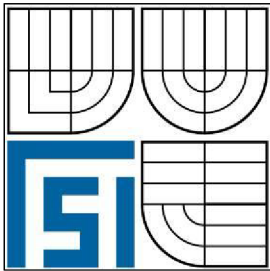


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

PŘEVEDENÍ VÝROBY LITINY Z KUPLOVNY NA INDUKČNÍ PEC

CHANGE IN PRODUCTION OF CAST IRON

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JITKA SEDLÁKOVÁ

VEDOUCÍ
SUPERVISIT

doc. Ing. JAROSLAV ŠENBERGER, CSc.

BRNO 2010







ABSTRAKT

Předmětem této práce je ověřit možnost řízení pevnosti litiny pomocí obsahu zbytkového hořčíku a metodicky zjistit, zda je možné tuto technologii použít v provozu slévárny. Dále je předmětem zjistit ekonomickou stránku výměny kuplové pece za elektrickou indukční pec a metodicky vyhodnotit možnosti vedení tavby na elektrické indukční peci.

Klíčová slova

Litina, tavící agregáty, zbytkový hořčík, indukční pec, kuplová pec, ekonomie.

ABSTRACT

The subject of this work is to validate the possibility of managing the cast iron strength through residual Mg content and to determine methodically whether it is possible to exploit this technology in a foundry. It is another subject to determine the economics of the exchange of cupola furnace for electric induction furnace and methodically assess the possibilities of melting in the electric induction furnace.

Key words

Cast iron, melting aggregates, residual magnesium, induction furnace, cupola furnace, economics.



Bibliografická citace:

SEDLÁKOVÁ, Jitka. PŘEVEDENÍ VÝROBY LITINY Z KUPLOVNY NA INDUKČNÍ PEC. Brno, 2010. 53 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Převedení výroby litiny z kuplovný na indukční pec vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Podpis diplomanta

Datum

.....

Jitka Sedláková



Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Jaroslavu Šenbergerovi, CSc., za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále chci poděkovat Ing. Jaroslavu Laštovicovi a Václavu Kaňovi.



OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
1 HISTORIE SLÉVÁRNY ALFE BRNO S.R.O	9
2 CÍL	10
3 TAVÍCÍ AGREGÁTY POUŽÍVANÉ K VÝROBĚ LITINY	11
3.1 Kuplovná	11
3.1.1 Chemické pochody v kuplovně	11
3.1.1.1 Oxidační pásma	11
3.1.1.2 redukční pásma	11
3.1.2 Výměna tepla v šachtě kuplovně	12
3.1.2.1 Pásma přede	12
3.1.2.2 Pásma tavící	12
3.1.2.3 Pásma přehřívací	13
3.1.3 Výkon kupolní pece	13
3.1.4 Kupolní struska	13
3.2 Středofrekvenční kelímková indukční pec	14
3.2.1 Princip tavení na EIP	14
3.2.2 Výkon EIP	16
3.2.3 Výšku vzednutí hladiny	16
3.3 Pánvová metalurgie	17
4 VLIV METALURGIE NA VLASTNOSTI LITIN	18
4.1 Grafit	18
4.1.1 Lupínkový grafit	19
4.1.2 Kuličkový grafit	19
4.1.3 Červíkový grafit	20
4.2 Základní kovová hmota – perlit, ferit, ledeburit	21
4.2.1 Perlit	21
4.2.2 Ferit	22
4.2.3 Ledeburit	22
4.3 Druhy litin	22
4.3.1 Rozbor litiny s lupínkovým grafitem	22
4.3.2 Rozbor litin s kuličkovým grafitem	24
4.3.3 Rozbor litin s červíkovým grafitem	25
4.3.4 ADI litina	26
4.3.4.1 Tepelné zpracování odlitků z LKG při výrobě ADI	27
4.3.4.1.1 Austenitizace	27
4.3.4.1.2 Rychlé ochlazení z austenitizační teploty	27
4.3.4.1.3 Izotermická přeměna austenitu v austenitoferitické oblasti	28
4.4 Vliv některých prvků	28
4.4.1 Obsah síry	28
4.4.2 Obsah fosforu	29
4.4.3 Vliv niklu	29
4.4.4 Vliv mědi	30



4.5 Modifikace	30
4.5.1 Metalurgická hlediska modifikace hořčíkem	30
4.5.2 Vliv hořčíku na mechanické vlastnosti litiny	31
4.5.3 Odezdnívání sferoidizačního účinku hořčíku (fading efekt)	31
4.6 Očkování	31
4.6.1 Očkovadla	31
4.6.2 Odezdnívání očkovacího účinku	32
5. STÁVAJÍCÍ PROVOZ V ALFE BRNO S.R.O	33
5.1 Popis technologie používané na kuplovně	33
5.1.1 Druhování vsázky	33
5.1.2 Odlévání	33
5.2 Sortiment	34
5.2.1 Stávající sortiment	34
5.2.2 Plánovaný sortiment na EIP	34
5.3 Plánovaná tavírna	34
6 PROBLEMATIKA VÝROBY VÍCE DRUHŮ LITIN NA STEJNÉM TAVÍCÍM AGREGÁTU ...	35
6.1. Popis problému	35
6.2 Návrh experimentu	35
6.2.1 Vedení tavby	35
6.3 Popis experimentu	36
6.3.1 Výroba formy	36
6.3.2 Vedení tavby	36
6.3.3 Výsledné chemické složení	38
6.3.4 Vyhodnocení struktury	38
6.3.5 Mechanické vlastnosti (zkouška tahem)	40
6.4 Vyhodnocení experimentu	41
7 EKONOMIKA	42
7.1 Ekonomické srovnání nákladů na provoz kuplové a indukční pece	42
7.1.1 Náklady na vsázku	42
7.1.1.1 Konstrukce nákladů na vsázku	43
7.1.1.2 Úspora nákladů	44
7.1.1.3 Zhodnocení jednotlivých možností	45
7.1.2 Spotřeba energií	45
7.1.3 Pomocný materiál	47
7.1.4 Mzdové náklady	47
7.1.5 Ostatní náklady	48
7.2 Konstrukce nákladů na indukční peci	48
7.2.1 I. první nákladový model	48
7.2.2 II.nákladový model	49
7.2.3 III. nákladový model	49
7.2.4 souhrn nákladových modelů	50
8 VÝHODY A NEVÝHODY PROVOZU KUPLOVÉ A ELEKTRICKÉ INDUKČNÍ PECE	51
9 Závěr	52
Seznam použité literatury	53

1 HISTORIE SLÉVÁRNY ALFE BRNO S.R.O.

ALFE Brno, s.r.o. byla podle sdělení ing. Radima Jelínka založena v roce 1912 jako první česká slévárna na Brněnsku s názvem Moravia s.r.o. - slévárna železa a kujné litiny. Roku 1949 byla znárodněna a přiřazena k Mosilaně Brno a následně k textilce Partex Nová Včelnice. Vyráběly se zde odlitky pro textilní stroje.

Od roku 1992 je slévárna opět soukromá, prodána potomkům původního majitele. Pokračuje v tradici slévárenské výroby pod názvem ALFE Brno, s.r.o. a zaměstnává 35 zaměstnanců.

Roku 1995 byla ve slévárně zavedena výroba přesných odlitků ze zinku a cínu odlévaných technologií odstředivého lití do gumových forem.

V roce 1996 byla nabídka slévárny rozšířena o kusovou malosériovou výrobu odlitků z hliníkových slitin.



Obr. 1.1 Zaměstnanci slévárny Moravia



2 Cíl

Vedení podniku plánuje rozšíření výrobního programu o náročné druhy litin. S ohledem na kusovou výrobu se plánuje výroba více jakostí litin z jedné tavby (ze stejné vsázky). Tento záměr má být dosažen řízenou modifikací litiny. Spolu s možností vyzkoušet stupňování účinku modifikátoru je třeba zjistit jakým způsobem ošetřovat elektrickou pec, tzn. jak často, kde a jak opravovat vyzdívku pece s použitím jakého materiálu.

Cílem práce je navrhnout technologii modifikace a očkování lití tak, aby byly splněny požadavky na vlastnosti litiny vyráběné ve slévárně ALFE, s.r.o. na nové indukční peci.

V rámci práce má být vypracována metodika pro řízení jakosti litin a ekonomické hodnocení navržené technologie. Řízením jakosti litin se myslí ovlivňování mechanických hodnot řízenou modifikací grafitu. Metodika ekonomického hodnocení by měla zahrnovat rychlý výpočet nákladů pro jednotlivé technologické varianty.

3 TAVÍCÍ AGREGÁTY POUŽÍVANÉ K VÝROBĚ LITINY

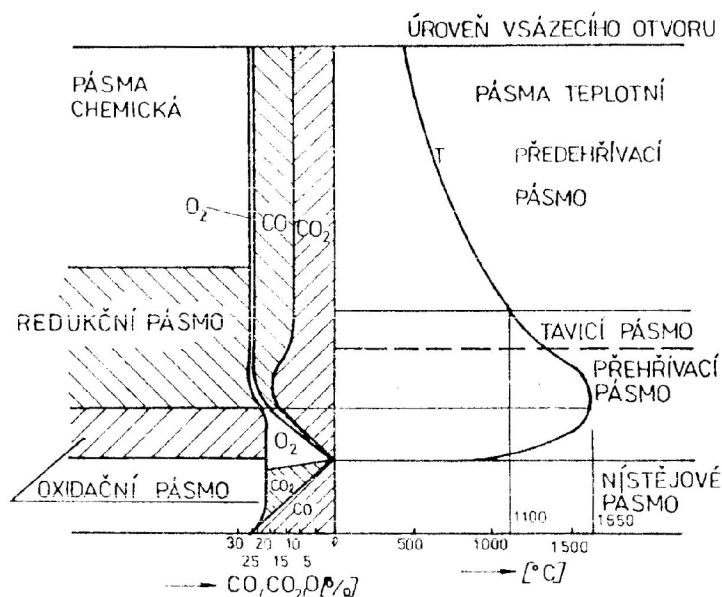
V současné době se litina stále vyrábí na kuplové peci, ale stále víc se rozšiřuje její výroba na peci elektrické a to jak obloukové, tak indukční. Každý způsob výroby má svá specifika a přednosti i nevýhody. Je důležité při volbě tavícího agregátu přihlídnout k sortimentu, k výkonnosti a kapacitě jednotlivých tavících agregátů, pružnosti tavícího agregátu tj. možnost pružně reagovat při změně slitiny a požadavkům na čistotu, emisím. Celkově by tedy měla zapadat do filosofie podniku.

3.1 Kuplovna

Kuplovna je šachtová pec se žárovzdornou vyzdívkou. K procesu tavení v ní dochází ve spodní části, zvané nístěj [1].

3.1.1 Chemické pochody v kuplovně

Obecně se přijímá tzv. redukční teorie, která předpokládá, že v kuplovně vzniká redukční a oxidační pásmo. Jednotlivá pásma jsou názorně zakreslena v obr. 3.1 [1,2].



Obr. 3.1. Schéma pásem v kupolní peci

3.1.1.1 Oxidační pásmo

V oxidačním pásmu dochází k dokonalému spalování dle rovnice (3.1). Vyskytuje se v něm volný kyslík a uvolňuje se zde tepelná energie. Velikost oxidačního pásma závisí zejména na velikosti a reaktivnosti koksu, teplotě, množství a rychlosti dmýchaného větru [2].



3.1.1.2 Redukční pásmo

V redukčním pásmu dochází k spalování dle rovnice (1.2), tedy nedokonalému spalování. V redukčním pásmu dochází k tavení a přehřívání taveniny. Dochází zde k poklesu teploty spalin v důsledku endotermické reakce a předávání tepla vsázce. Čím vyšší je maximální dosažená



teplota a čím je reaktivnější koks, tím rychleji klesá teplota spalin[&]. Současně s ovlivňováním velikosti a rozložení kyslíkového pásma má vliv na rozložení redukčního pásma i počet dmyšných trubíc a vnitřní průměr kuplovný[1,2].



Složení plynů hodnotí součinitel spalování η . Vztah vyjadřující hodnotu součinitele spalování uvádí rovnice (3.3). Jeho hodnota se v kuplovně pohybuje 35 – 50 % [1].

$$\eta = \frac{CO_2}{CO + CO_2} \cdot 100 \quad (3.3)$$

Praktickými zkouškami při provozu kuploven byly potvrzeny uvedené teoretické zákonitosti spalovacích pochodů a stanoveny závislosti spalovacího poměru η :

- na jakosti koksu (kusovitosti)
- na spotřebě tavícího koksu
- na množství spalovacího větru
- na teplotě spalovacího větru

3.1.2 Výměna tepla v šachtě kuplovný

Z hlediska předávání tepla spalin a rozzhaveného koksu vsázce je možno šachtu kuplovný rozdělit po výšce směrem od vsázkového otvoru dolů do 4 pásem:

- pásmo předehřívací - vsázka se předehřívá do teploty tavení;
- pásmo tavící - vsázka se taví;
- pásmo přehřívací - kapky tekutého kovu, strusky se přehřívají na teplotu přehřátí;
- pásmo nístějové - kde se nashromážděný tekutý kov a struska ochlazují.

Rozmístění těchto pásem není souhlasné s pásmo spalovacími - kyslíkovými a redukčními (obr. 3.1) [1,2].

3.1.2.1 Pásmo předehřívací

Výměna tepla mezi spalinami a vsázkou v pásmu předehřívacím se děje konvekcí, a to za podmínek, kdy tepelný obsah spalin je větší než množství tepla, které může vsázka převzít. Přitom podmínky přestupu tepla v předehřívacím pásmu je možno zlepšit:

- zvětšením množství spalin;
- zvýšením teploty spalin vstupujících do předehřívacího pásma;
- zmenšením rozměrů kusů vsázky;
- prodloužením doby vzájemného styku spalin ve vsázce[1,2].

3.1.2.2 Pásmo tavící

Podmínky přestupu tepla v tavícím pásmu i podmínky jeho zlepšení jsou stejné jako v předehřívacím pásmu. Horní úroveň tavícího pásma odpovídá výšce, kdy teplota spalin dosáhla tavící teploty nejnižší tavitelné složky vsázky a je totožná se spodní úrovní pásma předehřívacího. Vsázka je různorodá a tavící teplota jednotlivých složek vsázky je rozdílná, což má vliv na šířku tavícího pásma. Použití oceli ve vsázce a ferostlin s vysokou tavící teplotou tavící pásmo rozšiřuje, tj. snižuje jeho spodní úroveň směrem k dmyšným trubícím. Horní úroveň předehřívacího pásma je totožná se spodní úrovní tavícího pásma [1,2].



3.1.2.3 Pásmo přehřívací

V přehřívacím pásmu jsou podmínky přestupu tepla jiné, než podmínky v předehřívacím a tavícím. Přestup tepla probíhá hlavně zářením z rozžhaveného koksu a stykem kapek kovu a strusky s rozžhaveným koksem. Přitom teplota povrchu koksu je velmi blízká teplotě spalin. Přehřívací pásmo má rozhodující vliv na dosažení maximální teploty vytavené litiny (výkonu kuplovný) [1,2].

3.1.3 Výkon kupolní pece

Podmínky pro přestup tepla v přehřívacím pásmu je možno zlepšit zvýšením teploty povrchu koksu a prodloužením doby průchodu kapek roztaveného kovu a strusky přehřívacím pásmem.

Zvýšení teploty povrchu koksu lze dosáhnout zvýšením spalné teploty koksu. Na zvýšení teploty má vliv množství foukaného větru a zejména zvětšení množství kyslíku ve spalovacím větru a zvýšení jeho teploty. Doba průchodu roztaveného kovu a strusky přehřívacím pásmem je přímo úměrná jeho výšce. Čím výše je ukončeno tavení, tj. čím vyšší je spodní úroveň tavícího pásma, tím vyšší je přehřívací pásmo.

Na zvýšení přehřívacího pásma má příznivý vliv také zvětšení kusovitosti koksu, zmenšení velikosti kovové vsázky. Naopak nepříznivý vliv má předehřátí větru. Tím, že urychluje průběh redukční reakce, zmenšuje kyslíkové pásmo a zvyšuje rychlost poklesu teploty v redukčním pásmu, celkově tavící pásmo snižuje [1].

3.1.4 Kupolní struska

Význam přítomnosti strusky v průběhu tavení spočívá v ochraně tekutého kovu před oxidací spalinami a v možnosti rafinace tekutého kovu (zejména u strusek zásaditých).

Zdroje vzniku strusky jsou:

- propal prvků kovové vsázky (Fe, Si, Mn);
- odtavování keramické vystýlky kuplovný;
- písek, nečistoty a oxidy ulpělé na povrchu kovové vsázky;
- popel koksu;
- struskotvorné přísady.

