsázce, vysoká hladina vlhkosti, podíl grafitických materiálů vsázky jsou faktory, které metalurg v řadě případů „cítil“, ale neuměl přesně technicky vyjádřit. Chceme-li tedy používat špičkovou technologii při tepelném zpracování, kterou beze sporu dvacetí čtyř hodinové temperování je, musíme uvažovat při výrobě taveniny i s vlivy, které byly dříve podružné.

8. Experimentální část

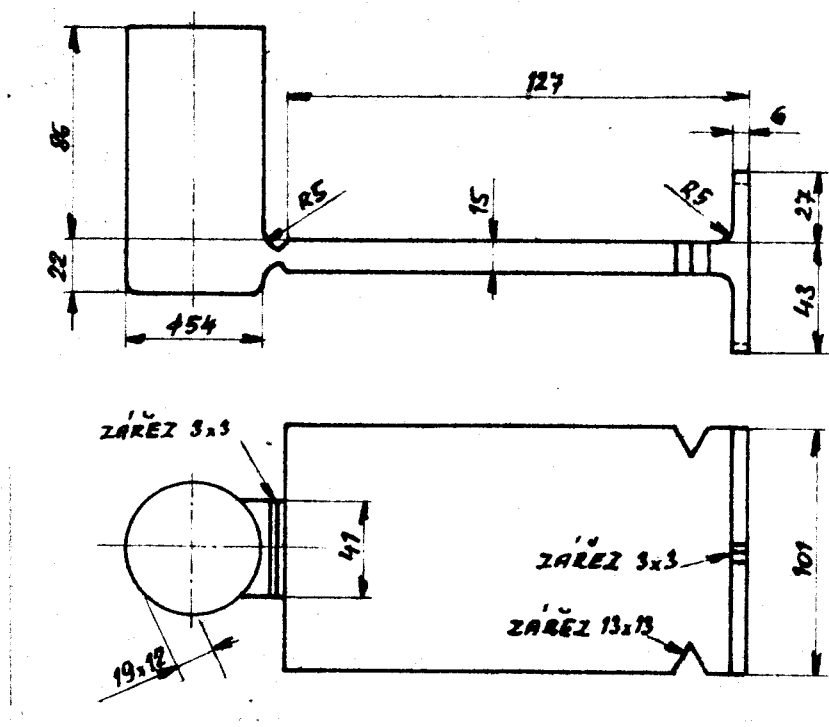
Experimentální část úkolu sestává ze dvou základních složek. Pro první část byl stanoven úkol posoudit stávající metalurgické faktory běžné výroby ve vztahu k typu eutektika, teplotě eutektické reakce, rychlosti rozpadu ledeburitického cementitu a změně schopnosti dosazování tekutého kovu z nálitku. Ve druhé části pak ovlivnit výrobní postup tak, aby bylo dosaženo co nejvýhodnějšího chování litiny. Z hlediska potřeb závodu tedy zaměřit tyto úpravy na co nejrychlejší rozpad ledeburitického cementitu a snížení vad vlivem objemových změn při tuhnutí.

8.1. Metodika zkoušek

Soubor jedné zkoušky obsahoval stanovení křivky chladnutí, odlití dvou zkušebních odlitků (obr. 14a; 14b) pro posouzení změny schopnosti dosazování tekutého kovu z nálitku /5/ a odlití čtyř zkušebních tyčí pro zkoušku tahem. Odlitky tyčí pak sloužily k provedení žíhacích zkoušek a strukturní analýze.



obr. 14a Zkušební odlitek (alt. a)



obr. 14b Zkušební odlitek (alt. b)

Křivky chladnutí byly stanoveny na vzorcích o $\varnothing$ 35 mm a délce 70 mm. K záznamu bylo použito zařízení MH 2 (výrobek ČKD Hořovice) s termočlánkem Pt-PtRh chráněným trubicí z křemeného skla. Odlitky pro posouzení změny schopnosti dosazování tekutého kovu z nálitku byly formovány do běžné bentonitové směsi na syrovo.

Povrchová tvrdost formy byla udržována na hodnotě 80 - 85 jednotek. Odlitky zkušebních tyčí pro zkoušku tahem temperované litiny ($\varnothing$ 9 mm) byly odlévány do skořepinové formy a vždy po 30 minutách vyklepány. Žihací zkoušky byly provedeny v laboratorní muflové peci bez ochranné atmosféry. Vzorky byly zasypány pískem. Z tohoto důvodu tedy nebyla posuzována povrchová vrstva.

Chemické složení bylo stanoveno laboratoří ČKD Žandov klasickými metodami. Uhlík jako průměr ze tří stanovení, ostatní prvky jako průměr ze dvou stanovení. Metalografické snímky byly pořízeny na mikroskopu Neophot 21 ve spolupráci s pracovníky laboratoří ČKD Hradec Králové.

8.2. Zkoušky při stávající technologii v závodě.

Z pohledu na proměnné, které mají vliv na hodnotu T_{EA} a další vlastnosti litiny, je v běžném provozu ČKD Žandov výrazným faktorem doba odstátí taveniny. Obě předpecí jsou po ukončení směny naplněny kovem tak, aby následný ranní rozběh formovacích linek byl co nepružnější a nezávisel na rozběhu kuplovný. Je zde tedy tekutý kov udržován za teplot přibližně 1320°C (měřeno opticky bez korekce) po dobu 16 hodin ve všední dny a po dobu 64 hodin mezi páteční a pondělní směnou. Změna chemického složení v období udržování je omezována nahozením dřevěného uhlí na hladinu a utěsněním všech otvorů ve víku pece jílem. Zároveň je udržována mírně zatuhlá hladina strusky.

8.2.1.

Pro první zkoušku byl tedy zvolen kov určený k udržování na teplotě do příštího dne. Vzorek č. 3 byl odléván na konci směny, vzorek č. 4 byl odléván příští den ráno.

a. Vsázka, ze které byl kov v kuplovně nataven.

vratný materiál	120 kg
hematit	30 kg
ocelový odpad	100 kg
Fe Si Mn (15 %/60%)	1 kg
Fe Si (45 %)	1 kg

b. Doba odstátí litiny mezi vzorky.

Mezi vzorky č. 3 a 4 byla 16 hodin

c. Očkování

očkováno 0,02 % Al

d. Chemické složení vzorků:

číslo vzorku	C	Si	Mn	P	S	Cr (%)
3	2,88	0,90	0,54	0,08	0,15	0,07
4	2,87	0,91	0,54	0,08	0,16	0,07

e. Teoretická teplota T_E

$$T_E = 1155 - 20,197 \% \text{ Si} - 48,7 \% \text{ P } (^{\circ}\text{C})$$

$$T_{E3} = 1132,9^{\circ}\text{C};$$

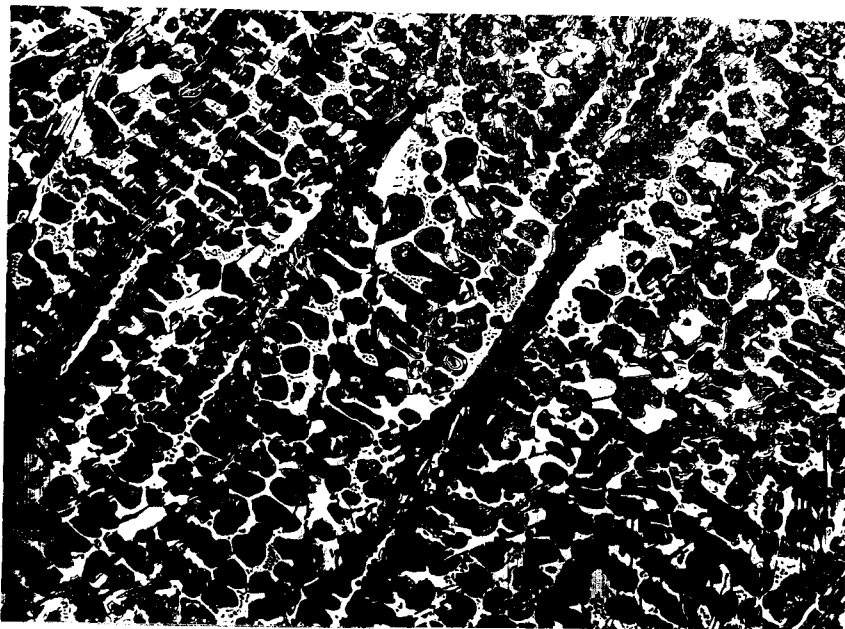
$$T_{E4} = 1132,7^{\circ}\text{C}$$

f. Stanovená teplota T_{EA}

$$T_{EA3} = 1118,5^{\circ}\text{C};$$

$$T_{EA4} = 1118,0^{\circ}\text{C}$$

g. Metalografické snímky lité struktury:



Oblá ledebu-
ritická struk-
tura

vzorek č. 3
obr. 15

100 x



Oblá ledebu-
ritická struk-
tura s částeč-
ným výskytem
destiček

vzorek č. 4
obr. 16

100 x

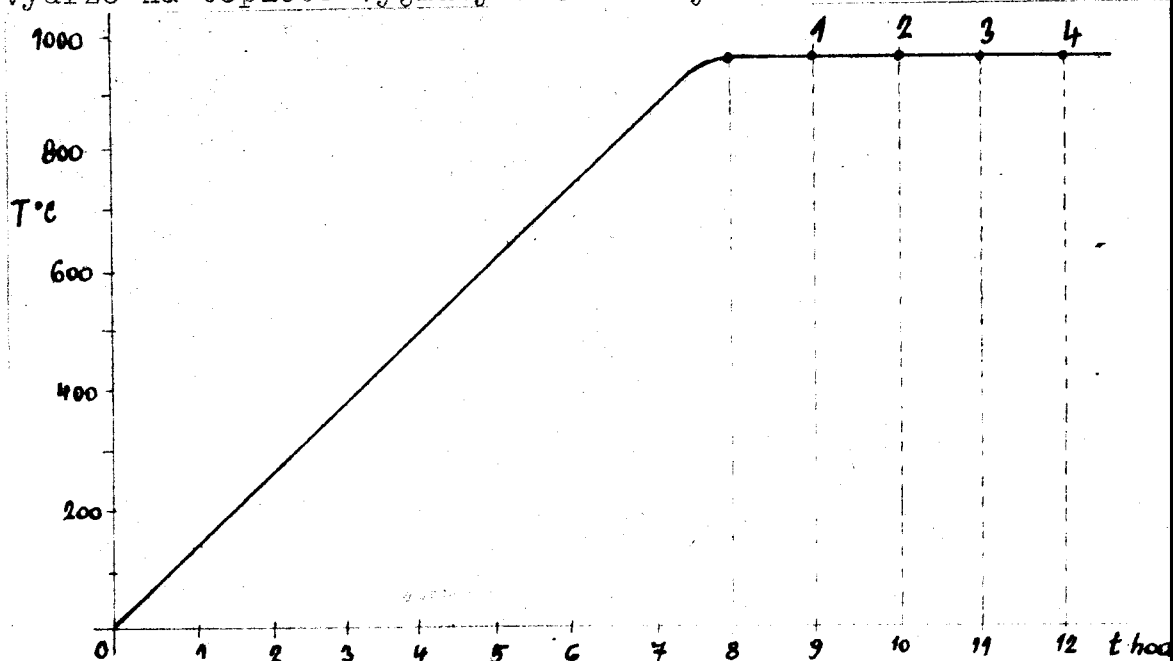
poznámka: veškeré metalografické výbrusy uvedené v experimentální části jsou leptány nitaem.

h. Zkušební odlitky k posouzení změny schopnosti dosazování tekutého kovu z nálitku.

Zkušební odlitky vzorků č. 3 a 4 byly v místě tepelného uzlu přelomeny. Žádný z odlitků nevykazoval vnitřní vady.

i. Žíhací zkoušky

Rychlost náhřevu vzorků byla volena tak, aby odpovídala provoznímu výrobnímu režimu a je patrna z obrázku 17. Teplota prvního stupně grafitizace byla zvolena 950°C. Vzorky č. 3 a 4 byly žíhány společně. Od každého vzorku byly žíhány 4 tyče, které byly postupně po 1 hodině výdrže na teplotě vyjmuty a chlazeny na vzduchu.



obr. 17 Žíhací diagram pro zkoušky rychlosti rozpadu ledeburitického cementitu.

Rychlost rozpadu ledeburitického cementitu byla posouzena měřením tvrdostí. Z tabulky je patrné, že rychlost rozpadu ledeburitického cementitu byla u obou vzorků prakticky stejná.

č.v.	3/1	3/2	3/3	3/4	4/1	4/2	4/3	4/4
výdrž h.	1	2	3	4	1	2	3	4
HB	370	320	320	260	380	330	300	270

j. Celkové hodnocení vzorků 3 a 4.

Stávající způsob tavení a obvyklá skladba vsázky vede k převážně oblé ledeburitické struktuře. 16ti hodinové odstátí taveniny nevedlo ke snížení teploty T_{EA} , litá struktura vzorku 4 je méně oblá než struktura vzorku 3. Technologické vlastnosti litiny (schopnost dosazovat a rychlost rozpadu ledeburitického cementitu) byly při daném typu zkoušek stejné. Z hlediska provozní technologie není tedy nutný rozdíl ve změně nalitkování a žíhání litiny, která byla před odlitím po dobu až 16 hodin udržována stávajícím uvedeným způsobem v indukčním předpeči.

poznámka: Pro hodnocení lité struktury ve vztahu ledeburitická - destičková není v literatuře vypracována odpovídající metodika či vhodná etalonová řada, tak jak je to v metalografii běžné. Nebylo cílem (ani možné) v této práci etalonovou řadu sestavit. Musel jsem tedy použít v tomto případě méně přesného slovního označení (více, méně, výrazně a pod.). Je tedy nutné, posuzovat vždy vizuálně dva (případně tři) vzorky struktury, které k sobě patří.

8.2.2.

Druhá série zkoušek byla provedena pro srovnání litiny bez odstátí a litiny odstáté po dobu 64 hodin (konec páteční směny - začátek pondělní).

a. Vsázka, ze které byl kov nataven:

vratný materiál	110 kg
hematit	30 kg
ocelový odpad	110 kg
Fe Si Mn (15%/60 %)	0,50 kg
Fe Si (45 %)	1,0 kg

b. Doba odstátí litiny mezi vzorky.

Mezi vzorky č. 6 a 7 byla 64 hodin

c. Očkování

Očkováno 0,02 % Al

d. Chemické složení vzorků.

č.v.	C	Si	Mn	P	S	Cr (%)
6	2,74	0,71	0,43	0,07	0,14	0,06
7	2,75	0,70	0,43	0,07	0,13	0,06

e. Teoretická teplota T_E

$$T_{E6} = 1137,2^{\circ}\text{C};$$

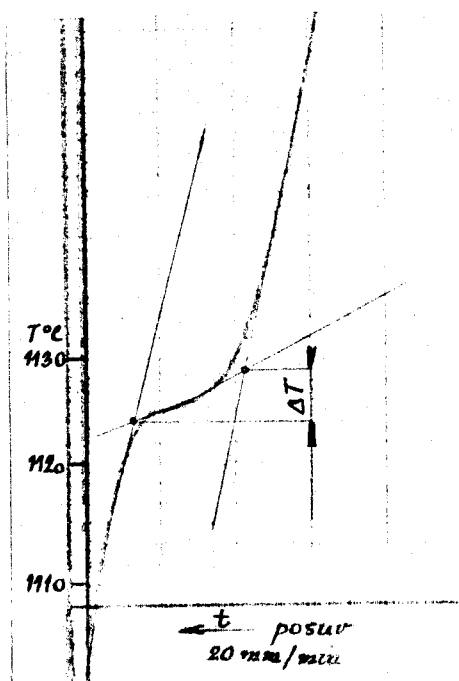
$$T_{E7} = 1137,4^{\circ}\text{C}$$

f. Stanovená teplota T_{EA}

Zde se projevila problematika v přesném určení zlomu křivky. U odstáté litiny je zlom na křivce velmi pzdolný. Metodika určení teploty T_{EA} z křivky je patrna z obrázku č. 18.