V závislosti na konstrukci kuplovný (s vystýlkou, bez vystýlky), charakteru tavícího pochodu, povrchové čistotě vsázky, množství struskotvorných přísad, atd. je podíl vlivu jednotlivých zdrojů navzniku strusky různý. Celkové množství strusky bývá v mezích 5 až 10 % hmotnosti kovu [1].

Tvorba strusky a její chemické složení

Tvorba strusky záleží primárně na v chemických reakcích mezi křemičitany popela koksu a zásadami taviva sekundárně v reakcích mezi primární struskou a keramickou vystýlkou kuplovný. Rozmezí a chemické chemického složení strusek uvádí tab. 1.1. Většina oxidů strusky má podstatně vyšší tavící teplotu, než jaké se dosahuje v šachtě kuplovný. Jejich rozmezí je od 540° C jako má P₂O₅ po 2640° C jako má MgO. Jejich vhodným vzájemným obsahem ve strusce se dosahuje nízké tavící teploty strusky [1].

Tab. 3.1. Složení strusek

komponenta	% SiO ₂	% CaO	% Al ₂ O ₃	% MgO	% MnO	% FeO	% S	% SiO ₂
obsah	30 - 50	25 - 40	7 - 20	1 - 15	2 - 10	2 - 10	0,05 - 0,8	30 - 50

3.2 Středofrekvenční kelímková indukční pec

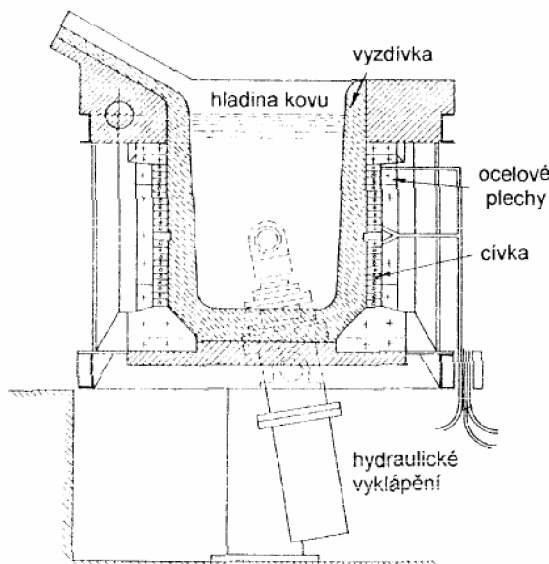
Při tavení slitin železa v elektrické indukční peci dále jen EIP jsou dosahovány zejména příznivé obsahy exhalací a propalů vsázkových komponent. Tyto přednosti, stejně jako vysoké tavící výkony při relativně nízké hlučnosti agregátů a možnosti rychlého ohřevu taveniny na požadovanou teplotu, kompenzují jisté nevýhody v podobě relativně vyšší energetické a investiční náročnosti EIP. Přísnější kritéria platící pro druhování vsázkových komponent při tavení v EIP jsou na druhé straně vyvážena prakticky neomezenou možností sázení levnějšího ocelového odpadu [1,3].

Tavení slitin železa v EIP chápeme jako přetavbu vsázky a provedení korekce chemického složení taveniny na požadovanou jakost dosazením legujících a očkovacích přísad. V EIP neprobíhají metalurgické pochody na bázi difuzních procesů mezi struskou a kovem v důsledku vysoké hodnoty viskozity strusky zapříčiněné především její nízkou teplotou, ale také malou kontaktní plochu pro difuzní reakci mezi struskou a kovem [1].

3.2.1 Princip tavení na EIP

Během tavení v EIP je elektrická energie přiváděna do vsázky prostřednictvím elektromagnetické indukce. Střídavý proud o vhodné frekvenci přiváděný do primární cívky (induktoru) iniciuje v jejím okolí střídavé elektromagnetické pole, které vyvolává ve vsázce uložené v působnosti tohoto „pole“ vznik vířivých proudů, protékajících vsázkou a způsobující její ohřev [1,2].

Kelímková EIP pracuje jako vzduchový transformátor s jedním závitem nakrátko v povrchové vrstvě vsázky. Základní částí EIP je induktor (primární cívka) a žáruvzdorný kelímek viz. obr. 3.2. Cívka induktoru je tvořena silnostěnnou měděnou trubkou chlazenou vodou, resp. vzduchem [1].



Obr. 3.2. Schéma EIP [3]

Necháme-li protékat cívkou proud o určité frekvenci, vznikne ve vsázce kelímku střídavé magnetické pole, jenž dává vzniknout vířivým proudům ve vsázce doprovázeným vývinem tepla způsobujícím pozvolné tavení vsázky. Cívka bývá napájena proudem o požadované frekvenci zajišťované v zařízeních generátorového trupu respektive tyristorech.

Elektromagnetická síla nezbytná ke vzniku zmíněných vířivých proudů ve vsázce je dána vztahem (3.4) [1,2]:

$$E = 4,4 \cdot \phi \cdot f \cdot n \quad (3.4)$$

kde E – elektromagnetická síla [V], ϕ – indukční tok [Wb], f – frekvence [Hz], n – počet závitů induktoru.

Uspořádání siločar magnetického pole vznikajícího při průchodu proudu induktorem je zřejmé z obr. 3.3. Takové uspořádání způsobuje, že největší hustota vířivých proudů vznikajících ve vsázce se koncentruje ve vrstvě podél vnitřní vyzdívky kelímku EIP. Vzdálenost od povrchu kelímku, během které poklesne proudová hustota indukovaného proudu na 37 % své maximální hodnoty říkáme hloubka průniku δ . Její hodnotu stanovíme ze vztahu (3.5):

$$\delta = \left(\frac{1}{2\pi} \right) \cdot \sqrt{\frac{109 \cdot \rho}{\mu \cdot f}} = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}} \quad (3.5)$$

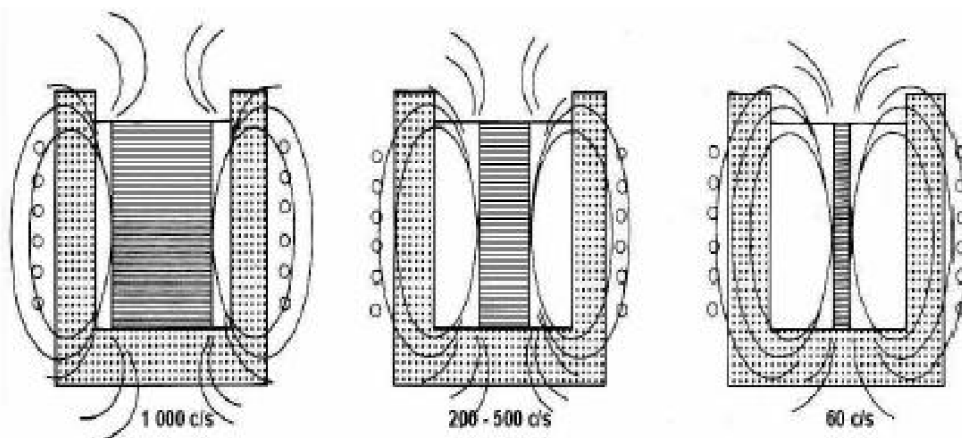
kde δ – hloubka průniku [cm], ρ – měrný odpor válce [$\Omega \cdot \text{cm}$], μ - poměrná permeabilita válce, f – frekvence proudu [c/s].

Ze vztahu vidíme, že hloubka průniku se zvyšuje s poklesem kmitočtu. Pro praktickou aplikaci je však frekvence omezena tzv. minimální hodnotou kmitočtu danou vztahem (3.6):

$$f_{\min} \geq 2,5 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{\rho}{d^2} \right) \quad (3.6)$$

kde f_{\min} – minimální frekvence proudu [c/s], ρ – měrný odpor kovu [$\Omega \cdot \text{cm}$], d – střední průměr vsázky (kelímku).

Výraz (3.6) dokumentuje, že větší EIP vyžadují nižší hodnotu kmitočtu. Z rovnice (3.5) je patrné, jak musíme dbát na dokonalé uložení vsázky, zejména kolem vnitřního povrchu kelímku [1,2,3].



Obr. 3.3. Uspořádání siločar magnetického pole v EIP [3]

3.2.2 Výkon EIP

Výkon EIP využitý ve vsázce na ohřev kovu se udává vztahem (3.7):

$$P = I^2 \cdot n^2 \cdot 2\pi^2 \cdot \left(\frac{d}{h}\right) \cdot \sqrt{\rho \cdot \mu \cdot f \cdot 10^{-9}} \quad (3.7)$$

kde P – výkon využitý ve vsázce k ohřevu kovu [W], I – intenzita proudu v induktoru [A],
 n – počet závitů, d – střední průměr kelímku [cm].

Z této závislosti je zřejmé, jak nevhodné je přesazovat vsázku v kelímku nad úroveň induktoru. Za účelem zvýšení účinků EIP se provádí kompenzace vysoké hodnoty jalového výkonu (představovaného v praxi vyšší hodnotou induktivního proudu) zvýšením hodnoty kapacitního proudu kondenzátorů. Velikost kapacity zařazených kondenzátorů se volí tak, aby bylo dosaženo rezonance mezi kapacitou a indukčností EIP. U moderních pecí se toto „dolaďování“ provádí zcela automaticky[1,3].

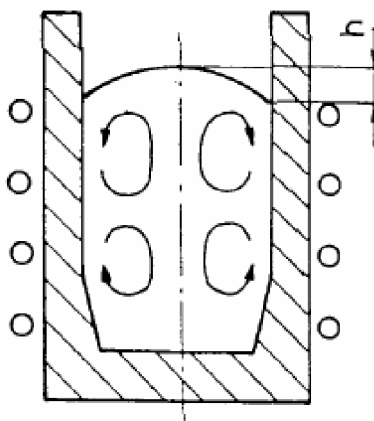
3.2.3 Výšku vzedmutí hladiny

Proces tavení v EIP je rovněž doprovázen elektrodynamickými účinky na taveninu. Tento jev je vyvolán vzájemně se odpuzujícími silami způsobujícími zhuštění magnetických siločar v prostoru mezi cívkou a vsázkou. Výslednicí tohoto působení je vyvýšení střední části hladiny taveniny (vytvoření „hřebenu“), které dává vzniknout míchacímu efektu v tavenině podle obr. 1.4. Výšku vzedmutí hladiny stanovíme ze vztahu (3.8) :

$$b = \frac{k \cdot \rho}{\sqrt{f}} \quad (3.8)$$

kde b – zvýšení hladiny lázně [cm], ρ – měrný výkon indukovaný v tavenině [$\text{kW} \cdot \text{t}^{-1}$],
 f – frekvence střídavého proudu [Hz], k – konstanta

Výška „hřebenu“ na hladině a tedy intenzita míchání taveniny roste s poklesem kmitočtu přiváděného proudu. To znamená, že EIP na síťovou frekvenci se vyznačují největším míchacím účinkem[1,2,3].



Obr. 3.4 Výška vzedmutí hladiny na EIP [2]



3.3 Pánvová metalurgie

Chemické složení výchozí litiny, zvláště litiny z kuplovný, není dostatečně reprodukovatelné, aby umožnilo výrobu vysoce jakostních odlitků. Odchyly jsou způsobeny nestálostí vsázkového materiálu, způsobem provozu kuplovný a následně ztrátou určitých prvků atd. Rozptyl hodnot je zvláště výrazný u obsahů křemíku, uhlíku a síry. Tavení v elektrických pecích umožňuje přesnou a pružnou korekci chemického složení. Nevýhodou je omezení metalurgické rafinace, které vyvolává nutnost použít vysoce jakostní vsázkové materiály. Toto a poměrně vysoké náklady na energii značně ovlivňuje ekonomii procesu tavení [4].

Vývoj metalurgické technologie litiny s kuličkovým grafitem je zaměřen na přenos určitých operací z tavící pece do pánve. Přenos umožňuje použít tavící pec jako "tavící stroj" a zvýšit její využití, jakož i snížit nebo dokonce vyloučit zásadní změny v chemickém složení a umožňuje tak pracovat se standardní výchozí litinou (tj. stejné chemické složení) pro výrobu různých značek litiny. Z důvodu teplotních ztrát, oxidace litiny a vzniku strusky je vhodnější kombinovat pánvovou metalurgii s modifikováním hořčíkem v jedné nádobě [4].

Pro stejnoměrné rozložení přídatných materiálů a účinnou reakci, jakož i oddělení produktů reakce, je nutné intenzivní míchání litiny. Typickým procesem pánvové metalurgie je odsíření, kdy se musí použít promíchávání buď plynem, nebo mechanickým zářením. Rozbor metalurgických operací při výrobě litiny s kuličkovým grafitem ukazuje, že z tavící pece do pánve lze přenést následující kroky [4]:

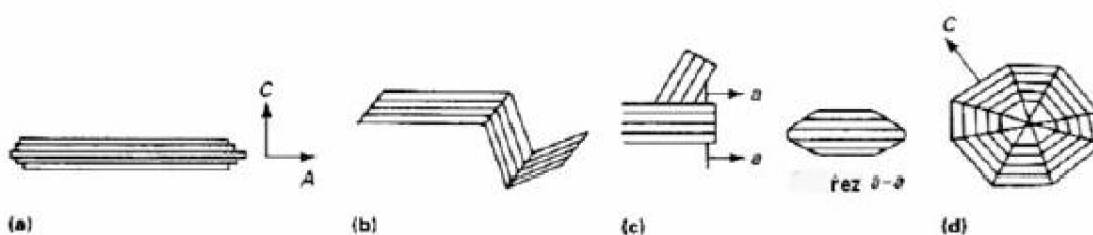
- korekci chemického složení: Si, C, Mn, Cu atd.;
- odsíření;
- odplynění litiny;
- modifikace hořčíkem;
- oddělování nekovových částic.

4 VLIV METALURGIE NA VLASTNOSTI LITIN

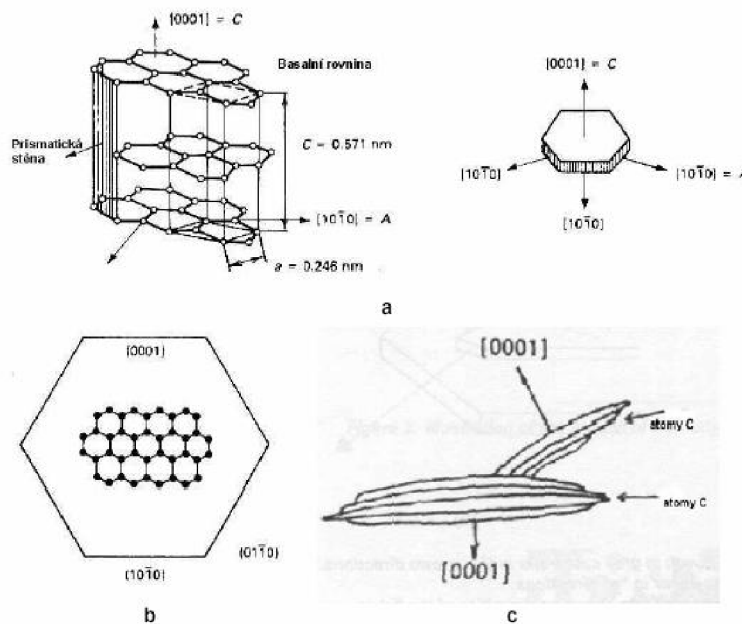
Struktura litin je tvořena základní kovovou hmotou a grafitem. Na tvar a velikost vyloučeného grafitu má vliv – chemické složení, rychlost ochlazování, modifikační činidla a očkovací přísady. Jako modifikační prostředek můžeme používat hořčík či kovy vzácných zemin [2,3].

4.1 Grafit

Grafit je krystalická forma uhlíku krystalizující v hexagonální soustavě. Podle způsobu vzniku jej dělíme na eutektický, primární (v litině nežádoucí), grafit vznikající rozpadem metastabilních složek při tepelném zpracování. Z metalurgického hlediska nás zajímá především grafit eutektický z ohledu na morfologii jeho vyloučení. Vlivem obsahu sferoidizačních prvků můžeme získat tři základní druhy grafitu – lupínkový, červíkový (vermikulární), kuličkový [2].



Obr. 4.1. Typy grafitu vyskytující se v austenitu – v grafitickém eutektiku a) lupínkový grafit, b) kompaktní/vermikulární grafit, c) korálový grafit, d) zrnitý grafit



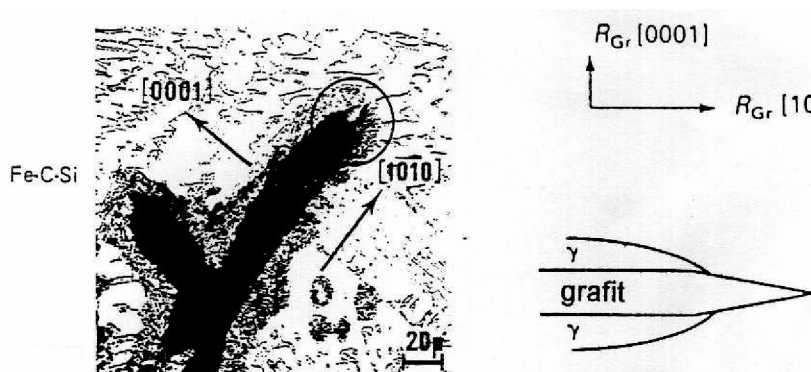
Obr. 4.2. Krystalická stavba grafitu: a) hexagonální struktura grafitu znázorňující jednotlivé buňky, b) krystalická stavba grafitu v basálních rovinách, c) růst lupínkového grafitu [3]

Mechanismus růstu grafitického eutektika vysvětluje celá řada teorií. Podle často akceptované teorie růstu na defektech krystalové mřížky dle Minkoffa a Luxe se růst útvarů grafitu uskutečňuje třemi různými mechanismy:

- ve směru $[10\bar{1}0]$ mechanismem dvoudimensionální nukleace na planárních rovinách,
- na defektech hranic, vzniklých např. pootočením sousedních bazálních rovin [3].

4.1.1 Lupínkový grafit

Růst grafitu je spojen s přítomností relativně vysokého obsahu kyslíku a síry. Tyto prvky se koncentrují na planárních rovinách (prismových) mřížky grafitu, kde snižují velikost povrchového napětí a usnadňují růst grafitu na těchto rovinách. Růst lupínkového grafitu začíná na vhodném krystalizačním zárodku a pokračuje připojováním atomů uhlíku k planárním rovinám ve směru $[10\bar{1}0]$, tj. ve směru „a“. Růst v tomto směru je energeticky méně náročný než vytváření nových bazálních rovin ve směru $[0001]$ a dochází k němu již při poměrně malém přechlazení. Při malém podchlazení je rychlost růstu grafitu ve směru „a“ větší, než rychlost růstu austenitu. Lamela grafitu proto poněkud předbíhá austenit a vyčnívá do taveniny. Lamelární grafit roste v přímém kontaktu s taveninou. Ve směru „c“ je lamela ohraničena austenitem [2].



Obr. 4.3. Růst lamelárního grafitu

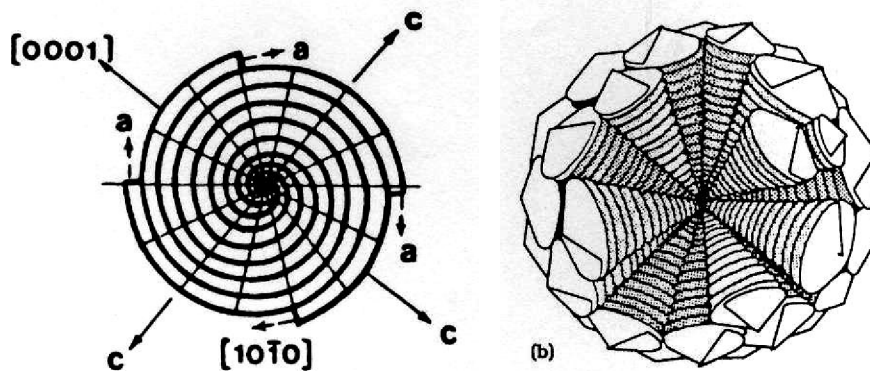
4.1.2 Kuličkový grafit

K růstu kuličkového grafitu dochází po modifikaci litiny globulitizačními prvky. Jako modifikační prvek se používá téměř výhradně hořčík, popřípadě společně s cérem a dalšími kovy vzácných zemin. Obsah hořčíku který je rozpuštěn v tavenině po proběhnutí odsíření, desoxidáčnických reakcí a dalších ztrát se nazývá zbytkový hořčík. Pro dosažení kuličkového tvaru grafitu je nutný obsah zbytkového hořčíku vyšší než 0,025%. Obvyklý obsah v GJS bývá 0,03 – 0,06 % Mg [2].

Mechanismus vzniku kuličkového grafitu se snaží vysvětlit celá řada teorií. Často se předpokládá, že dochází ke spirálovému růstu grafitu sbalováním lamel, rostoucích ve směru „a“, po obvodu kuličky obr. 4.4.a Tento model vychází z přirozené tendence grafitu v čistých slitinách ke sbalování[5].

Další autoři, např. Minkoff, předpokládají, že Mg a Ce se koncentrují na mezifázovém rozhraní a blokují růst v prismových rovinách. Další růst grafitu je pak možný pouze vytvářením nových bazálních rovin ve směru „c“ mechanismem šroubových dislokací – obr. 4.4. - b. Způsob růstu je

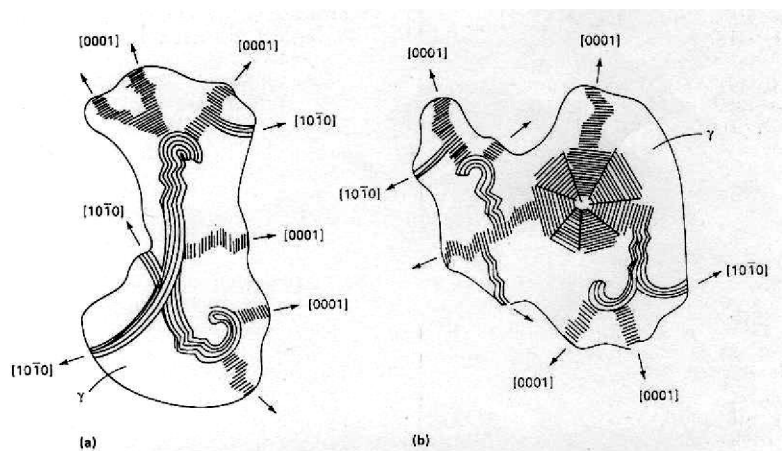
závislý na velikosti přechlazení. Některé práce ukazují, že kuličky mohou vznikat oběma mechanismy zaráz, a to tak, že jádro kuličky je tvořeno spirálně, vnější část po zablokování směru „a“, roste pyramidálně ve směru „c“, když jednotlivé pyramidy tvoří segmenty, jak je zřejmé z obr. 4.4. – b [2].



Obr. 4.4. Schematické modely růstu kuličkového grafitu a) obvodovým růstem, b) růst vytvářením nových basálních rovin

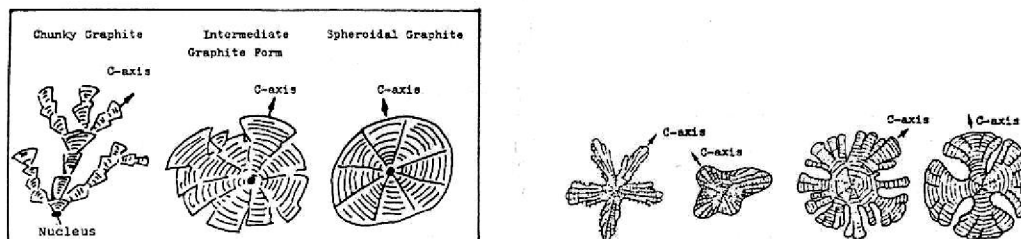
4.1.3 Červíkový grafit

Červíkový grafit vzniká obvykle ve dvou případech. Jednak při modifikaci malým množstvím sferoidizačních prvků, které nezajistí vznik dokonale kuličkového grafitu – obvyklý obsah Mg_{zbyt} je 0,01 – 0,02 %, jednak za přítomnosti některých antiglobulitizačních prvků – obvykle Ti, případně Al, které zaoblují tvar grafitu v červíkovité podobě i při poměrně vysokém obsahu Mg. Červíkový grafit vzniká za podmínek jakési rovnováhy mezi obsahem globulitizačních a antiglobulitizačních prvků. Růst červíkového grafitu probíhá částečně podle mechanismu růstu kuličkového grafitu, částečně grafitu lupínkového, přitom může být zahájen lupínkovým i kuličkovým. Podle toho se pak morfologie blíží více jedné, nebo druhé formě[2].



Obr. 4.5. a) Přechod z lupínkového ke kompaktnímu grafitu, b) - z globulárního nakompaktní- twin/tilt efekt /16/

Vedle těchto základních tvarů jsou zde další, jako je grafit korálový, velice podobný grafitu vermikulárnímu a grafity degenerované. Mezi degenerovaným grafitem patří Chunky grafit, explodovaný grafit a intercelulární (mezizrnový)[2].



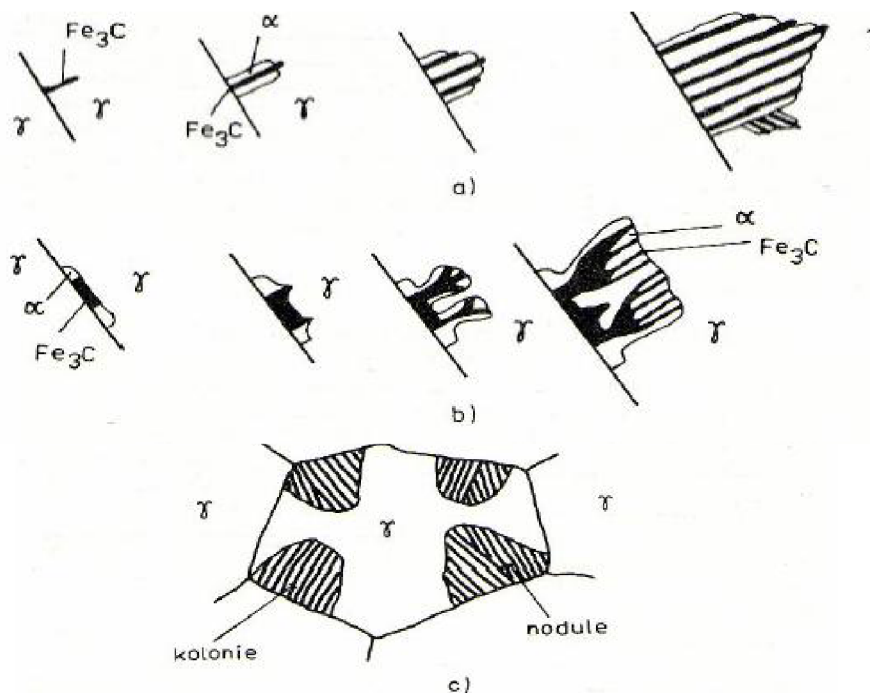
Obr. 4.6. Na levé straně Chunky grafit, na pravé grafit explodovaný

4.2 Základní kovová hmota – perlit, ferit, ledeburit

V litině se vyskytuje v základní kovové hmotě perlit a ferit, u metastabilně tuhnoucí i ledeburit. Jejich poměrem a strukturou se podílí na mechanických vlastnostech litiny[2,3].

4.2.1 Perlit

Perlit je eutektoid vzniklý rozpadem austenitu podle metastabilního systému. Perlit má vyšší tvrdost a pevnost než ferit, proto jeho zvyšováním v podílu kovové hmoty zvyšuje celkovou pevnost a tvrdost litiny. V litině jej můžeme nalézt jako lamelární, či lobulární perlit. Globulární perlit se dosahuje sferoidizačním žíháním, nebo velmi pomalým ochlazováním. Tvorbu lamelárního perlitu můžeme podpořit přidáním Cu[3].



Obr. 4.7. Schéma vzniku perlitu, a) podle Hulla a Mehla, b) podle Hillerta, c) růst kolonií a nodulí perlitu [3]

4.2.2 Ferit

Vzniká při eutektoidní transformaci austenitu podle stabilního systému. Pomalé ochlazování podporuje vznik feritu. Ferit měkký, tvárný a má relativně nízkou pevnost. V litinách se stává nositelem houževnatosti. Vlastnosti feritu ovlivňujeme především legováním [2].

4.2.3 Ledeburit

Eutektikum v metastabilní soustavě Fe-Fe₃C, obsahuje 4,3 % C. Je tvořen austenitem a ledeburitickým cementitem. Při eutektoidní teplotě ledeburit transformuje na perlit a vzniká tzv. transformovaný ledeburit. Je jednou ze základních složek bílých litin. V grafitických litinách vzniká obvykle v místech s rychlým odvodem tepla jako tzv. zákalka [2].

4.3 Druhy litin

4.3.1 Rozbor litiny s lupínkovým grafitem

Litina s lupínkovým grafitem značená podle evropské normy jako GJL a pevností v tahu v rozmezí 100 – 300 MPa. Podle hodnoty pevnosti v tahu a stanovení tvrdosti podle Brinella se dělí do normalizovaných skupin. Rozdělení je podle ČSN EN uvedeno v tab. Stanovení chemického složení a dalších mechanických vlastností se obvykle nepředepisuje ani v kupní smlouvě [6].

Při statické zkoušce v tahu dochází k porušení zkušební tyče při napětí, které obvykle nepřekračuje mez kluzu. Tažnost a zúžení jsou proto zanedbatelné. Zkušební vzorky se lijí buď odděleně, nebo na přilítných zkušebních kusech. Pro pevnosti naměřené na přilítných kusech jsou předepsány normou hodnoty v závislosti na tloušťce stěny. Pevnosti v tahu na odděleně litých zkušebních kusech (tyče o průměru 30 mm) pro normované značky litin s lupínkovým grafitem jsou uvedeny v tab. 2.1 [2,6].

Tab. 4.1. druhy litin [2]

ČSN EN - GJL	100	150	200	250	300	350
R _m [MPa]	100 - 200	150 - 250	200 - 300	250 - 350	300 - 400	350 - 450
R _{PO1} [MPa]		98 - 165	130 - 195	165 - 228	195 - 260	228 - 285
R _d [MPa]		600	720	840	960	1080
E.10 ³ [MPa]		78 - 103	88 - 113	103 - 118	108 - 137	123 - 143
HB _{max} [MPa]	180	200	220	240	260	270
S _E [MPa]	1,05 - 1,11	0,99 - 1,05	0,93 - 0,99	0,87 - 0,93	0,81 - 0,87	0,75 - 0,81

Grafitické eutektikum je důležitá součást matrice litiny. Podíl eutektické složky určuje pevnost litiny. Pro dosažení vyšší pevnosti je třeba zvýšit aktivitu uhlíku v železe, abychom dosáhli menší eutektické koncentrace. Zvýšit aktivitu uhlíku lze pomocí prvků Si, Al, Cu, Ni, P, S. Pro hodnocení slévárenských vlastností byl zaveden pojem stupeň eutektičnosti, označovaný též jako stupeň sycení. Stupeň sycení je definován poměrem skutečného obsahu uhlíku v litině k obsahu uhlíku odpovídajícímu eutektické koncentraci pro danou litinu viz. rovnice (4.1)[2,3,7].

$$S_e = \frac{C}{C_e} = \frac{C}{4,25 - 0,3(Si + P)} \quad (4.1)$$

kde S_E – stupeň eutektičnosti, % C – skutečný obsah uhlíku, % C_e – obsah uhlíku odpovídající eutektické koncentraci.

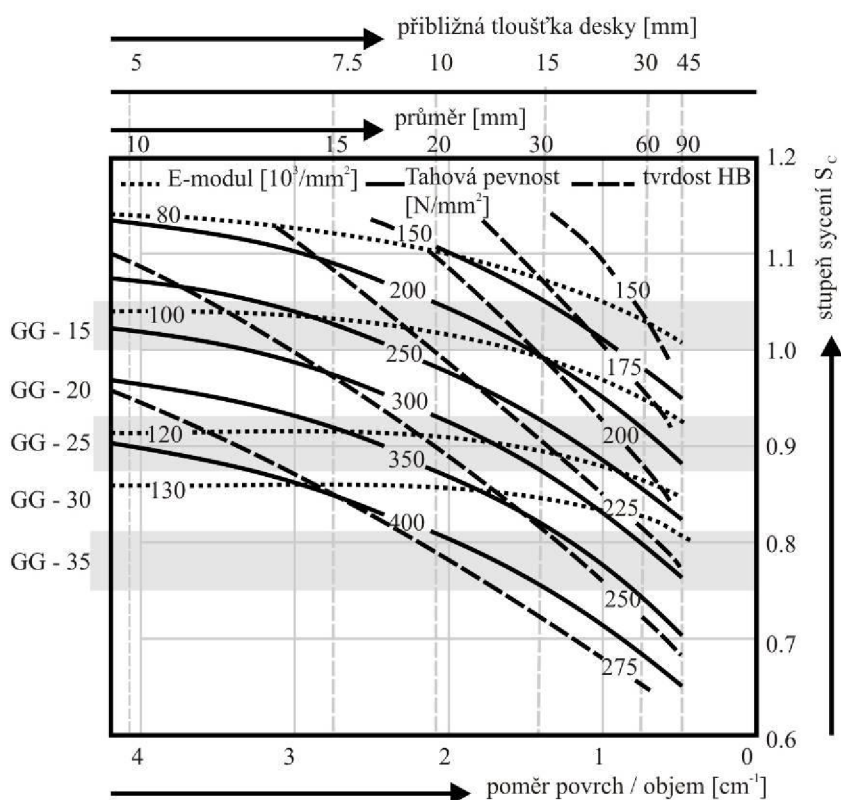
při $S_E < 1$ je složení podeutektické
 $S_E = 1$ je složení eutektické
 $S_E > 1$ je složení nadeutektické

Vliv některých prvků na uhlíkový ekvivalent vyjadřuje tab. 4.2. [2],

Tab. 4.2. Vliv prvků na uhlíkový ekvivalent

prvek	P	Si	Al	Cu	Ni	Mn	Cr	V	Ti
m_i	0,33	0,32	0,22	0,07	0,05	-0,03	-0,06	-0,14	-0,14

Vliv stupně sycení na vlastnosti LLG je uveden na obr. 4.8.