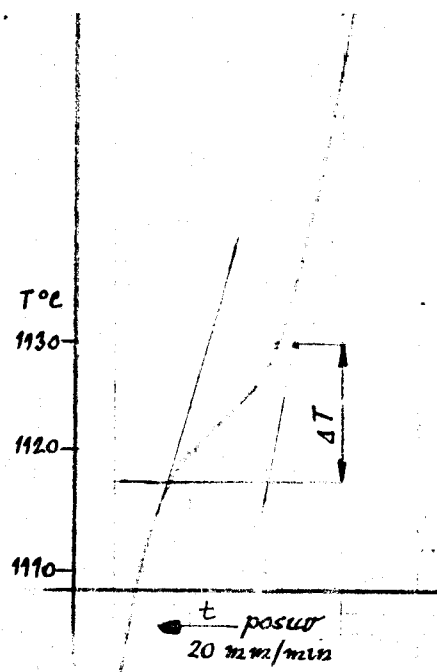
$$T_{EA6} = 1128^{\circ}\text{C};$$

$$T_{EA7} = 1126^{\circ}\text{C}$$



obr. 18

Část křivky chladnutí vzorku č. 6



obr. 19

Část křivky chladnutí vzorku č. 7

Stanovená teplota T_{EA} je u obou vzorků téměř stejná. U litiny odstáté je výrazně prodloužen teplotní interval ΔT eutektické reakce.

$$T_6 = 5^{\circ}\text{C};$$

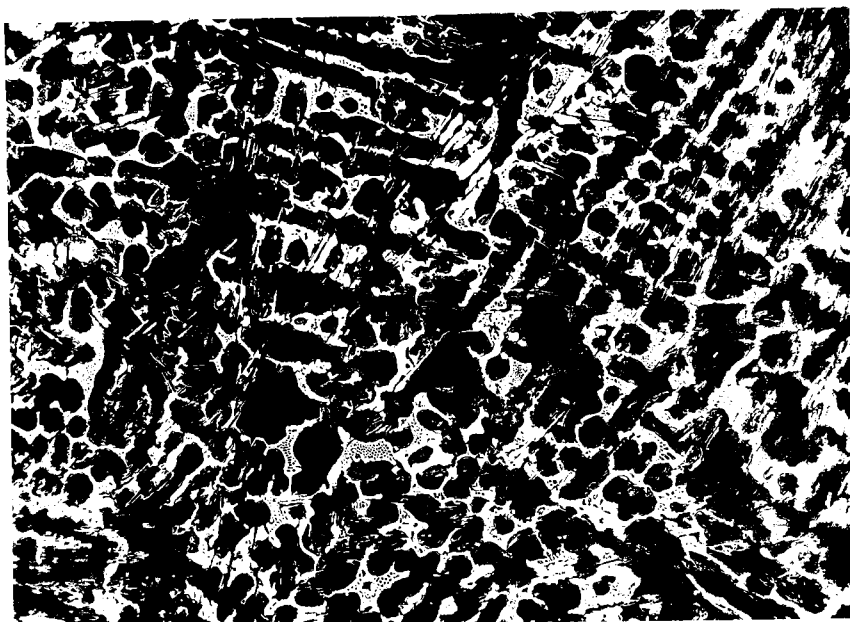
$$T_7 = 11^{\circ}\text{C}$$

g. Zkušební odlitky pro posouzení změny schopnosti dosazování tekutého kovu z nálitku.

U zkušebních vzorků 6 a 7 nebyly na lomových plochách v místě tepelného uzlu vnitřní vady.

h. Metalografické snímky lité struktury.

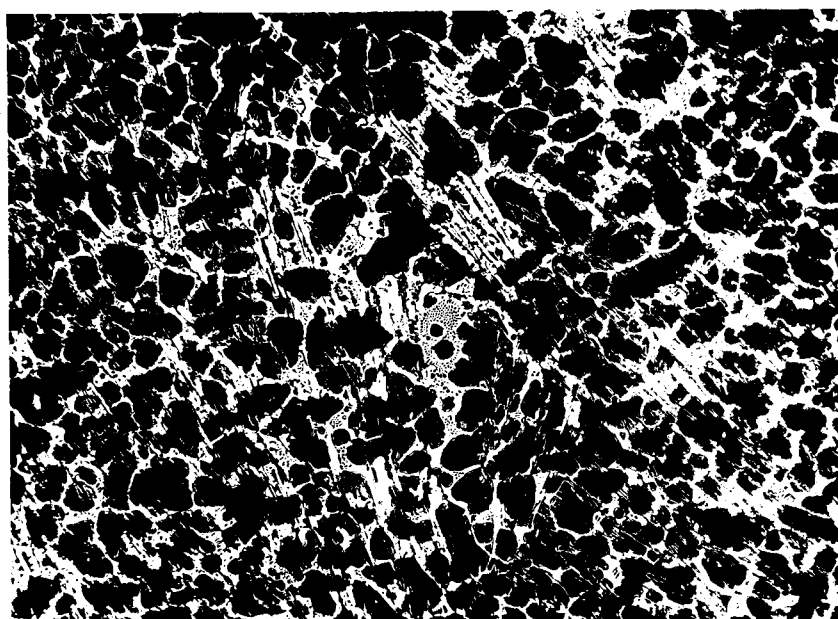
Na obrázku 20 je struktura vzorku 6, na obrázku 21 struktura vzorku 7 (odstátí 64 hodin).



litá struktura
bez odstátí
má ledeburitic-
ký charakter
s malým počtem
destiček

vzorek č. 6
obr. 20

100 x



litá struktura
odstáté taveniny
(64 hod.) je
výrazně destič-
ková.

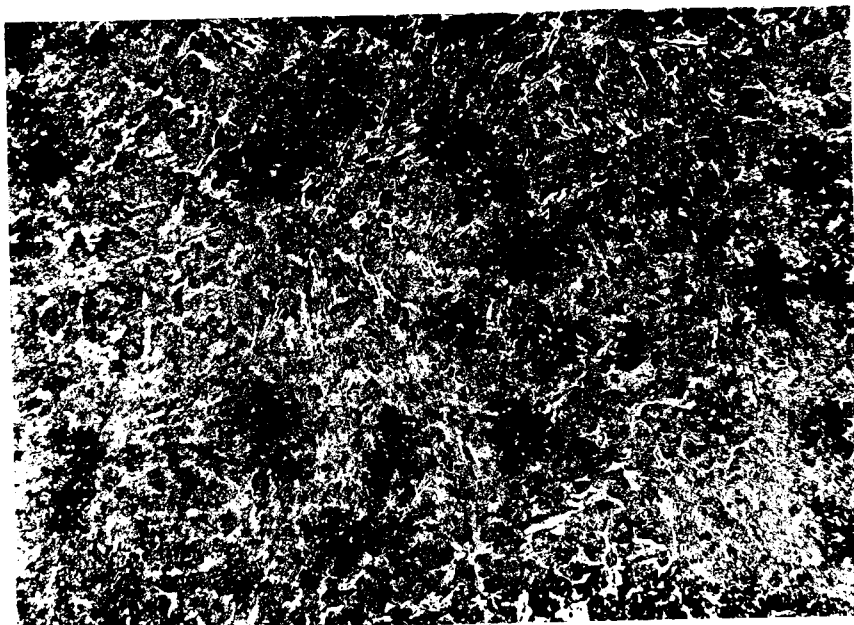
vzorek č. 7
obr. 21

100 x

Struktura odstáté litiny má výrazně jinou morfologii.

i. Žíhací zkoušky.