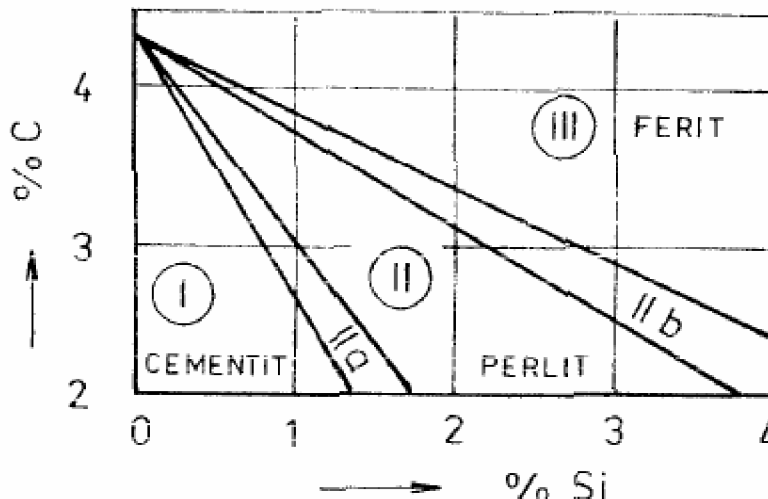


Obr.4.8. Nomogram pro odhad E – modulu, pevnosti a tvrdosti v závislosti na poměru povrchu k objemu a stupni sycení S_E [6]

Vliv složení litiny a rychlosti ochlazování na její pevnost znázorňuje empiricky stanovený nomogram. Na obr. 4.8. je nomogram převzatý z publikace [6]. Poměr povrchu odlitku k objemu (převrácená hodnota modulu odlitku) udává stejně jako tloušťka stěny odlitku nebo průměr odlité zkušební tyče rychlost chladnutí. V nomogramu je možné pro určitý modul odlitku a stupeň sycení litiny odhadnout modul pružnosti (E – modul), mez pevnosti R_m a tvrdost HB. Zvýrazněná pásma udávají interval požadovaných vlastností pro jednotlivé značky litiny[6].

Strukturální diagram znázorňuje souvislost mezi chemickým složením, rychlostí chladnutí a výslednou strukturou. Byly vyvinuty zejména pro litiny s lupínkovým grafitem a bílé litiny. Strukturálních diagramů je celá řada. Na osách diagramu se obvykle vynášejí obsah uhlíku a křemíku a plocha je tvořena oblastmi jednotlivých struktur. V nejjednodušších diagramech se nebere v úvahu rychlost ochlazování a takový diagram platí pouze pro odlitky s určitými podmínkami

ochlazování (např. pro tělesa s danou tloušťkou stěn). Takovým základním typem je Mayerův diagram obr. 4.9. (byl odvozen pro odlitky \varnothing 30 mm). V něm je plocha rozdělena přímkami značícími hranice mezi pěti oblastmi v nichž vzniká struktura cementitická, cementiticko-perlitická s přechlazeným grafitem, II – perlitická, IIb – perlito-feritická a feritická[2].



Obr. 4.9. Mayerův strukturní diagram - I cementitická, IIa – cementiticko-perlitická s přechlazeným grafitem, II – perlitická, IIb – perlito-feritická, III – feritická [2]

4.3.2 Rozbor litin s kuličkovým grafitem

Pro litinu s kuličkovým grafitem je specifický tvar vyloučeného grafitu v podobě kuliček. Pro dosažení tohoto tvaru se do litiny přidává modifikační prostředek a zároveň očkovací prostředek. Význam očkování je u litin s kuličkovým grafitem s ohledem na silně karbidotvorný účinek hořčíku větší, než u litin s lupínkovým grafitem. Neočkovaná litina s kuličkovým grafitem má sklon k metastabilnímu tuhnutí. Při vhodně vyloučeném grafitu mají litiny s kuličkovým grafitem pevnostní vlastnosti obvykle vyšší, než oceli se stejnou strukturou matrice [5].

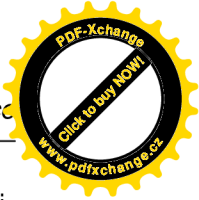
Litiny s kuličkovým grafitem mají eutektické složení, případně mírně nadeutektické ($C_E \sim 4,2-4,7$). Doporučené chemické složení v hmotnostních procentech pro litiny je uvedené v tab. 2.2 [2,5].

Tab. 4.2 Chemické složení pro GJS

% C	% Si	% Mn	% P _{max}	% S _{max}	% Mg	% Cu
3,5 - 3,8	2,0 - 2,5	0,08 - 0,65	0,035	0,01 - 0,02	0,02 - 0,065	0,02 - 0,8

Maximální obsah P je v tabulce nižší, než je obvyklé pro litinu s kuličkovým grafitem. Běžně se pohybuje od 0,04 do 0,06 %. Obsah hořčíku v množství 0,02 % nezaručuje sferoidizační účinek, proto se v praxi volí obsah nad 0,025 – 0,03 % [2,5].

Struktura matrice má stejně jako u litiny s lupínkovým grafitem, tak i u litiny s grafitem kuličkovým vliv na mechanické vlastnosti. Matrice může být u nelegovaných litin po odlití feritická, feriticko-perlitická, perlitická [2,5].



S rostoucím obsahem uhlíku při stejné struktuře mírně klesají pevnostní a plastické vlastnosti. Obsah uhlíku je důležitý z hlediska dosazování litiny a ke sklonu ke tvorbě ředin. Se zvyšujícím obsahem uhlíku se zlepšují slévárenské vlastnosti, předchází se sklonu k tvorbě mikrostaženin, objemové změny v průběhu tuhnutí jsou neší. Je to způsobeno grafitickou expanzí. Aby nedocházelo k flotaci grafitu, byla stanovena horní hranice obsahu uhlíku, která se u litin s nadeutektickým složením při dlouhém tuhnutí zvyšuje [2].

Grafitotvorné prvky zajišťují tuhnutí podle stabilní soustavy. Mezi tyto prvky patří především C a Si. Křemík substitučně zpevňuje ferit a tím zvyšuje jeho mez kluzu a pevnosti. občasně snižuje houževnatost a zvýšení tranzitní teploty a snižuje tepelnou vodivost. Vyšší obsahy křemíku než 2,5 % způsobují jemnozrnnější strukturu a zvýšení počtu kuliček grafitu ve struktuře [5].

U litiny s kuličkovým grafitem se obvykle stanovuje pevnost na zkušebních tyčích odebraných z odděleně litých zkušebních vzorků. Odděleně lité vzorky jsou normovány s tloušťkoustěny 12,5, 25, 50 a 75 mm (Y1 až Y4) [2].

4.3.3 Rozbor litin s červíkovým grafitem

Litina s červíkovým grafitem (vermikulární) je z hlediska mechanických, fyzikálních a slévárenských vlastností přechodovým typem mezi litinou s lupínkovým kuličkovým grafitem. Tento typ litin není v současnosti v české normě uveden a používá se proto značení podle ÖGI (Österreich Giesserei Institut), nebo norem ASTM (CGI) [6].

Rozmezí pevnosti je 300 – 500 MPa, tažnosti 2 – 7 %. Obsah uhlíku se pohybuje v rozmezí 3,2 – 3,6 %, obsah křemíku cca 2,6 – 3,2 %. Pro dosažení perlitické struktury je možné použít legování Mn až do koncentrace 0,6 % [6]. Kromě Mn působí perlitotvorně Cu, Ni, Sn, Cr, [2] ... a ve struktuře bez lupínkového grafitu tak může litina dosáhnout pevností 500 až 600 MPa [6].

Způsoby metalurgického zpracování pro získání červíkové litiny:

1. Nižším stupněm modifikace, při tzv. zbytkovém obsahu Mg v rozmezí cca 0,01 – 0,02 %. Pokud je obsah vyšší, přechází grafit do tvaru kuličkového.
2. Kombinací modifikace pomocí Mg a přísady antiglobulizačního prvku Ti v rozmezí koncentrace cca 0,1 – 0,3 %. Po jeho přidání nedochází ke vzniku kuličkového grafitu ani při překročení koncentrace zbytkového hořčíku 0,025 %. Přítomnost titanu podporuje ve struktuře tvorbu feritu a současně může vést ke vzniku nežádoucích karbidů (TiC). Tvorbu karbidů lze omezit kombinovanou modifikací Mg a Ce, při které může být přísada titanu jen cca 0,1 %.
3. Modifikací pomocí směsného kovu (tzv. Mischmetalu) s obsahem až 50 % Ce [6].

V litině je vždy kromě červíkového grafitu podíl grafitu kuličkového, či lupínkového. Kuličkový grafit způsobuje menší tepelnou vodivost a větší stahování, naproti tomu lupínkový nižší hodnoty houževnatosti a tažnosti.

Vzhledem k vyšší pevnosti ve srovnání s LLG a dobré tepelné vodivosti je LČG považována za ideální materiál pro cyklické tepelné namáhání (nelegovaná do 500°C a nízkolegovaná až do 650°C) a namáhání tepelnými šoky, kde u LLG vznikají praskliny a u LKG trvalé deformace.

Sklon ke vzniku staženin je u LČG větší, než u LLG, ale menší než u LKG. Často se používají k formování odlitků z LČG modelová zařízení určená původně pro lití odlitků z LLG bez úprav. Menší sklon ke staženinám umožňuje snadněji odlévat i značně složité odlitky, např. hlavy válců [6].

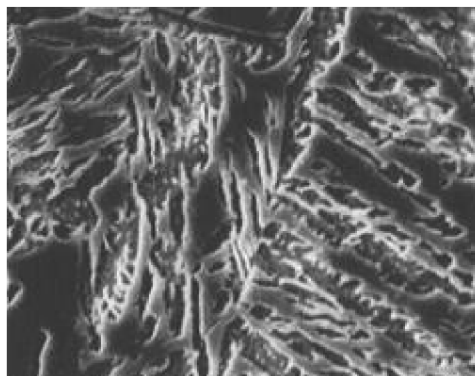
Vzhledem k užšímu rozmezí koncentrací zbytkového hořčíku se doporučují pro modifikaci metody, které mají menší rozptyl využití hořčíku, např. metoda plněného profilu, či některá z ponořovacích metod [6].

4.3.4 ADI litina

Dnes již běžně používané označení ADI (Austempered Ductile Iron) přísluší perspektivnímu konstrukčnímu materiálu pro výrobu vysokopevnostních odlitků. Je jím litina s kuličkovým grafitem (LKG), dříve nazývaná tvárná litina, tepelně zpracovaná izotermickým zušlechťením. Tento způsob tepelného zpracování, v minulosti používaný prakticky jen u ocelí, se u LKG začal laboratorně zkoumat ve druhé polovině šedesátých let minulého století. V průběhu následujících pětadvaceti let byl tento nový vysokopevný konstrukční materiál v mnoha zemích patentován a zaveden do výroby.

ADI je někdy nesprávně označována jako bainitická tvárná litina, ale správně tepelně zpracovaná ADI obsahuje malé nebo žádné procento bainitu [8]. Označení bainitická tvárná litina je starý název a dnes by se již neměl používat, nicméně mnoho techniků zná tuto izotermicky zpracovanou LKG právě pod tímto názvem.

Bainit se skládá z matrice jehlicovitého (deskovitého) feritu a karbidů a vzniká mezi teplotami 500°C a teplotou počátku martenzitické přeměny [9]. Naproti tomu matrice ADI se skládá z jehlicovitého feritu a uhlíkem stabilizovaného austenitu. Tato struktura je označována jako ausferit (viz. obr. 4.10). Tento ausferit se může metalograficky podobat bainitu, nicméně to bainit není, protože vlastnosti jemných karbidů typických pro bainit jsou vůbec nebo jen málo podobné vlastnostem ausferitu. Ausferitická matrice se přemění na bainit jen pokud je doba výdrže při popouštění příliš dlouhá [5].



Obr. 4.10 Snímek ausferitu elektronovým mikroskopem.[]

Přítomnost austenitu ve struktuře ADI také vede k mylným názorům. Austenit při správném izotermickém zušlechťení zůstává netransformovaný a bývá označován, dnes již starým názvem, jako zbytkový. Tento netransformovaný austenit je často zaměňován se zbytkovým austenitem, který zůstává po transformaci v martenzit. Austenit v ADI litině je během tepelného zpracování stabilizován uhlíkem a netransformuje v křehký martenzit ani při teplotě pod 0°C [8].

4.3.4.1 Tepelné zpracování odlitků z LKG při výrobě ADI

Jak již bylo naznačeno, vyrábí se ADI izotermickým zušlechťováním odlitků z LKG. Zmíněný postup tepelného zpracování obsahuje několik základních kroků, kterými jsou :

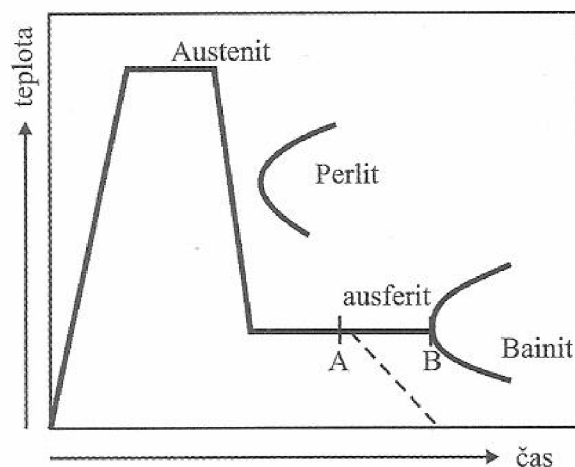
1. Úplnou austenitizaci v oblasti teplot o 10 až 20°C vyšších, než-li je horní kritická teplota, to je cca v rozmezí teplot 850 až 950 °C (nejlépe v solné lázni). Plnou austenitizací se rozumí stav, kdy je celá matrice modifikována v plošně centrovanou kubickou mřížku –austenit a tento je nasycen uhlíkem [5]. Austenitizace trvá 1 – 3 hodiny.

2. Ve druhém stupni je součást rychle ochlazena-zakalena, na teplotu 250 až 450°C a v tomto prostředí (opět v solné, nebo olověné lázni) udržována od cca 15 minut, do několika hodin. Při krátké prodlevě na teplotě se vytváří feriticko-austenitická struktura, při delších prodlevách, se začne austenit v austeniticko-feritické struktuře rozpadat na ferit a karbidy. Výsledná struktura zpracované litiny má být austenitickoferitická (ausferit) s malým množstvím martenzitu nebo karbidů [5].

4.3.4.2 Austenitizace

Vysoký podíl feritu v matici před tepelným zpracováním prodlužuje dobu potřebnou k nasycení matrice uhlíkem. Výchozí perlitická matrice s obsahem kolem 0,7 % C vyžaduje dobu výdrže kratší [10]. Průběh sycení austenitu uhlíkem ovlivňuje také počet a rozložení zrn grafitu uložených v matici. Větší počet zrn a jejich rovnoměrné rozložení znamená jednak menší stupeň chemické mikronehomogenity matrice, ale také kratší difúzní dráhy atomů C při jejich transportu z rozpouštějícího se zrna grafitu do matrice. Další faktor, který ovlivňuje dobu austenitizace, je schopnost transportu uhlíku od částic grafitu do matrice. Tomuto procesu brání některé prvky jako jsou Sb, Sn a Cu, které segregují v tenkých vrstvách na mezifázovém rozhraní grafit – matrice a vytvářejí bariéry omezující difúzi uhlíku a prodlužují tak dobu austenitizace [10].