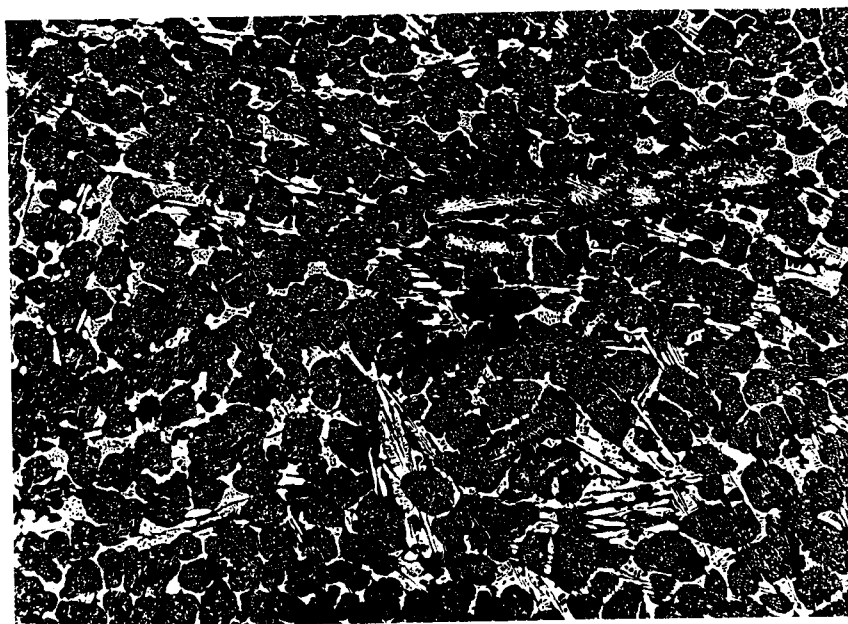
Odlitky tyčí vzorků 6 a 7 byly opět žíhány společně podle diagramu na obrázku 17. Vzhledem k nižšímu obsahu Si byly však upraveny doby setrvání na teplotě 950°C . (1,5; 2,5; 3,5; 5 hod.) Rozpad ledeburitického cementitu u vzorků 6 a 7 je zachycen na obrázcích 22 - 29



vzorek 6/1
obr. 22

100 x

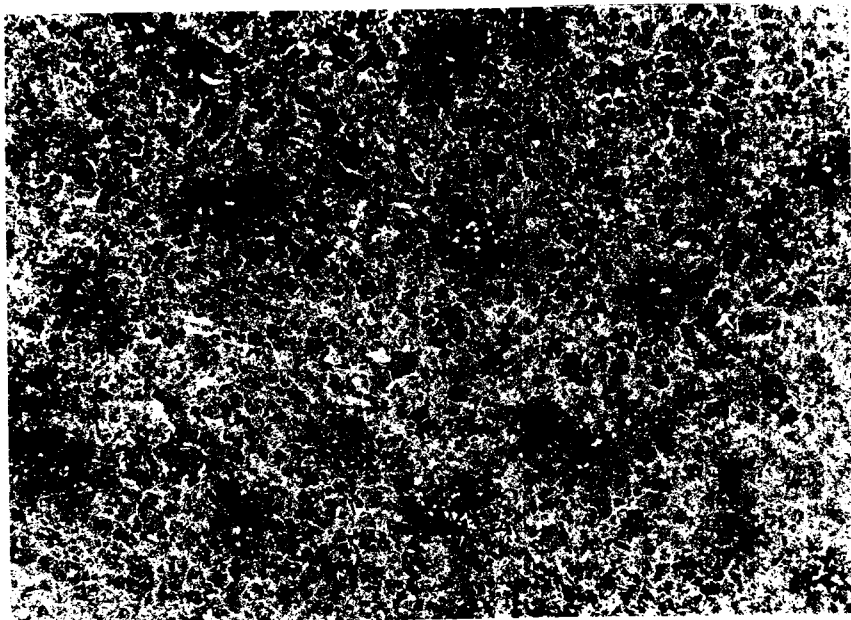
Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 1,5 hod.



vzorek 7/1
obr. 23

100 x

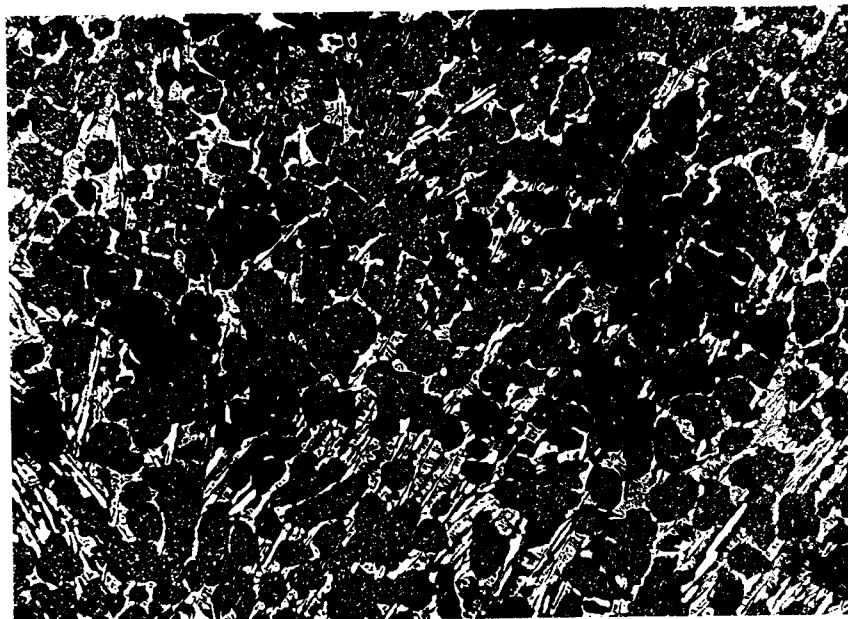
Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 1,5 hod.
(odstátá tavenina)



Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 2,5 hod.

vzorek 6/2
obr. 24

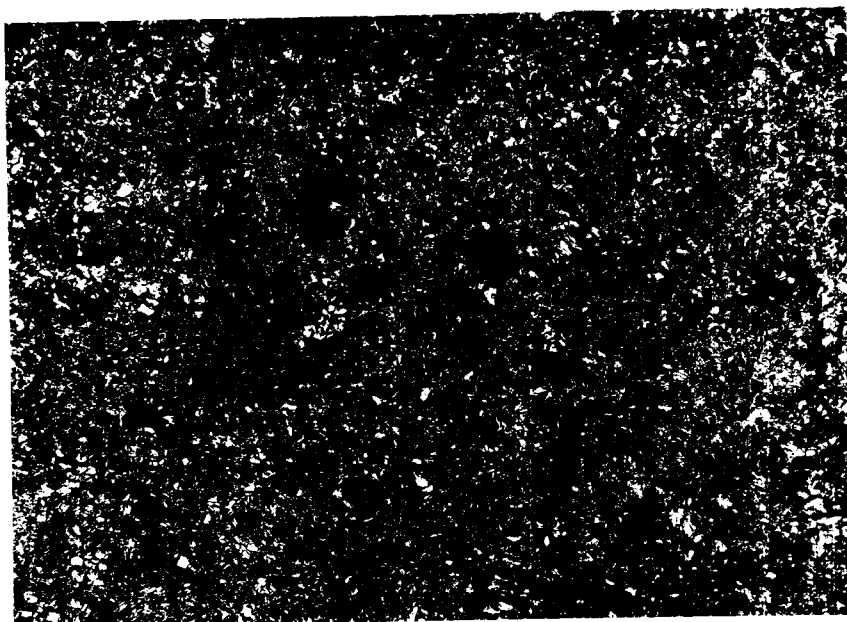
100 x



Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 2,5 hod.
(odstátá tavenina)

vzorek 7/2
obr. 25

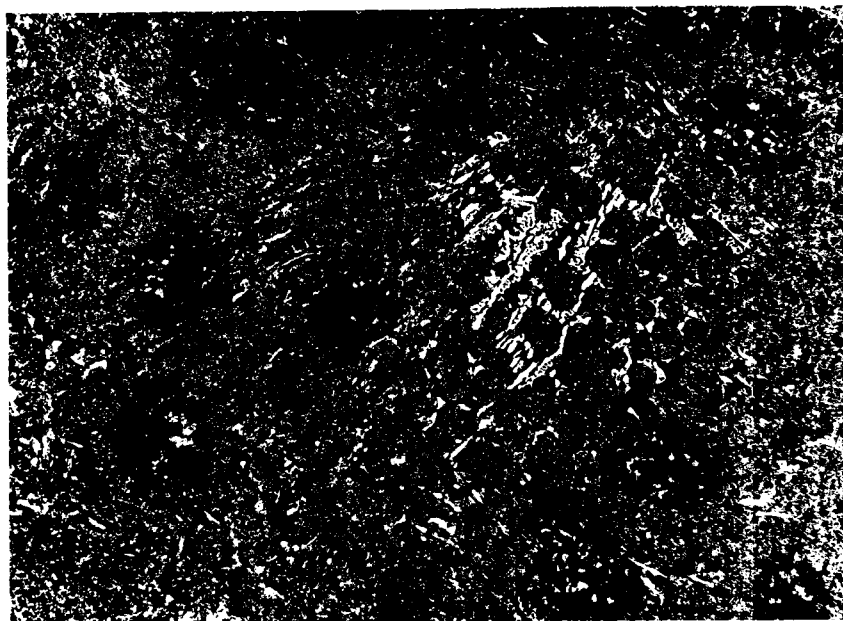
100 x



Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 3,5 hod.

vzorek 6/3
obr. 26

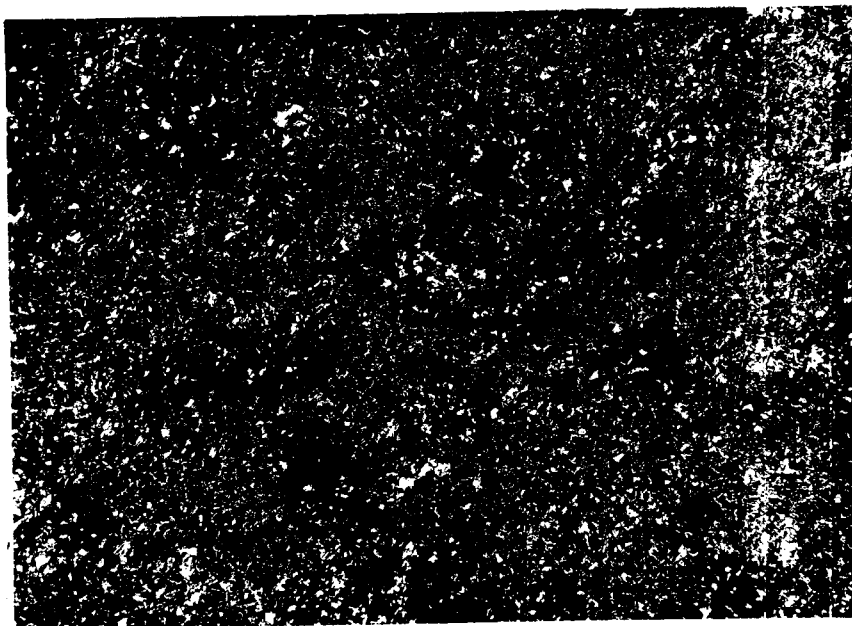
100 x



Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 3,5 hod.
(odstátá tavenina)

vzorek 7/3
obr. 27

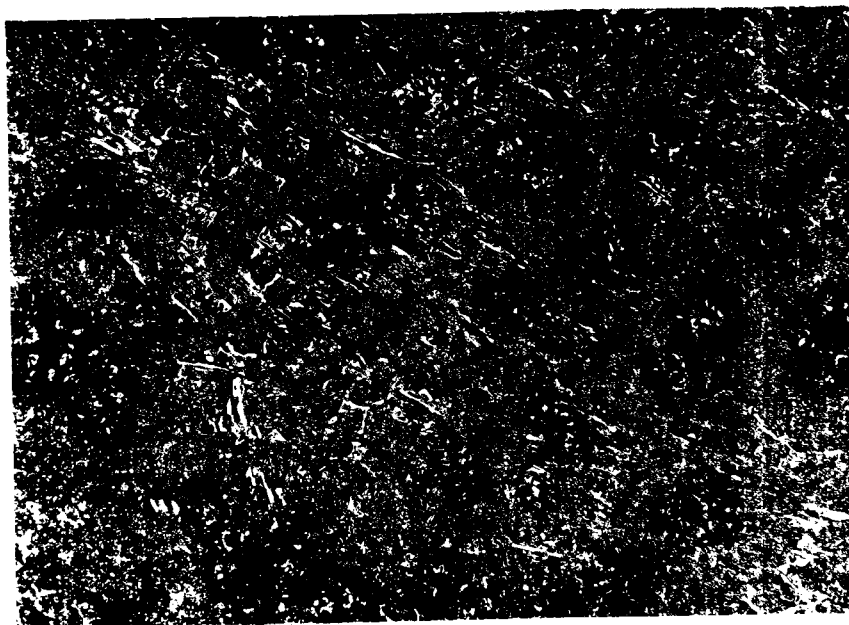
100 x



Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 5 hod.

vzorek 6/4
obr. 28

100 x

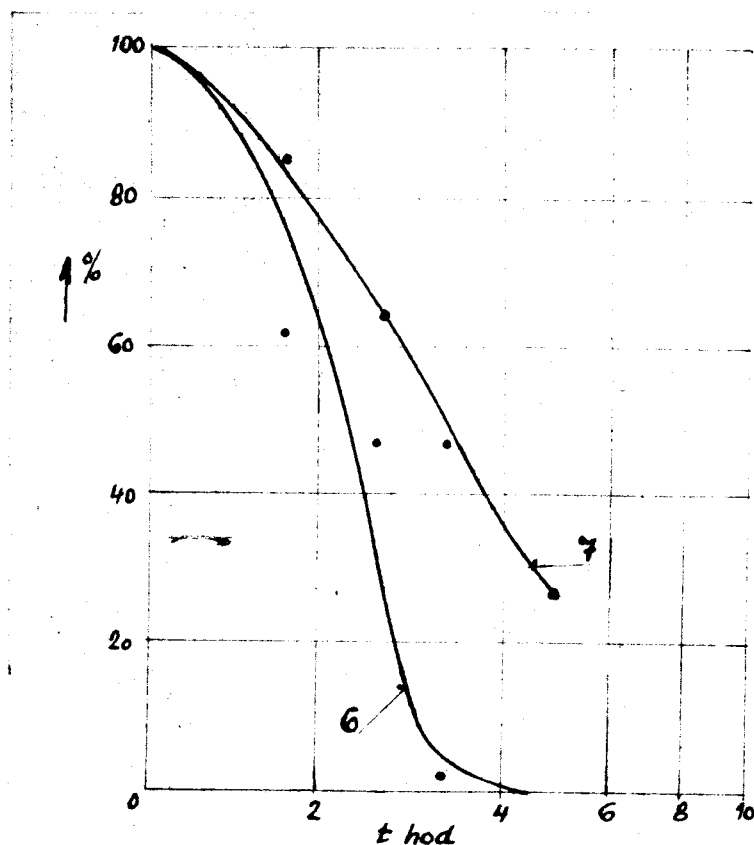


Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 5 hod.
(odstátá tavenina)

vzorek 7/4
obr. 29

100 x

Podíl ledeburitického cementitu v základní struktuře byl zvolen za 100 % a pomocí etalonové řady 7 dle ČSN 42 0461... byly určeny podíly ledeburitického cementitu v jednotlivých časových úsecích.



obr. 30 Závislost podílu ledeburitického cementitu na době výdrže při teplotě 950°C.

j. Celkové hodnocení vzorků 6; 7;

Odstátí litiny v období sobota - neděle se projevilo na křivce chlazení širším teplotním intervalem eutektické reakce ΔT . Stejný byl projev i u vzorků 1 a 2. (Tyto vzorky byly první v sérii zkoušek a při jejich zpracování došlo k řadě nepřesností, proto nebyly jako samostatná série vyhodnoceny.) Rozdíl v teplotách T_{EA} před a po odstátí je malý. Rozdíl v primární bílé struktuře je pozorovatelný a shoduje se s literaturním předpokladem. Rozdíly ve schopnosti dosazování se neprojevily. K velmi podstatnému rozdílu však došlo v rychlosti rozpadu ledeburitického cementitu. U neodstáté litiny došlo k úplnému rozpadu již za 4 - 5 hodin.

Po pěti hodinách obsahoval vzorek odlitý z odstáté taveniny ještě 30 % ledeburitického cementitu. (Původní množství voleno jako 100 %). U tohoto vzorku je možné očekávat celkovou dobu rozpadu ledeburitického cementitu 12 až 15 hodin.