Na rozdíl od doby austenitizace má na výsledné vlastnosti ADI výraznější vliv její teplota. Zatímco při použití nižší teploty austenitizace (kolem 850°C) se u nelegované ADI dosahují vyšší pevnostní vlastnosti i plasticita a houževnatost, má vyšší teplota (kolem 950°C) opačný účinek. Příliš nízká teplota, tzn. neúplná austenitizace, a výskyt proeutektoidního feritu z výchozí struktury LKG vede ke snížení pevnostních vlastností ADI[11].



Obr. 4.11 Schématické znázornění postupu tepelného zpracování



4.3.4.3 Rychlé ochlazení z austenitizační teploty

Rychlé ochlazení z austenitizační teploty na teplotu izotermické přeměny austenitu v bainické oblasti (CD na obr.) probíhá po vyjmutí odlitku z austenitizační pece a přenesení nejčastěji do tekuté solné lázně o teplotě 230 až 450°C [3]. Rychlost ochlazování musí být dostatečně vysoká, aby se potlačilo vyloučení proeutektoidního feritu i perlitu během ochlazování do ausferitické oblasti. Nelze-li toho dosáhnout v silnějších průřezích odlitku, je nutné použít k výrobě ADI legovanou LKG. Přísadami, které se využívají ke zvýšení prokalitelnosti LKG, jsou obvykle Mo, Ni a Cu přidávané buď samostatně, nebo v kombinacích [10].

4.3.4.4 Izotermická přeměna austenitu v austenitoferitické oblasti

Probíhá obvykle v tekuté solné lázni o teplotě v rozmezí 230 až 450°C. Teplota izotermické přeměny a doba setrvání na této teplotě určují výslednou strukturu a vlastnosti izotermicky zušlechťeného odlitku. Při vyšších teplotách (370 až 450°C) se získá ADI s nižšími pevnostními vlastnostmi i tvrdostí, s vyšší plasticitou a houževnatostí, ale také s lepšími únavovými charakteristikami. Nižší teploty (230 až 350°C) izotermické přeměny austenitu se využívají zejména při požadavcích vyšší pevnosti, tvrdosti a odolnosti proti opotřebení odlitku; plasticita a houževnatost jsou sníženy [10,12].

Jak je zřejmé, struktura ADI je výsledkem komplexní interakce mezi chemickým složením LKG, segregáčními charakteristikami, teplotou austenitizace a podmínkami izotermické přeměny [11].

4.4 Vliv některých prvků

4.4.1 Obsah síry

Síra patří mezi prvky, které zvyšují aktivitu uhlíku v železe a tím snižují eutektickou koncentraci [6]. Z hlediska očkování je obsah síry v tavenině zásadní. Očkovadla se aktivují díky očkovací složce obsažené ve velmi malé koncentraci, kterou může být Ca, Al, Sr, Ba, Zr reagující s aktivními prvky zejména kyslíkem a sírou. Společně pak tvoří sloučeniny s vyšší teplotou tuhnutí, než má litina a slouží jako nukleační zárodky grafitu[2].

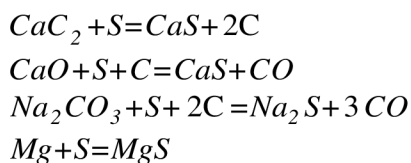
Síra, zvláště ve formě sulfidů typu FeS, má nepříznivý vliv na vlastnosti litiny, snižuje pevnost a plastické vlastnosti. Je to způsobeno jak vlastními vměstkami, které působí dalším vrubovým účinkem, taktéž vylučováním eutektika Fe-FeS na hranicích zrn. Vliv však není významný. Síra zvyšuje množství vázaného uhlíku, což se projevuje příznivě u „měkčích“ litin zvýšením pevnosti a zvyšováním zákalky. Zvyšuje též křehkost za tepla. Síra podstatně snižuje zabíhavost litiny a je zdrojem řady metalurgických vad [3].

4.4.1.1 Odsíření

Odsíření se týká vedení tavby zejména v kyselých, nebo zásaditých kuplových pecích. Obsah síry na žlábků bývá nejčastěji 0,07 – 0,12 %S. V těchto případech se pro odsíření používá CaC₂, CaO, Na₂CO₃, NaOH a pokud vyrábíme litinu s kuličkovým grafitem, lze síru navázat na Mg. V případě odsířování pomocí Mg je výhodnější použít čistý hořčík, protože modifikátor v podobě Fe-Si-Mg zvyšuje obsah Si, což může omezovat množství modifikačního prostředku potřebného k tvorbě kuličkového grafitu[2].



Odsíření probíhá podle těchto reakcí:



Důležitou funkci u litiny s lupínkovým grafitem a bílé litiny je vázání síry podle vztahu [3].

$$[FeS] + [Mn] = (MnS) + [Fe] \quad (4.2)$$

Minimální obsah Mn se doporučuje volit [3]:

$$Mn = 1,7.S + 0,3 \quad [\%] \text{ - pro šedou litinu}$$

$$Mn = 1,7.S + 0,15 \quad [\%] \text{ - pro bílou}$$

Pro výrobu kvalitní GJS se doporučuje výchozí obsah síry < 0,02 %. Při extrémně nízkém obsahu síry pod 0,01 % však hrozí snížení grafitizační schopnosti[2].

4.4.2 Obsah fosforu

Fosfor, stejně jako síra zvyšuje aktivitu uhlíku, tím pádem snižuje eutektickou koncentraci. Proto je zahrnut do výpočtu eutektické koncentrace uhlíku. Vzorec pak může vypadat takto (4.3):

$$C_e = 4,25 - \frac{1}{3} [Si + P] \quad (4.3)$$

Fosfor segreguje k hraničním zrn, kde tvoří steadit, a tím výrazně zhoršuje mechanické vlastnosti. Obsah fosforu v litinách s kuličkovým grafitem má být menší jak 0,08 %, u silnostěnných odlitků pod 0,02 %. Obsah P je ale lepší držet na nižší koncentraci[2].

Fosfor působí na mechanické vlastnosti šedé litiny vesměs nepříznivě, zvláště nad jeho obsah 0,15 až 0,20%. Nepříznivě se projevuje fosfor u feritických litin s vyšším obsahem uhlíku. Fosfor snižuje pevnost, plastické vlastnosti a značně zvyšuje křehkost. Zvyšuje však tvrdost, součinitel tření a velmi významně zvyšuje zabíhavost litiny [3].

Fosfor mírně podporuje grafitizaci, v GJL do obsahu 0,04 – 0,05 % mírně zvyšuje pevnost, tvrdost a oteřuvzdornost, při vyšším obsahu však pevnost snižuje. Fosfor během tuhnutí segreguje do zbylé taveniny a na hranicích zrn tvoří fosfidické síťové. Síťové steatitu výrazně snižuje dynamické vlastnosti (způsobuje křehkost). Segregaci fosfidického eutektika podporují Mo, Cr, W, V [2].

4.4.3 Vliv niklu

Nikl zjemňuje grafit a podporuje vznik perlitické struktury a tím pevnosti litiny, aniž by podstatně vzrostla tvrdost. Částečně vyrovnává vliv rychlosti ochlazování u odlitků s rozdílnou tloušťkou stěn do cca 1%. [3] Nemění-li se při přísadě niklu základní složení litiny, zvyšuje se její pevnost o 5 až



10% na 1% obsahu Ni a o 7 až 15 HB tvrdost. Výraznější zvýšení pevnosti přídavkem niklu vzniká tehdy, když se současně sníží obsah křemíku o hodnotu, která odpovídá grafitizačnímu účinku niklu [2].

4.4.4 Vliv mědi

Vliv mědi je přibližně stejný, jako vliv niklu. Svým perlitotvorným vlivem a redukcí volného feritu zvyšuje pevnost, tvrdost a odolnost proti opotřebení šedé litiny. Snižuje též citlivost k zákalkám ve slabých průřezích stěn. Její účinek v tomto směru odpovídá cca čtvrtině účinku křemíku. Podobně jako u niklu se dosahuje nejvyšších hodnot pevnosti a tvrdosti u litin s nižším stupněm eutektičnosti a při obsahu Cu kolem 2,5 až 3,5% .Přísada mědi odpovídá účelu použití:

- 0,5 až 1,0 % u tenkostěnných lehkých odlitků
- 1,0 až 2,0% u středních až těžkých odlitků, které chladnou pomalu ve formě a u nichž se vyžadují vyšší mechanické vlastnosti ve slabších průřezích odlitku,
- 1,0 až 2,0 % v kombinaci s malým množstvím (obvykle 0,25 až 0,5 %) chromu nebo molybdenu v případě, že se vyžaduje vysoká pevnost materiálu.

Přísada mědi nad 3% se nedoporučuje z důvodu nebezpečí vylučování a segregace čisté mědi, nebo sloučenin s vysokým obsahem mědi v silnostěnných, pomalu ochlazovaných průřezích odlitku a tím podstatné snížení mechanických hodnot ve stěnách odlitku[3].

4.5 Modifikace

4.5.1 Metalurgická hlediska modifikace hořčíkem

Modifikace probíhá v zásadě postupným rozpouštěním hořčíkových par, které probublávají sloupcem modifikované litiny.

Teplota tavení hořčíku je 650°C. K jeho vypařování dochází při teplotě 1107°C při tlaku 101 kPa. Rozpustnost hořčíku v železe při teplotě 1450°C s 2 % Si a tlaku 101 kPa přibližně 0,085 % [2].

Vzhledem k tomu, že hořčík má vůči kyslíku a síře vysokou afinitu, reaguje část hořčíku s kyslíkem podle vzorce (4.4):



a se sírou (4.5)



Porovnání obsahů síry s rovnovážným stavem mezi hořčíkem a sírou v litině s vysokým obsahem uhlíku poskytuje informaci o pravděpodobném množství přítomného MgS [3].

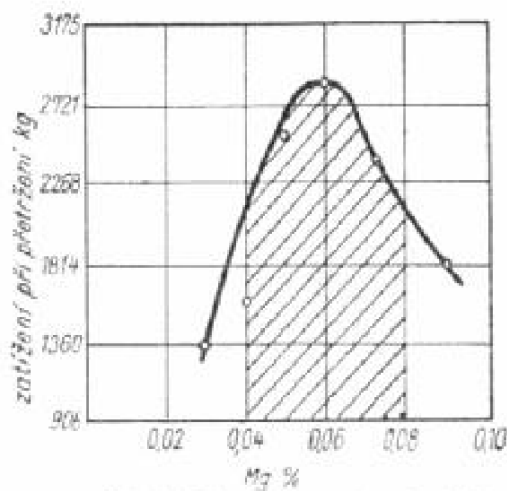
Výpočet množství modifikačního prostředku uvádí rovnice (4.6) [2,3,7]:

$$m_{\text{mod}} = \frac{Mg_{\text{zbyt}} + 0,76 \cdot S}{n_{Mg} \cdot Mg_{\text{předsl}}} \cdot 100 \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.6)$$

kde Mg_{zbyt} – zbytkový hořčík [%], S – obsah síry v litině, n_{Mg} – využití hořčíku (kromě vázaného na síru), $Mg_{\text{před}}$ – obsah hořčíku v předslitině.

4.5.2 Vliv hořčíku na mechanické vlastnosti litiny

Se změnou struktury litiny, způsobené nedostatkem, nebo přebytkem hořčíku v litině, mění se významně i její mechanické vlastnosti. Optimálním množstvím hořčíku, potřebným k dosažení největších pevností, se zabýval Donoho. Zjišťoval závislost zatížení při přetržení na obsahu hořčíku od 0,03 až 0,09 %. Na obr. 4.11 dosahuje maxima při obsahu 0,06 %Mg [5].



Obr. 4.11 Vliv obsahu hořčíku na pevnost tvárné litiny[5]

4.5.3 Odezňování sferoidizačního účinku hořčíku (fading efekt)

Množství hořčíku v tvárné litině po naočkování postupem času klesá. Čím vyšší je teplota zpracované tvárné litiny, tím větší jsou i ztráty hořčíku. Jestliže se tavenina udržuje na vysoké teplotě po určitou dobu cca při teplotě 1400°C, je snížení obsahu hořčíku dosti značné. Pokles obsahu hořčíku za každých 10 min. rovnoměrného poklesu teploty litiny činí 0,01 %. Množství hořčíku potřebného k dosažení zrnitého grafitu se lineárně zvyšuje s tloušťkou stěny odlitku [5].

4.6 Očkování

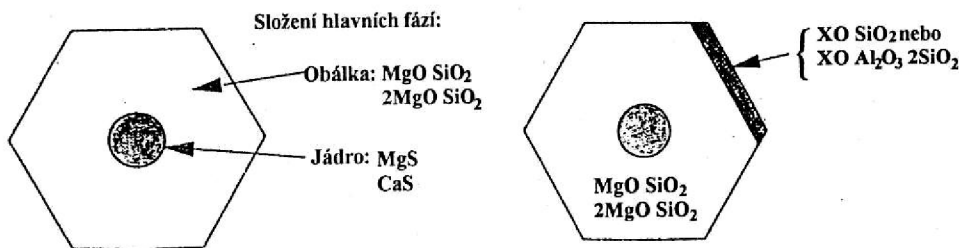
Očkováním se rozumí vnášení takových látek do taveniny, které vedou ke vzniku heterogenních nukleárních zárodků. U litiny s kuličkovým grafitem je očkování velice důležitá operace, protože hořčík zvyšuje sklon k tvorbě karbidů, takže by neočkováná tvárná litina ztuhla bíle [2].

Účelem očkování je tedy potlačení sklonu k metastabilnímu tuhnutí – odstranění zákalky, rovnoměrné rozložení grafitu, zjemnění struktury. Význam očkování tím větší, čím nepříznivější jsou podmínky pro grafitizaci [2].

4.6.1 Očkovadla

Očkovadla jsou tvořena nosičem a očkovací složkou. Očkovací složka je v očkovadle obsažena v malé koncentraci, ale pro funkci očkovadla je nezbytná. Bylo prokázáno, že čistá slitina Fe-Si nemá očkovací účinek. Aktivními prvky jsou zejména Ca, Al, Sr, Ba, Zr. Tyto prvky tvoří s kyslíkem a sírou sloučeniny s vyšší teplotou tuhnutí, než má litina. Tyto sloučeniny (MgO . SiO₂, CaS, MgS, CeS) se pak stávají jádrem pro nukleární zárodky. Jádro pak obalují oxidy Ca, nebo Al (CaO .

SiO₂, či CaO . Al₂O₃ . SiO₂), které mají hexagonální mřížku a proto jsou ideální pro krystalizaci grafitu [2].



Obr. 4.12 Krystalizační zárodky pro kuličkový grafit

Druhy a složení očkovadel:

FeSi s obsahem: křemíku – asi 65 - 75 %
hliníku (do 2 %), vápníku (do 1 %),
stroncía (do 1 %),
baria, zirkonia (do 4 %) – prodlužují účinek

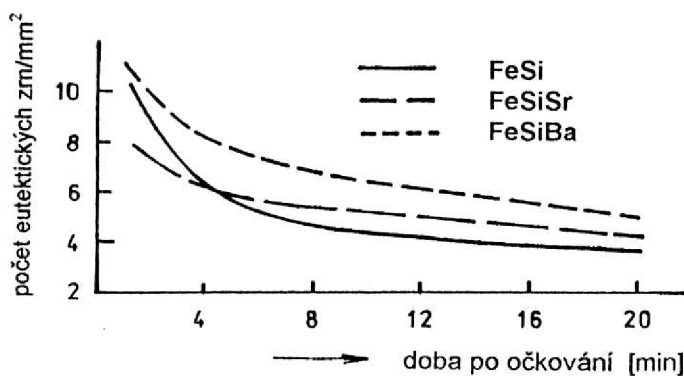
SiCa – asi 30 % Ca

Uhlíkatá očkovadla – 30 – 50 % C

4.6.2 Odezňování očkovacího účinku

Odezňování je způsobeno chemickou homogenizací taveniny, koagulací zárodků, jejich hrubnutím a v důsledku toho následnému vyplouvání na hladinu. Při homogenizaci mizí oblasti s místním přesycením grafitotvorných prvků (Si, Al), které podporovali nukleaci grafitu [2].

Rychlost odezňování je závislá na druhu očkovadla, složení litiny, teplotě a pohybu taveniny. Odezňování se projevuje zvyšováním zákalky a snižováním počtu eutektických buněk na výchozí stav před očkováním. Účinná doba očkování pro tři druhy očkovadel je znázorněna v grafu na obr. 4.13 [2].