8.3. Celkové hodnocení stávající technologie.

Provedenými zkouškami byl v souladu s literaturou potvrzen vliv dlouhodobého odstátí taveniny (64 hodin) na typ primární struktury, změnu křivky chladnutí v oblasti eutektické reakce a podstatné prodloužení doby rozpadu ledeburitického cementitu. Při dané metodice zkoušek nebyl potvrzen vliv odstátí taveniny na změnu schopnosti dosazovat tekutý kov z nálitku.

Z praktického hlediska výroby temperované litiny při zkráceném temperovacím cyklu na 24 hodiny je tedy nutné zajistit i u odstáté taveniny stejnou dobu potřebnou k rozpadu ledeburitického cementitu jako u ostatního materiálu.

8.4. Návrh úpravy taveniny.

Pro dosažení zvýšené rychlosti rozpadu ledeburitického cementitu bylo voleno očkování litiny. Vycházejí z předpokladu, že velkou dobou odstátí doslo ke snížení počtu různých hůře tavitelných kysličníků a nitridů, které mohou působit jako grafitizační zárodky, byla snaha vznik těchto částic v litině opět vyvolat. Prvkem, který takto působí je bór. Bór tvoří v litině nitridy, které jsou krystalograficky příbuzné s grafitem a slouží jako grafitizační zárodky. /12/

Za své dosavadní praxe jsem již bór používal pro zlepšení grafitizace u odlitků, kde byly řezány závity. Optimální výsledky z hlediska pravidelného vlivu jsem získal při použití boraxu. Tyto poznatky odpovídají pracem Hostinského. /7/ Očkování boraxem bylo také voleno pro jeho nízkou cenu a běžnou dostupnost.

9.5. Zkušební série za použití očkování boraxem.

Při této sérii byly odlity tři vzorky litiny. Vzorek 9 bez odstátí, vzorek 10 po odstátí 64 hodin a vzorek 11 po odstátí 64 hodiny, který byl po naplnění 1/3 odlévací pánve navíc naočkován 0,022 % $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

a. Vsázka, ze které byl kov nataven:

vratný materiál	120 kg
hametit	30 kg
ocelový odpad	100 kg
Fe Si Mn (15 %/60 %)	1 kg
Fe Si (45 %)	1 kg

b. Doba odstátí litiny mezi vzorky.

Mezi vzorky č. 9 a 10, 11 byla 64 hodin

c. Očkování

vzorek 9; 10 očkovoáno 0,02 % Al

vzorek 11 očkovoáno 0,02 % Al + 0,022 % boraxu

d. Chemické složení vzorků.

č.v.	C	Si	Mn	P	S	Cr(%)
9	2,73	0,83	0,43	0,08	0,16	0,06
10	2,70	0,83	0,43	0,08	0,15	0,06
11	2,71	0,84	0,44	0,08	0,15	0,06

e. Teoretická teplota T_E

$$T_{E9} = 1134,3^{\circ}\text{C}$$

$$T_{E10} = 1134,3^{\circ}\text{C}$$

$$T_{E11} = 1134,3^{\circ}\text{C}$$

f. Stanovená teplota T_{EA}

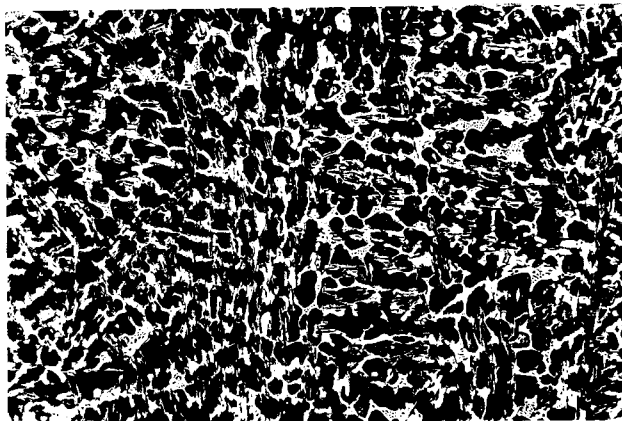
$$T_{EA9} = 1117,5^{\circ}\text{C}$$

$$T_{EA10} = 1117,0^{\circ}\text{C}$$

$$T_{EA11} = 1113,0^{\circ}\text{C}$$

Charakter eutektické reakce na křivce chladnutí byl u všech tří vzorků stejný. U odstáté litiny (očkované i neočkované) se neprojevil prodloužený teplotní interval ΔT . Po naočkování boraxem byl zaznamenán pokles T_{EA} o 4°C .

g. Metalografické snímky lité struktury.



Litá struktura vzorku bez odstátí taveniny. Charakter je převážně ledeburitický.

vzorek č. 9
obr. 31

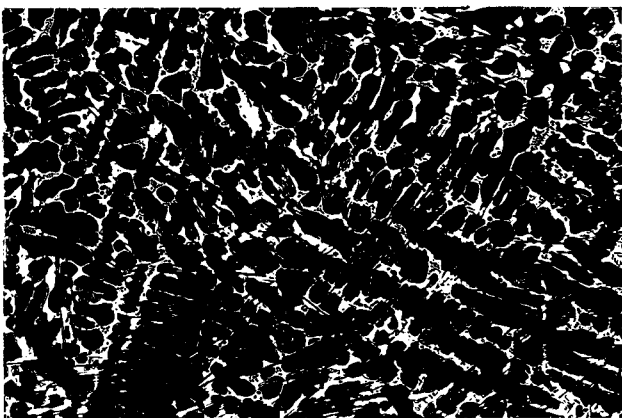
100 x



Litá struktura vzorku z odstáté taveniny. Struktura je podstatně hrubší a více děstičková, než u vzorku č. 9

vzorek č. 10
obr. 32

100 x



Litá struktura vzorku z odstáté taveniny, očkované také boraxem. Struktura je opět více děstičková a hrubší oproti neodstáté tavenině.

vzorek č. 11
obr. 33

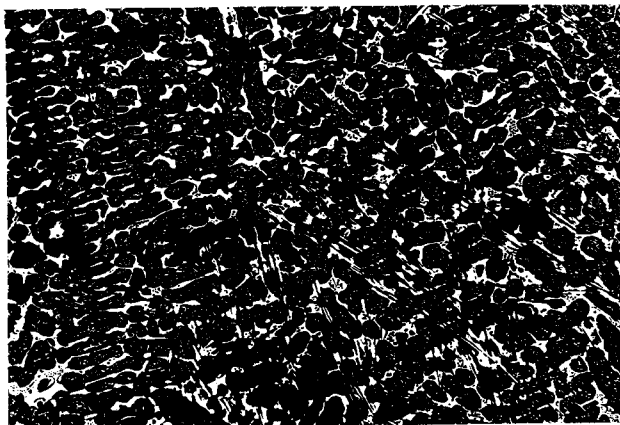
100 x

- h. Zkušební odlitky pro posouzení změny schopnosti dosazování tekutého kovu z nálitku.

U zkušebních odlitků vzorků 9, 10 a 11 nebyly na lomových plochách v místě tepelného uzlu vnitřní vady.

- i. Žihací zkoušky:

Odlitky tyčí vzorků 9, 10 a 11 byly žihány společně podle diagramu na obrázku 17. Doby výdrže na teplotě 950°C byly voleny (1; 2; 3; 4;). Postup rozpadu ledeburitického cementitu u vzorků 9, 10 a 11 je zachycen na obrázcích 34 - 45.



vzorek 9/1
obr. 34

100 x

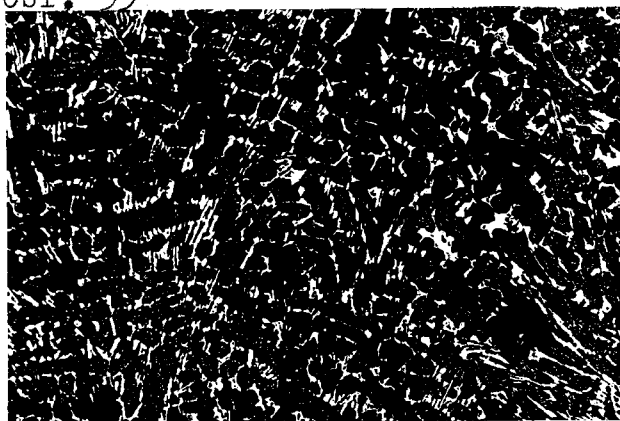
Struktura vzorku neodstáté taveniny po době setrvání na teplotě 1 hod.



vzorek č. 10/1
obr. 35

100 x

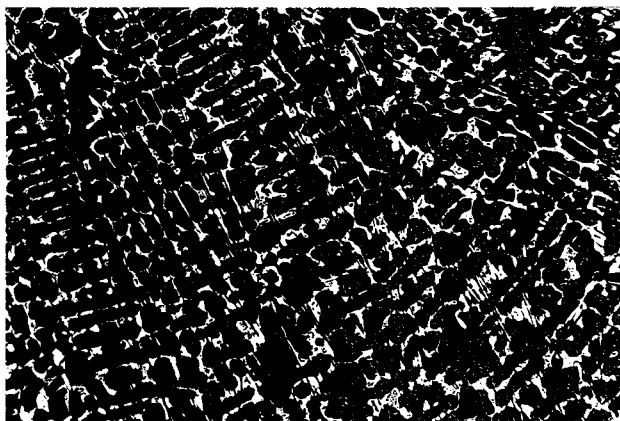
Struktura vzorku po době setrvání na teplotě 1 hod. (odstátá tavenina)



vzorek c. 11/1
obr. 36

100 x

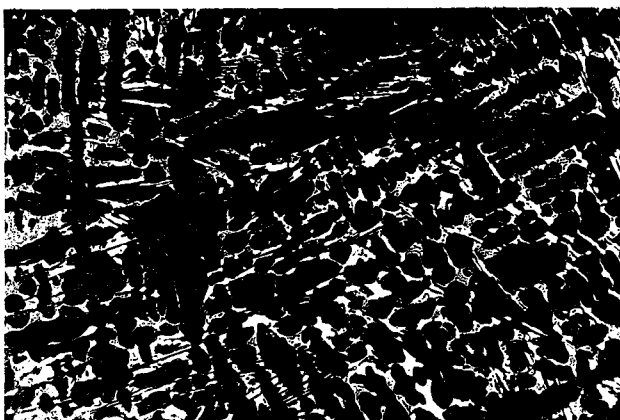
Struktura vzorku po době setrvání na teplotě 1 hod. očkovan boraxem (odstátá tavenina)



vzorek č. 9/2
obr. 37

100 x

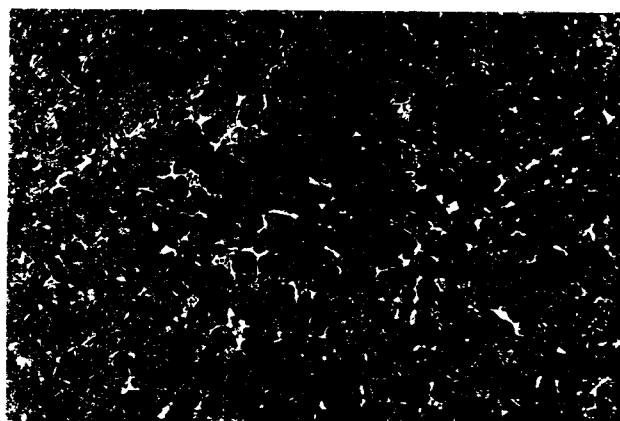
Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 2 hodiny
(neodstátá tavenina)



vzorek č. 10/2
obr. 38

100 x

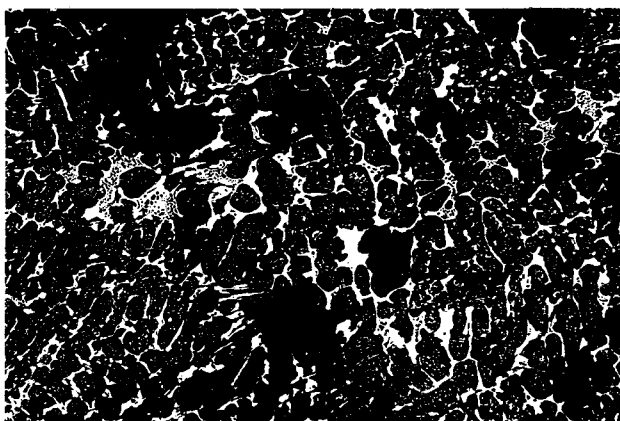
Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 2 hodiny
(odstátá tavenina)



vzorek č. 11/2
obr. 39

100 x

Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 2 hodiny.
Očkováno boraxem
(odstátá tavenina)



Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 3 hodiny
(neodstátá tavenina)

vzorek č. 9/3
obr. 40

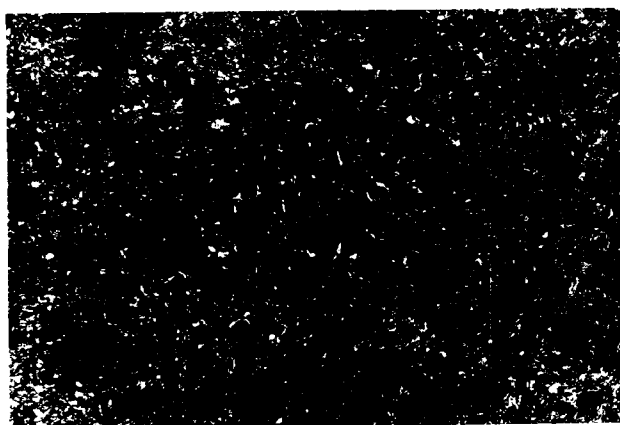
100 x



Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 3 hodiny
(odstátá tavenina)

vzorek č. 10/3
obr. 41

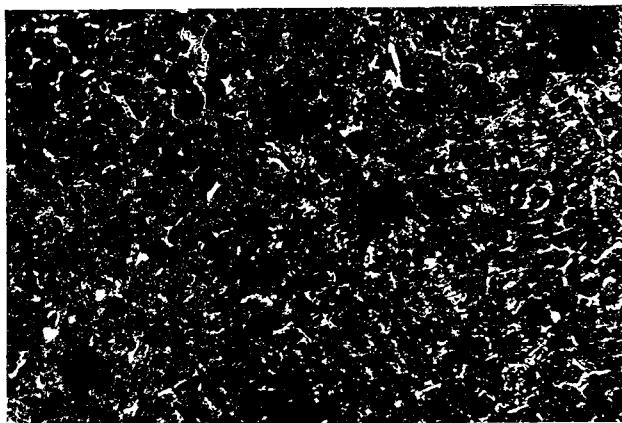
100 x



Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 3 hodiny.
Očkováno boraxem
(odstátá tavenina)

vzorek č. 11/3
obr. 42

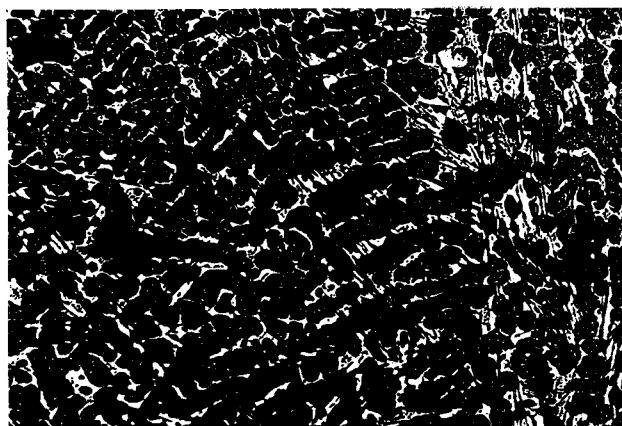
100 x



Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 4 hodiny
(neodstátá tavenina)