Obr. 4.13 Účinná doba očkování [2]



5 STÁVAJÍCÍ PROVOZ V ALFE BRNO S.R.O

Slévárna ročně produkuje zhruba 500 tun odlitků z šedé litiny za rok do maximální hmotnosti 100 kg. Tavnice je vybavena studenovětrnou kuplovnou průměru 700 mm s tavicím výkonem cca 3,5 t/h. Je provozována cca 1 hodinu denně. S ohledem na legislativní požadavky na čistotu ovzduší, nebude možné v příštích letech kuplovnou používat.

5.1 Popis technologie používané na kuplovně

Kuplovnou je třeba před každým litím důkladně nachystat. Pod úkony spadá očištění od strusky zbytků koksu, železa a pudy. Vyčištění dmyšen, oprava vyzdívky, oprava struskového a odpichového kanálku. Pečlivě opravit odpichový otvor na kov a strusku pomocí šamotové směsi a grafitovým nátěrem.

Po uzavření dna kuplovny se provede vydusání dna pece se sklonem k odpichovému otvoru 3 – 5°. Používá se formovací směs ve několika vrstvách, aby nedošlo k praskání výdusky, kterým by mohl protéct kov a poškodit dno a dvířka pece. Žlab pro odpich je třeba vysušit.

Po té se kuplovna zaveze základovým koksem do určité výšky a zapálí plynovým hořákem. Po rozžhavení základového koksu se zapalovací dvířka zardí šamotovou směsí, dodusají formovací směsí a zavrou se.

Dmychadla na plný výkon, otevřená klapka po dobu cca 2-3 minuty. Opět se změří výška základového koksu a dle potřeby se doplní na požadovanou výši. Grafitovou zátkou se ucpou odpichové otvory kovu a strusky. Kuplovna se zaveze až po vsázecí otvor.

Tavba začne dmýcháním větru do kuplovny, první kapky tekutého kovu se pozorují za cca 3-5 min. Po 10-15 minutách od prvních kapek se provádí první odpich tekutého kovu. Průběžně se pec zavazuje tak, aby byla stále plná.

Ke konci tavby se snižuje množství větru, tím se zabrání poškození vyzdívky. Ukončení tavby znamená konec zavážení a vytavení veškerého železa vsázky. Vypne se dmychadlo, odpichne se kov a kuplovna se podrazí. Tato hromada se intenzivně ochladí proudem vody.

Na začátku a uprostřed tavby provádí tavič zákalkovou zkoušku ISO. Po přeražení vzorku se hodnotí hloubka bílé vrstvy: ČSN 422420 => 3–5 mm => HB do 200

5.1.1 Druhování vsázky

Ruční na zastřešeném šrotovišti, zavážení skipovým výtahem. 300 Kg vsázky ve vozíku se stává zhruba z 30% surového železa, 40% zlomkové litiny a zbytek vrat.

5.1.2 Vsázka

Vsázka sestává z následujících položek:

Koks, vápno CaCO₃, ocelový šrotu s neznámým složením

surového železo: 3,956 % C; 2,332 % Si; 0,538 % Mn; 0,148 % P; 0,028 % S; 0,071 % Cr.

litinový vrat: 3,42 % C; 2,16 % Si, 0,43 % Mn; 0,32 % P; 0,103 % S; 0,10 % Cr.

výsledné složení litiny – 3,32 - 3,47 C; 1,71 – 1,99 Si; 0,38 – 0,41 Mn; 0,13 – 0,23 P; 0,09 – 0,13 S;
0,04 – 0,08 Cr

Rm – 217 – 267 MPa

5.1.3 Odlévání

Kampaňovité ruční z dvoumužných pánví na 50 Kg. Očkování provádí do pánví práškem FeSi 75. FeSi také přidávají v podobě briket do vsázky. Odlévá se třikrát týdně.

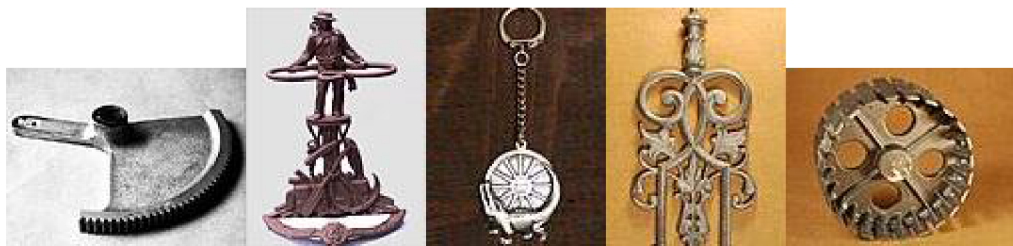
Protože není zajištěna kontrola teploty během tavby a při lití, počítá se s většími ztráty tekutého kovu 200 – 300 kg během jednoho lití. Dalším problémem je nezaručené složení odlévaného kovu.

Slévárna provádí pravidelně zákalkovou zkoušku, v menší míře pak spektrální analýzu, zkoušku tvrdosti Poldino kladívkem a na vyžádání další mechanické zkoušky.

5.2 Sortiment

5.2.1 Stávající sortiment

Slévárna se zabývá výrobou dekorativní, městské a zahradní litiny. V sortimentu jsou dále vyráběny industriální výrobky z šedé litiny a hliníku. Slévárna má také výrobu přesných odlitků ze zinku, cínu a olovené odlitky vyráběné pomocí technologie odstředivého lití.



Obr. 5.1 hotové odlitky ze slévárny ALFE

5.2.2 Plánovaný sortiment na EIP

Slévárna by chtěla zaměřit svoji výrobu mimo jiné na litiny značky: GJL 200, GJL 250, GJL 300, GJS 400, GJS 500, ADI litinu

5.3 Plánovaná tavárna

Elektrická středofrekvenční indukční tavící pec s kapacitou 500 Kg. Výkon měniče cca 350 – 400 kW umožní tavení v cyklu jedné hodiny.

Vlastní tavící agregát bude vybaven pecním transformátorem, měničem s integrovanou tlumivkou a kondenzátorovou baterií, hydraulicky sklápěnou pecí s ovládacím stojanem a chladícím okruhem s čerpacím modulem a chladičem.

Druhování vsázky je s ohledem na velikost pece navrženo ruční, ze skladových beden umístěných na vyvýšené druhovací rampě do koryta na ručně vedené pojízdné váze. Materiál pak stahován háčkem do koryta, nadruhovaná vsázka bude převezena k peci a postupně opět pomocí háčku plněna do pece.

Tekutý kov bude z pece vyléván přímo do licí pánve zavěšené na jeřábu. Odlévání forem je rovněž uvažováno přímo z jeřábu



6 PROBLEMATIKA VÝROBY VÍCE DRUHŮ LITIN NA STEJNÉM TAVÍCÍM AGREGÁTU

6.1 Popis problému

Pro co nejjednodušší a nejefektivnější způsob vedení tavby na elektrické peci bylo zvažováno přistoupit ke způsobu vedení tavby, který by umožnil z jedné tavby odlít více značek litiny. Tavba by byla prováděna pomocí stejné vsázky. Natavený kov by se mohl potom následovně upravovat v lící pánvi, nebo přímo v indukční peci.

Rozšíření sortimentu o další druhy litiny s sebou nese otázky týkající se nejen nové skladby vsázky a hledání způsobu modifikace pro provoz optimální, ale i způsob, jakým bude litinový vrat tříděn, aby mohl být zpětně použit. Proto se naskytá dobrá příležitost pokusit se o využití znalostí o ovlivňování morfologie grafitu pomocí Mg. V této práci je využito právě probíhajícího experimentu Ing. Jaroslava Laštovici touto problematikou se zabývajícího. Jaroslav Laštovica souhlasil s publikací informací získaných na základě experimentu.

6.2 Návrh experimentu

Pomocí dřevěných modelů – kýlový blok Y-2 a kvádr 50x50x75 mm budou zhotoveny formy z cementové a bentonitové směsi. Na jeden vtok bude umístěn kýlový blok Y-2 a dva kvádry 50x50x75 mm pro vyhodnocení velikosti staženiny. Jeden kvádr bude tuhnout v cementové směsi, druhý v bentonitové.

6.2.1 Vedení tavby

Na 40Kg elektrické indukční peci ve školní slévárně se provede tavba. Vsázka se bude sestávat ze surového železa a ocelového odpadu.

V každé formě bude měřena aktivita kyslíku a snímána křivka ochlazování. Spolu s každým zkušebním odlitkem budou odlity i vzorky ke stanovení chemického složení.

V tab. 6.1. je zapsáno požadované chemické složení, v tab. 6.2. jsou zaznamenány koncentrace Mg pro daný zkušební odlitek. Při každém odlití se tedy odlíje zkušební odlitek s jinou koncentrací Mg.

Tab. 6.1. Požadované složení kovu

%C	%Mn	%Si	% P	% S
3,6	0,1	2,0	do 0,05	do 0,015

Tab. 6.2. Zvolené koncentrace zbytkového hořčíku pro jednotlivé zkušební vzorky

číslo vzorku	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
% zbyt. Mg	0,000	0,005	0,008	0,011	0,014	0,017	0,020	0,025	0,035
číslo vzorku	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
% zbyt. Mg	0,000	0,005	0,008	0,011	0,014	0,017	0,020	0,025	0,035

P – označení pro perlitickou strukturu

F – označení pro feritickou strukturu

■ - červenou barvou jsou vyznačeny diskutované vzorky

6.3 Popis experimentu

V experimentu Ing. Laštovici je navrženo celkem 9 koncentrací Mg s perlitickou strukturou a 9 se strukturou feritickou. V této práci se bude rozbor týkat čtyř odlišných vzorků s perlitickou strukturou z nichž každý bude obsahovat chemický rozbor před modifikací a po modifikaci a jejich mechanické zkoušky.

6.3.1 Výroba formy

Ve školní slévárně byly zhotoveny formy ručním formováním. První tři formy byly zhotoveny z cementové a bentonitové směsi. Bentonitová směs byla zapěchována do předformované „kapsy“ v cementové formě jako je vidět na obrázku 6.1.

Na rozváděcí kanál v dělicí rovině byly napojeny dva hranoly 50x50x75 mm a jeden kýlový Y-2 blok o délce 230 mm.

Pro jeden z hranolů byla v cementové formě do vršku vyhrazena „kapsa“, dutina ve tvaru hranolu s rozměry podstavy 120x120 mm a výškou odpovídající výšce rámu – 110 mm. Do vzniklé dutiny ve formě byl zaformován model do bentonitové směsi.

Na základě zkušeností z předchozích taveb se rozhodlo další formy vyrábět opačným způsobem. To znamená, že hlavní masa formy je tvořena bentonitovou směsí.



Obr. 6.1 cementová forma s bentonitovou „kapsou“ po odlití

Hotové formy se složily na licím poli. Do vyhrazené jamky bylo umístěno očkovací tělísko. Zhruba 70 mm pod úroveň horní plochy vrchního rámu do dutiny Y-2 bloku se zavedl termočlánek pro změření průběhu tuhnutí. Forma byla zatížena úkladky.

6.3.2 Vedení tavby

V elektrické indukční 40 kg peci se natavila vsázka o hmotnosti 13,5 kg. Její skladba je popsána v tab. 6.3. Při počítání množství modifikačního prostředku se počítalo s využitím 80 %.

Po natavení kovové vsázky se do taveniny vpravila předslitina NiMg 6. Po odeznění reakce byla z povrchu taveniny stáhnuta struska. Obsah kelímku se následně přelil do přehřáté licí pánve, ze

keré byl kov nalit do formy. Ve formě pak došlo k očkování očkovacím tělískem Germaalloy. Tělísko mělo hmotnost 20 g.

Po vytlučení ztuhlých odlitků z formy se tyto otryskaly, odřezaly od vtokové soustavy. Z kýlového Y-2 bloku byly vyrobeny dvě normalizované trhací tyče D=10 mm.

Tab. 6.3 Složení vsázky

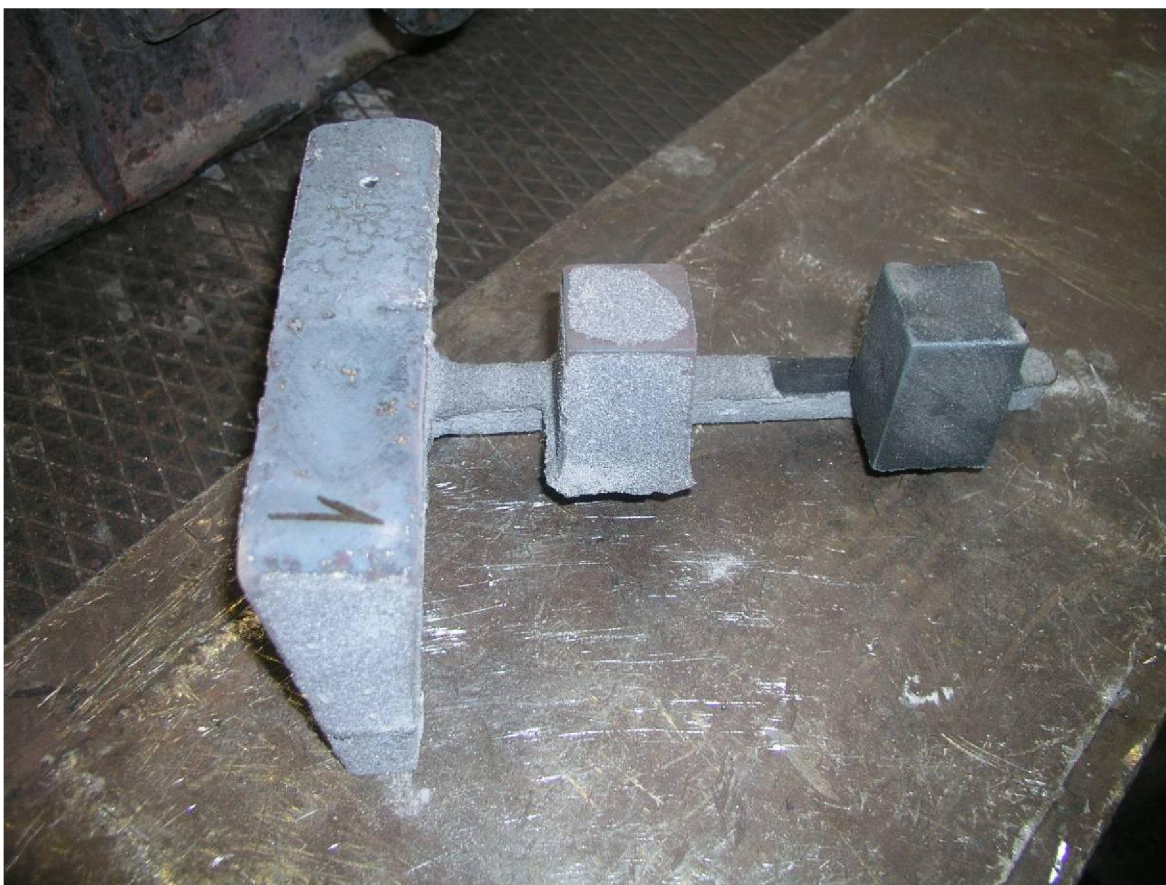
složení komponent	C	Si	Mn	Cu	P	S	Mg
surové Fe	4,2	0,13	0,01	0,012	0,026	0,006	0
ocel	0,05	0,01	0,01	0	0	0,03	0
FeSi	0	70	0	0	0	0	0
Cu	0	0	0	100	0	0	0
FeMn	6	0	72	0	0	0	0
NiMg6	0	0	0	0	0	0	6

Tab. 6.4 Složení vsázky

suroviny	hmotnost Kg
surové železo	11,6
ocel	1,157
FeSi 70	0,348
Cu	0,1

Tab. 6.5 5. Modifikátor

NiMg	hmotnost Kg	hmotnost Kg
P1 Mg _{zbyt}	11,6	11,6
P2 Mg _{zbyt}	1,157	1,157
P5 Mg _{zbyt}	0,348	0,348
P8 Mg _{zbyt}	0,1	0,1



Obr. 6.2. Odlitý vzorek č. 1

6.3.3 Výsledné chemické složení

Pro experiment bylo navrhováno eutektické složení, Během zkoušení se ale ukázalo, že výsledné složení je podeutektické, proto byl pro další tavby zvýšen obsah uhlíku a křemíku a změnil se poměr obsahu surového železa,

V tab. 6.5 je zaznamenáno chemické složení od každého vzorku před modifikací a po modifikaci NiMg6.

Tab. 6.5 Požadované složení kovu

% C	% Mn	% Si	% P	% S
3,6	0,1	2,0	do 0,05	do 0,015

Tab. 6.6. Zvolené koncentrace Mg_{zbyt} pro jednotlivé zkušební vzorky

číslo vzorku	P1	P2	P5	P8
% zbytk. Mg	0,00	0,005	0,014	0,025

Tab. 6.7 Výsledné chemické složení

Žďas	Koncentrace analyzovaných prvků v hmotnostních procentech												
Číslo vzorku	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Sn	Pb	Mg
P1	3,72	0,15	2,13	0,028	0,004	0,03	0,03	0,93	0,005	<0,01	0,004	<0,005	<0,01
P2.1	3,4	0,13	1,8	0,027	0,009	0,02	0,03	0,76	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	0,000
P2.2	3,4	0,13	1,78	0,027	0,008	0,02	0,11	0,77	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	0,004
P5.1	3,5	0,13	1,77	0,03	0,008	0,02	0,03	0,80	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	0,000
P5.2	3,5	0,13	1,77	0,03	0,008	0,02	0,22	0,79	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	0,018
P8.1	3,4	0,12	1,82	0,03	0,008	0,02	0,03	0,78	0,005	<0,01	<0,005	<0,01	0,000
P8.2	3,4	0,12	1,82	0,03	0,007	0,02	0,34	0,76	<0,005	<0,01	<0,005	<0,01	0,025

PX.1 – chemické složení před modifikací a očkování

PX.2 – chemické složení po modifikaci a očkování

6.3.4 Vyhodnocení struktury

Na obrázku 6.3 jsou metalografické výbrusy ve zvětšení 100x. Obrázky na levé straně jsou snímány bez naleptání, obrázky na straně pravé jsou snímány po naleptání.

Hodnocení struktury dle normy ČSN EN 1560:

- P2, $Mg_{zbyt} = 0,003\%$: 99% I. A 5 + 1% III. A 6

Z nenaleptaného výbrusu jde vidět pravidelné útvary lupínkového grafitu náhodně orientovaného a rovnoměrně rozloženého (mírně přechlazeného). Mezi lupínky se místy vyskytuje grafit mírně sbalený do kuličkových útvarů.

Z leptaného výbrusu lze rozpoznat lupínky grafitu obklopené feritem. Zbytek struktury tvoří perlit.

- P5, $Mg_{zbyt} = 0,010\%$: 90% I. A 4 + 10% V. A

Z nenaleptaného výbrusu jde vidět pravidelně rozmístěné náhodně orientované lupínky. Lupínky jsou větší, než u výbrusu vzorku P2. Místy se mezi lupínky vyskytují malé kuličky grafitu.

Z naleptaného výbrusu lze vidět vysoký obsah perlitu a místy malé množství feritu,

- P8, $Mg_{zbyt} = 0,018\%$: 90% VI. A + 10% III. A 5

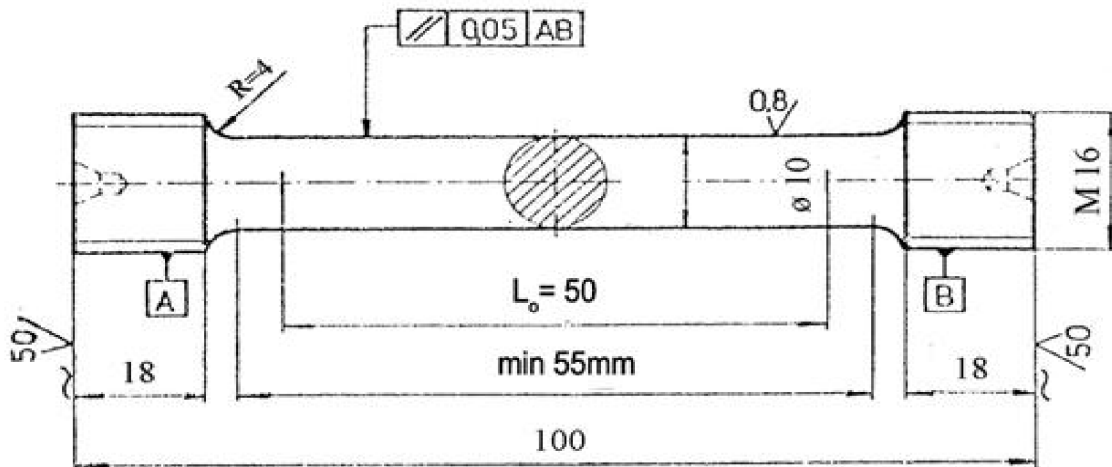


Na nenaleptaném výbrusu jde vidět kuličky grafitu sbalené do pravidelných útvarů. Mezi kuličkami se nacházejí ve velice malé míře drobné červíky. Z naleptaného výbrusu lze poznat perlitickou strukturu. Zrna grafitu obklopuje ferit.

Obr. 6.3 Metalografické výbrusy

6.3.5 Mechanické vlastnosti (zkouška tahem)

Zkušební vzorky byly vysoustruženy podle normalizovaných rozměrů, jak je zakresleno na obrázku na kulatou tyč o průměru 10 mm a délce 50 mm. Na zkušebních vzorcích byla provedena mechanická zkouška pevnosti v tahu.



Obr.6.4. Rozměry použité zkušební tyče

Z hodnot změřených pro dané vzorky vyplývá, že:

- výchozí vzorek P1 odpovídá litině značky GJL 100-0,4
- vzorek P2 odpovídá GJL 200-1,2
- vzorek P5 odpovídá GJL 250-1,2
- vzorek P8 odpovídá GJL 700-5,4

Všechny vzorky přesahují hodnoty tažnosti, než je stanoveno v normě.

Tab. 6.8 Vyhodnocení zkoušky tahem litina, 10x50mm

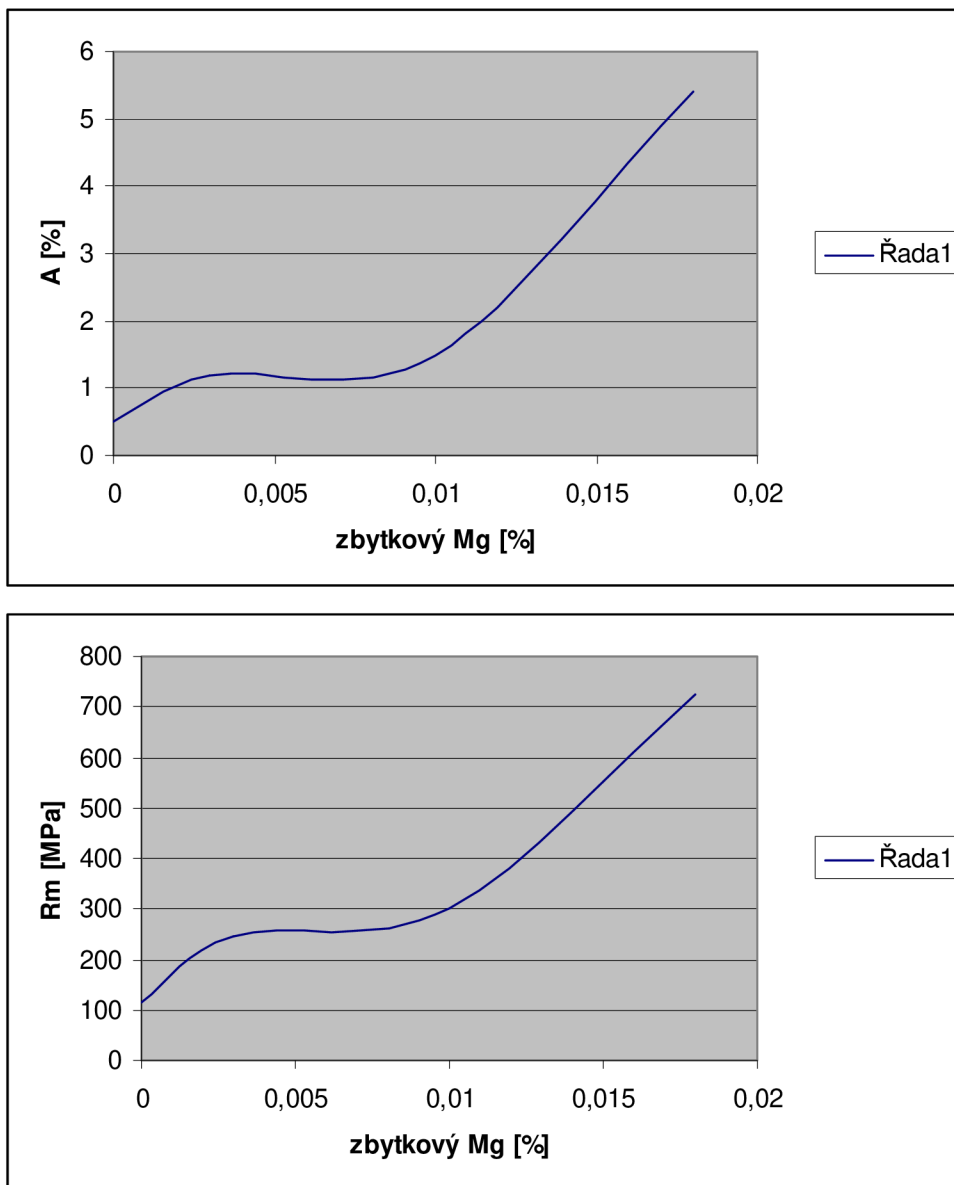
Měřené a vypočtené veličiny													
vzorek	zkouška	F _b	R _{p0.2}	Z	F _{max}	T	R _m	v	A	a	S ₀	L _u	S _u
		N	MPa	%	N	s	MPa	mm/min	%	mm	mm ²	mm	mm ²
P1	1		94	0,2	8167	21	104	2,02	0,4	10,01	78,7	50,20	78,54
	2		100	0,2	8945	24	114	2,02	0,5	10	78,54	50,23	78,38
P2	1	19856	205	0,4	19864	47,5	253	2,00	1,7	10	78,54	50,84	78,23
	2	19723	212	0,4	19885	41,6	253	2,01	1,2	10,01	78,70	50,62	78,38
P5	1	23731	234	0,6	23741	47,9	302	2,24	1,5	10,01	78,70	50,75	78,23
	2	22587	227	0,4	22617	47,8	287	2,12	1,0	10,01	78,70	50,52	78,38
P8	1	58903	446	4,0	59223	156,4	751	2,00	5,4	10,02	78,85	52,72	75,74
	2	57154	443	4,2	57276	146,2	726	2,00	5,4	10,02	78,85	52,68	75,58

6.4 Vyhodnocení experimentu

V závislosti zbytkového hořčíku na pevnosti v tahu a tažnosti je vidět podobný průběh. S narůstajícím množstvím zbytkového hořčíku narůstá i jeho pevnost a tažnost.

Pro litiny s pevností 250 – 500 MPa by mohla slévárna odlévat pomocí koncentrace hořčíku v rozmezí 0,0025 – 0,015 % Mg.

Aby se závěry ověřily, měla by slévárna experiment odzkoušet nejméně na třiceti tavných.



Obr. 6.5. závislost pevnosti a tažnosti na zbytkovém hořčíku



7 EKONOMIKA

7.1 Ekonomické srovnání nákladů na provoz kuplové a indukční pece

Pro srovnání nákladů výroby tekutého kovu za rok je vytvořena tabulka rozdělena na výrobu v kuplové peci, dále na výrobu v indukční peci s úvahou o zvýšení produktivity, či snížením spotřeby tekutého kovu.

Tab. 7.1. srovnání nákladů výroby tekutého kovu

položky	na kuplovně	na EIP	
roční výroba tekutého kovu	330,457 t	330,457 t	279,995 t
roční výroba odlitků	258 t	304,542 t	258 t
využití tekutého kovu	78%	92,16 %	92,16 %

Roční výroba tekutého kovu na kuplovně je 330,457 tun. Tato hodnota byla vypočítána z množství vsázkových surovin.

Vzhledem k tomu, že z každé tavby se po odpichu vylije cca 200 - 300 kg tekutého kovu pro nízkou teplotu a nejisté složení, můžeme předpokládat, že díky tavbě na EIP se využití tekutého kovu zvýší o 14,16 %. Hodnotu jsem vypočítala na základě množství vylitého kovu za každou tavbu. Předpokládala jsem maximální hranici spotřebovaného kovu. Slévárna taví třikrát do týdne. Každá tavba vyprodukuje 2 118 kg tekutého kovu. Během jednoho roku proběhne celkem 156 taveb.

Výpočet: $156 \cdot 300 = 46\,800 \text{ kg} = 46,8 \text{ tun}$
 $46,8 : 3,30457 = 14,16 \% - \text{ztráta tekutého kovu}$

Dále jsou zvažovány dvě možnosti vedení výroby. Jedna se odvíjí od množství vyprodukovaného výrobou odlitků, druhá má základ v množství roční spotřeby na tekutý kov. Slévárna by tedy mohla zvýšit produkci odlitků, nebo snížit náklady na vsázku, kdybych měli stejné složení vsázky. Rozdíl hodnot by pak byl 375 987,2 Kč úspory, či o 46,542 tun odlitků vyšší produkce. Vsázka do EIP je však odlišná hned v několika položkách od vsázky do kuplové pece.

7.1.1 Náklady na vsázku

Tab. 7.2 náklady na vsázku

položky	kalkulace nákladů na výrobu litiny v kuplové peci za rok 2008					kalkulace nákladů na výrobu litiny na indukční peci		
	roční spotřeba	cena za kg	náklady na rok	náklady na tunu	spotřeba na tunu	cena za kg	náklady na tunu	spotřeba na tunu
jednotka	kg	kč	kč	kč	kg	kč	kč	kg
surové Fe	108130	12,91	1396476	4226	327,21	10,94	4226	327,21
zlomková litina	221340	5,52	1221076	3695	669,8	6,32	3695	669,8
ocelový odpad	0	0	0	0	0	5,95	0	0
FeSi brikety	792	37,06	29355	88,83	2,396	38	88,83	2,396
FeP	20	9	180	0,545	0,06	9	0,545	0,06
FeSi 75	0	0	0	0	0	32	0	0
FeSi očkovoadlo	175	46,8	8190	24,78	0,53	46,8	24,78	0,53
vsázka celkem	330457		2655277	8035,16			8035,16	



Surové železo spotřebované v roce 2009 bylo zjištěno ze skutečných hodnot ze záznamu na skladu. Cena zlomkové litiny je spočítána na základě ceny

Geny za FeSi brikety, FeP, FeSi očkovadlo jsou zjištěny podle jejich skutečné spotřeby a ceny. Díky eliminaci ztráty tekutého kovu pro neznámou teplotu může slévárna ušetřit 14,16 % nákladů za rok, což může kompenzovat navýšení nákladů změnou vsázky.

Položka ocelový odpad ve formě paket 300x300x300 mm má složení do 0,2 % C, 0,2 % Si, 0,3 % Mn, 0,02 % S. Výsledky jsou vidět v tab. 2.7.

7.1.1.1 Konstrukce nákladů na vsázku

V tabulce 7.3 jsou zaznamenány hodnoty uvedené na základě vypočítané skladby vsázky. Cena surového železa pro GJL a GJS je stejná, podle ceníku stávajícího dodavatele. Zlomková litina používaná pro výrobu GJL není vhodná pro výrobu GJS. Je to způsobeno vyšším podílem prvků, především - Mn, S, P. Proto je třeba přistoupit ke změně skladby vsázky, což s sebou přináší vyšší náklady na vsázkové suroviny.

Ve chvíli, kdy bude slévárna vyrábět více druhů litin, bude nezbytné zabezpečit správné třídění surovin a vratného materiálu. Jsou zde tři možnosti, jak k věci přistoupit.

1. Vsázka pro všechny druhy litin bude stejná, proto není nutné třídít vratný materiál.
2. Vsázka bude mít stejné základní suroviny s rozdílem podílu zlomkové litiny pro výrobu GJL. Bude nutné třídít vratný materiál.
3. Vsázka pro GJL bude mít rozdílné kovové suroviny, tzn. surové železo a zlomková litina. Pro GJS bude používat jiné surové železo a přidávat ocelový odpad.

Možnost č. 1 je ze všech tří nejméně nákladná na vsázkové suroviny, ale vyžaduje důkladné třídění surového železa, ocelového odpadu, zlomkové litiny, vratného materiálu.

Možnost č. 2 je finančně výhodnější, než možnost č. 1, vyžaduje však důkladné třídění vratného materiálu.

Možnost č. 3 je výhodná pro jednoduché skladování a eliminaci třídění vratného materiálu. Je však značně finančně nákladná.