vzorek č. 9/4
obr. 43

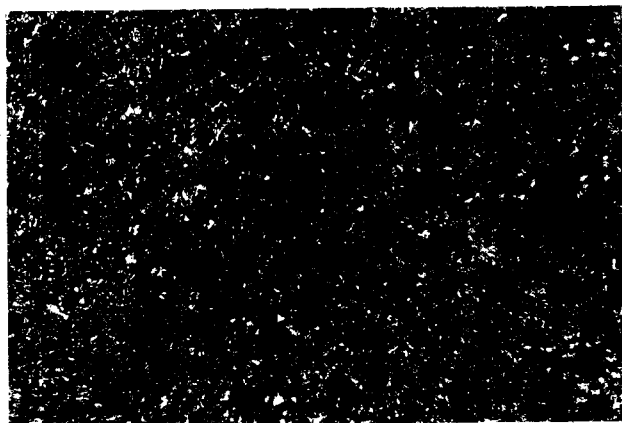
100 x



Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 4 hodiny
(odstátá tavenina)

vzorek č. 10/4
obr. 44

100 x

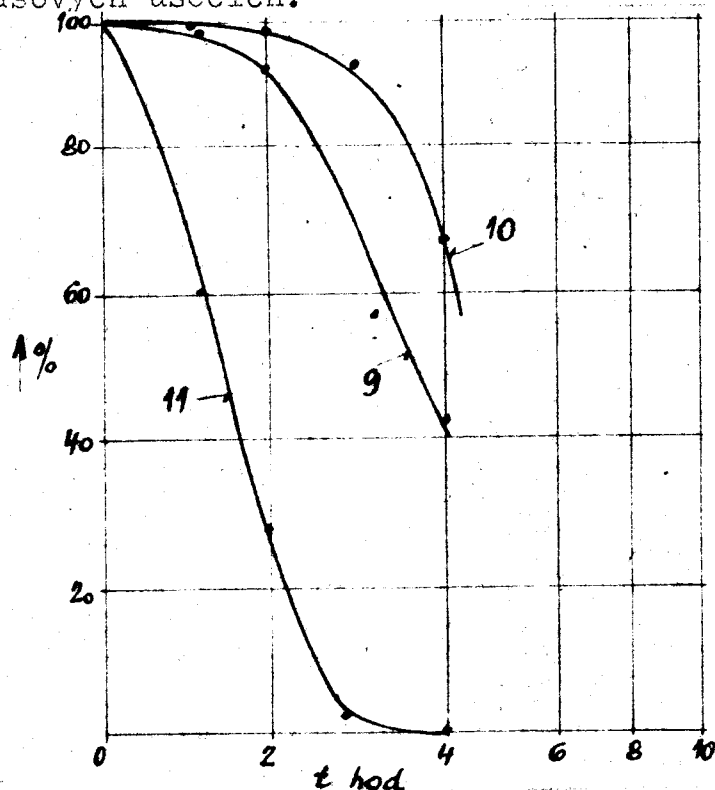


Struktura vzorku
po době setrvání
na teplotě 4 hodiny.
Očkováno boraxem
(odstátá tavenina)

vzorek č. 11/4
obr. 45

100 x

Podíl ledeburitického cementitu v základní struktuře byl zvolen za 100 % a pomocí etalonové řady 7 dle ČSN 42 0461 byly určeny podíly ledeburitického cementitu v jednotlivých časových úsecích.



obr. 46 Závislost podílu ledeburitického cementitu na době výdrže při teplotě 950 °C.

j. Celkové hodnocení vzorků 9, 10 a 11

Tato série vzorků opět potvrdila sníženou rychlost rozpadu ledeburitického cementitu u dlouhodobě odstáté litiny. Závislost odstátí a očkování litiny na teplotě a charakteru průběhu eutektické reakce nebyla u této série pozorována. Provedená úprava očkování odstáté taveniny 0,022 % boraxu měla velmi příznivý výsledek. Po 4 hodinách neobsahovala struktura dvojsložkově očkované litiny ledeburitický cementit. Původní neodstátá litina měla v té době 40 % nerozpadlého ledeburitického cementitu a odstátá litina 60 %. Závislost odstátí na změně schopnosti dosazování tekutého kovu z nálitku nebyla opět zaznamenána.

9. Návrh změny technologie v závodě ČKD Žandov

Pro zajištění potřebné kinetiky rozpadu ledeburitického cementitu u veškerého objemu litiny navrhuji očkovat taveninu, která je odstátá více jak 24 hodin, dvousložkově $0,02 \% \text{ Al} + 0,022 \% \text{ Na}_2 \text{ B}_4 \text{ O}_7 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$.

10. Celkové technicko-ekonomické hodnocení.

Provedená práce prokázala sníženou rychlost rozpadu ledeburitického cementitu u litiny odlité z dlouhodobě odstáté taveniny. Tato tavenina, pokud není upravená, je nevhodná pro následné tepelné zpracování při 24 hodinovém temperovacím cyklu. Po naočkování hliníkem a boraxem je i tento materiál vhodný pro zkrácený temperovací cyklus.

Na daných zkušebních tělesech nebyla potvrzena změna schopnosti dosazování tekutého kovu z nálitku při změně morfologie eutektika.

Při zkouškách nebyla sledována licí teplota. Při obvyklých licích teplotách, které byly používány, se nepředpokládal její vliv na změnu tvaru lité struktury a ani ostatní sledované závislosti.

Během jednoho roku je vlivem dlouhodobého odstátí zasaženo 150 tun taveniny, což představuje 75 tun odlitků.

Na vytemperování tohoto množství materiálu by bylo při 48 hodinovém cyklu zapotřebí 110 700 kWh. Po úpravě taveniny dvousložkovým očkovaním je možné využít zkráceného temperovacího cyklu, kde je spotřeba 1029 kWh/tunu odlitků. /1/ Dojde tedy k celkové roční úspoře 33 522 kWh.

Zvýšené náklady na očkování činí ročně 240 Kčs. Přínosem je i zjednodušení organizace ve výrobě, není-li nutné třídění materiálu pro dva různé temperovací cykly.

11. Z á v ě r

Cílem tohoto úkolu bylo přispět objasněním vlivů technologie při výrobě taveniny k zavedení nového progresivního způsobu žíhání odlitků a pomoci tak k úsporám elektrické energie a omezení investičních nákladů.

Byl stanoven vliv dlouhodobého odstátí taveniny a definován jeho záporný účinek. Tento vliv byl odstraněn dvousložkovým očkovaním taveniny a tím umožněno využívat zkráceného temperovacího cyklu u celého objemu vyráběných odlitků.

Roční úspory při dvousložkovém očkování činí 33 522 kWh.

Dosažené výsledky tedy opravňují ke kladnému hodnocení provedené práce.

Seznam použité literatury.

1. Poskočil, J.: Výzkumná zpráva VÚ CKD Praha o.p.
1379 TIZ 4620, Praha 1979
2. Hloušek, Č.: Výzkumná zpráva SVÚM Z-78-6471,
Brno 1978
3. Jelínek, A.: výzkumná zpráva ČKD Praha o.p.
závod VÚ MVS 1-68 TIZ 4221, Praha 1968
4. Brunklaus, J.H.: Stavba průmyslových pecí
1. vydání Praha 1966
5. Warshal, R.J.: ASTM Transactions Quarterly
svazek 59, 1966 c. 2 str. 162
6. Hostinský, Z.: Kujná litina 1. vydání Praha 1955
7. Hostinský, Z.: Výzkumná zpráva SVÚM Z-58-498
Brno 1958
8. Heine, R.W.: AFS Transactions 77-28 str. 537
9. Heine, R.W.: AFS Transactions 77-118 str. 379
10. Horák, L.: Slévárenství XXIX 1981 č. 11 str. 456
11. Rikard, J.: BCIRA Journal svazek 9, 1961 str. 11
12. Bader, E.I.: Lit. proizvodstvo 1972 č.2 str. 34
ČSN 42 0461
ČSN 42 0704

Je mou milou povinností poděkovat všem pracovníkům o.p. ČKD Praha, kteří od přesného seřízení měřicí aparatury, přes pečlivé provedení chemických rozborů, metalografických snímků, až po pečlivé přepsání rukopisu se mnou spolupracovali, dále děkuji svému konzultantu s. Kholovi.

Děkuji také s. Doc. Ing. Holubcovi, CSc a ing. Simonovi z VŠST Liberec za poskytnuté cenné rady.

V Liberci, 4. června 1982


Karel Seidl