Tab. 7.3 náklady na vsázku 1t

položky	stávající vsázka			GJL s ocelovým odpadem		GJS	
	cena za kg	náklady na tunu	spotřeba na tunu	náklady na tunu	spotřeba na tunu	náklady na tunu	spotřeba na tunu
jednotka	kč	Kč	kg	kč	kg	kč	kg
surové Fe	12,91	4 226	327,21	5 809,50	450	11 103,05	855
zlomková litina	5,52	3 695	700	2 208,00	400	0	0
ocelový odpad	5,95	0	0	893	150	862,75	145
FeSi brikety	37,06	88,83	2,396	0	12	0	28,2
FeP/Cu	9	0,545	0,06	0	0	0	7,9
FeSi očkovadlo	46,8	24,78	0,53	468	10	1 404	30
celkem		8 035		9 378,00		13 370	

7.1.1.2 Úspora nákladů

1. V prvním případě se předpokládá, že vsázka na indukční peci je stejná, jako na kuplovně. Proto náklady na vsázku jsou u obou tavicích agregátů stejné.
2. V druhém případě se předpokládá, že část původní vsázky nahradí jiné suroviny, sníží se podíl zlomkové litiny a přidá se podíl ocelového odpadu a surové železo pro výrobu GJL se nahradí železem pro výrobu GJS. Suroviny pro výrobu GJS se budou používat bez zlomkové litiny.
3. Začátkem zavedení nové technologie by ve vsázce neměla být obsažena žádná zlomková litina. Jestliže bude nutné pro jakostní litiny pracovat bez zlomkové litiny ve vsázce, v takovém případě náhrada zlomkové litiny ocelovým odpadem surovým železem zřejmě zvýší náklady na vsázku.

Tab. 7.4 složení a procento komponent vsázky pro GJS

GJS	C	Si	Mn	P	S	Cu
surové železo 84 %	4,2	0,13	0,1	0,026	0,006	0,012
ocel 13,06	0,05	0,1	0,1	0,020	0,03	
FeSi 70 - 2,82 %		70				
požadované složení	3,6	2,1	0,1	0,05	0,006	0,8

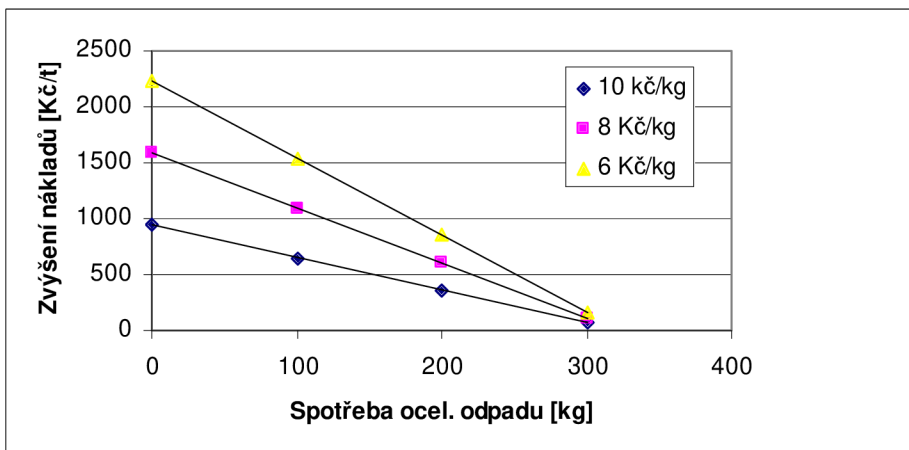
Tab. 7.5 složení a množství komponent vsázky pro GJL

GJL	C	Si	Mn	P	S
surové železo 45 %	4,2	0,13	0,8	0,3	0,15
ocelový odpad 15 %	0,05	0,1	0,1	0,02	0,03
zlomková litina 40 %	3,42	2,16	0,43	0,32	0,103
FeSi 70 1,2 %		70			
požadované složení	3,3	1,8	0,8	0,3	0,15

V tabulce 7.4 je složení vsázky vypočítané na základě složení používaného v experimentu. Chemické složení surovin vychází z chemického složení surovin používaných k experimentu. Z tabulky je patrné, že je do vsázky potřeba velké procento surového železa. V tabulce 7.5 je složení pro GJL s použitím zlomkové litiny ke snížení nákladů na tunu. Počítá se s 40 % zlomkové litiny, podíl obsažený v dnes vyráběné litině slévárnou ALFE, s.r.o.. Rozdíl mezi množstvím surového železa pro GJL a GJS je téměř dvojnásobný.

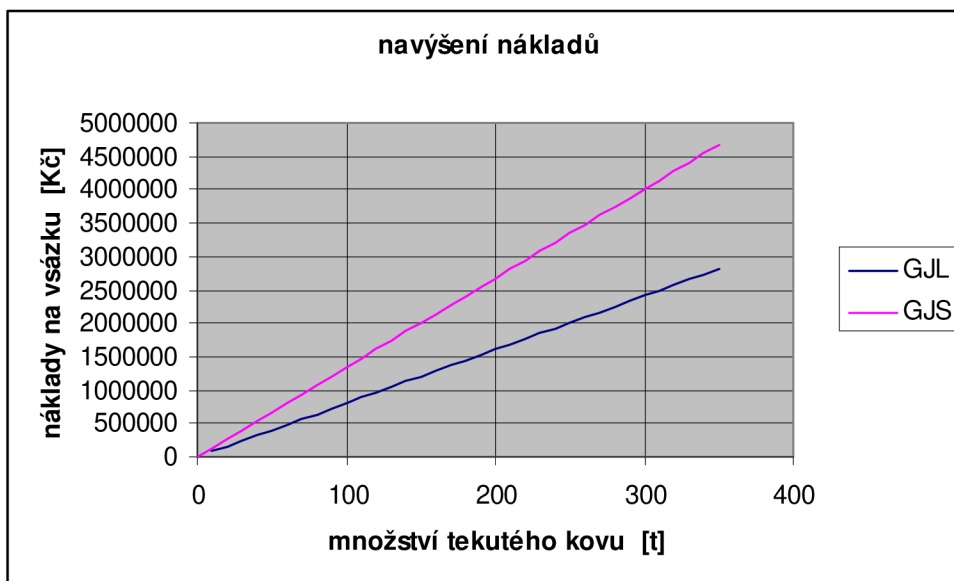
Množství zlomkové litiny bude omezeno požadovaným obsahem P nebo S ve vyráběné litině. Pro nenáročné odlitky z litiny s kuličkovým grafitem lze omezit obsah P na max 0,05 % a řešit odsíření litiny. Náklady na výrobu tekutého kovu by však zmínil podíl ocelového odpadu, který slévárna dosud nevyužívá.

Lze předpokládat, že množství ocelového odpadu nepřesáhne 30 % celkové vsázky. Při různé ceně stanovené na množství odebíraného kovu pak úspory mohou vypadat následovně:



Obr. 7.1. Zvýšení nákladů Kč/t v závislosti na podílu množství ocelového odpadu ve vsázce

Na obr. 7.1 zvýšení nákladů závislé na ceně a množství ocelového odpadu používaného k výrobě jakostních litin. Podíl ocelového odpadu by podle tohoto modelu neměl překročit 30 %, což je pro 1 t 300 kg. S narůstajícím množstvím ocelového šrotu ve vsázce se blíží zvýšení nákladů k 0 Kč. Jiná situace nastane, jestliže bude nutné pro jakostní litiny pracovat bez zlomkové litiny ve vsázce. V takovém případě náhrada zlomkové litiny ocelovým odpadem a surovým železem zvýší náklady na vsázku podle obrázku.



Obr. 7.2 zvýšení nákladů za jeden rok

Křivka GJL znázorňuje výdaje na výrobu šedé litiny s použitím zlomkové litiny podle stávající metalurgie. Křivka GJS znázorňuje výdaje za výrobu jakostní litiny s vysokým podílem surového železa a absencí zlomkové litiny. Při výrobě 330,457 t ročně by to znamenalo rozdíl 1 762 922 Kč. Slévárna však bude pokračovat ve výrobě litiny s lupínkovým grafitem, proto se nedá předpokládat, že by navýšení nákladů dosahovalo takovéto hodnoty.

7.1.1.3 Zhodnocení jednotlivých možností

Tab. 7.6 zhodnocení

zhodnocení	náklady	náročná litina	třídění
možnost 1.	+	-	+
možnost 2.	+	+	-
možnost 3.	-	+	+

7.1.2 Spotřeba energií

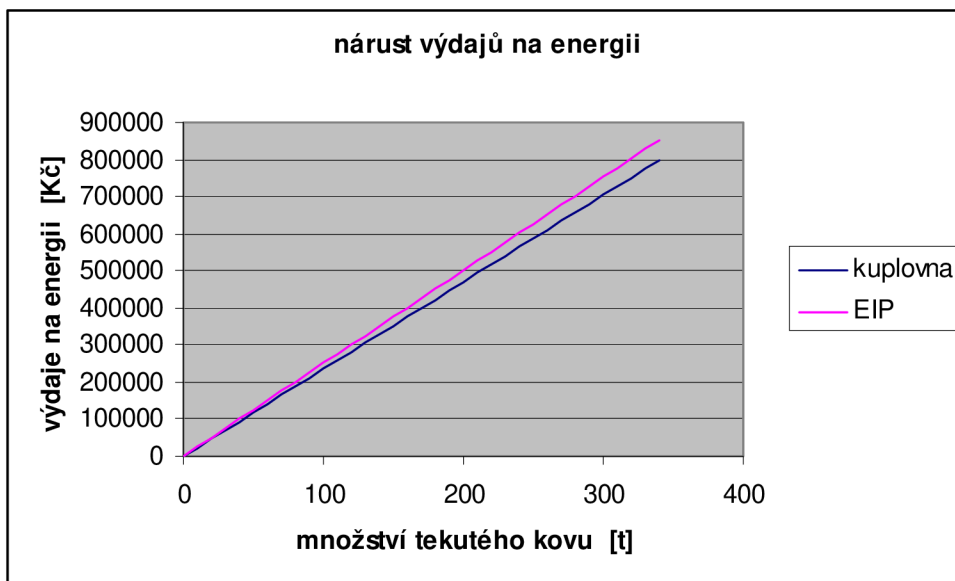
Rozdíl mezi kuplovou pecí a pecí indukční je zásadní. Při vedení tavby na kuplové peci je zdrojem tepla pro natavení kovu koks. Cena koksu a jeho množství vychází opět ze skutečné spotřeby. Nejen pro provoz elektrických pecí je zapotřebí elektrického proudu. V kuplovně je pomocí elektrického proudu poháněno dmychadlo. Zjištění jeho spotřeby bylo na základě odečtení jednotek na elektroměru a výpočtu relativního podílu na celkové spotřebě elektrické energie. Roční spotřeba vody byla spočítána podle celkové roční spotřeby a podílu vody potřebné k chlazení kuplové pece. Propan butan se nakupuje do zásob na sklad, proto náklady na propan butan vychází z přesného přehledu spotřeby slévárny. Zemní plyn, respektive jeho spotřeba byla zjištěna na základě vyúčtování od plynárenské společnosti.

Tab. 7.7 spotřeba energií

spotřeba energií	roční spotřeba	cena	náklady na rok	náklady na tunu	spotřeba na tunu	cena	náklady na tunu	spotřeba na tunu
jednotka		kč	kč	kč		kč	kč	
koks	79 610 kg	9,43	750898	2 272,30	240,9 kg			
elektrická energie	2 240 kWh	3,93	8 800	26,63	6,68 kWh	3,7	2 405	650 kWh
el. en. na chlazení						3,7	37	10 kWh
el. en. hydraul. agreg.						3,7	11,1	3 kWh
voda	50 m ³	24,3	1 215	3,676	0,15 m ³	24,3	48,6	2 m ³
propan butan	430 kg	31,6	13 586	41,11	1,3 kg			
zemní plyn	1 706 kWh	1,08	1 846	5,586	5,16 kWh	1,08	5,586	5,16 kWh
energie celkem			776345	2349,30			2 507	

Na elektrickou indukční pec odpadají náklady na koks, zato se však zvyšuje spotřeba elektrické energie.

Elektrická energie potřebná pro natavení jedné tuny převyšuje o 132,7 Kč cenu koksu potřebného k natavení stejného množství kovu. Spotřeba energie se však netýká pouze těchto položek. Porovnání celkové spotřeby energií pro natavení jedné tuny kovu ukazuje, že elektrická indukční pec stojí o 157,7 Kč/t více, což se v roční spotřebě nákladů na energii projeví částkou 828 455,7 Kč. Rozdíl v roční spotřebě činí 52 110 Kč.



Obr. 7.3 navýšení nákladů na spotřebu energií

7.1.3 Pomocný materiál

Pomocný materiál zahrnuje žáruvzdorný materiál, výmazkové hmoty, vápenec a odpichové kostky. Všechny tyto položky prochází skladem, proto je jejich hodnota stanovena z vyúčtování. Odpichové kostky se používají pro více jak jednu tavbu, dokud nedojde k jejich poškození. Tavič musí dbát na to, aby kostka používaná pro tavbu byla řádně vysušená. Změna pece bude vyžadovat změnu technologie opravy vyzdívky. Pro rychlý a efektivní způsob větší opravy vyzdívky je vhodná metoda s použitím šablony se suchou dusací hmotou. Pro menší opravy, zejména dna kelímku a jeho nejzazšího okolí během vedení taveb se provádí za tepla po vylití celého obsahu kelímku. V nákladech na pomocný materiál je uvedena cena výdusky Siderit 98 PT od výrobce SP Minerále Oy Ab. Jejím dodavatelem je Ing. Jiří Hanke Pstružovská 751, 739 11 Frýdlant nad Ostravicí. Je to suchá vybrační hmota na bázi křemene SiO₂ 85 % s kyselinou boritou, nebo anhydridem.

Šablonu pro opravu výdusky je možno zhotovit z plechu o tloušťce 5 mm, kterého by se spotřebovalo zhruba 10 Kg. V tabulce je počítáno s výměnou šablony celkem 20 krát za rok.

Rozdíl mezi náklady na pomocný materiál činí 78,77 Kč/t, což se v roční spotřebě projeví úsporou 26 030 Kč.

Tab. 7.8 pomocný materiál

pomocný materiál	roční spotřeba	cena	náklady na rok	náklady na tunu	spotřeba na tunu	cena za kg	náklady na tunu	spotřeba na tunu
jednotka		kč	kč	kč		kč	kč	kg
žáruvzdorný mat.	102 kg	207	21 119	63,9	0,3 kg	207	64	0,2
výmazkové hmoty	18 000 kg	4,3	77 109	233,34	54,47 kg	8	112	14



vápenec	8420 kg	0,53	4 470	13,53	25,48 kg	0	0	0
odpich kostky	65 ks	71,12	4 623	14	0,176 ks	0	0	0
izolace	0	0	0	0	0		50	
šablona	0	0	0	0	0	50	3	0,06
pom. mat. celkem			107 321	324,77			229	

7.1.4 Mzdové náklady

Mzdové náklady se týkají především taviče a jeho pomocníka. Tavič má za úkol udržovat pec a její vybavení, vést tavbu, provádět zkoušky během tavby, uklízet a dbát na okolí pece. Pomocník je stále při ruce a pomáhá s přípravou pece a druhuje. Do tabulky jsou zahrnuty tyto práce týkající se provozu pece.

Tavič pro svoji práci potřebuje ochranné pomůcky. Ty jsou nezbytnou součástí z hlediska bezpečnosti práce. Do ochranných pomůcek patří: brýle, rukavice, helma. Jednou ročně dostává nové pracovní oděvy. Pro pomocníka není zapotřebí celé vybavy, protože se nepohybuje u pece během tavby, pouze ji chystá a druhuje vsázku.

Do mzdových nákladů patří i oprava pece, kterou provádí jednou ročně specializovaná firma.

Mzdové náklady se sníží o 60,48 Kč/t, což se v celkové roční spotřebě projeví snížením celkových nákladů o 19 986 Kč.

Mzdové náklady se také mohou změnit díky mechanizaci některých prací doposud vykonávaných ručně.

Tab. 7.9 mzdové náklady

mzdové náklady	roční spotřeba	cena 1 hod	náklady na rok	náklady na tunu	spotřeba na tunu	cena za hod	náklady na tunu
jednotka		kč	kč	kč		kč	kč
tavič	1 594 h/rok	140	223 160	675,3	4,82 h	140	675,3
pomocník	1 594 h/rok	140	223 160	675,3	4,82 h	140	675,3
oprava pece	1/rok		20 000	60,52			
ochranné oblečení	tavič		5 000	15,13			15,13
a pomůcky	pomocník		1 000	3,026			3,026
mzdy celkem			472 320	1429,28			1368,8

7.1.5 Ostatní náklady

Do ostatních nákladů viz. tab. 7.9 je zahrnuta položka na zpracování odpadu. Při výrobě na kuplové peci se vyprodukuje 42 tun odpadu během jednoho roku. Odpadem je myšlena struska. Vnášení síry z kovové vsázky a především koksu vede ke zhoršování kvality kovu, proto slévárna k odsíření používá vápenec, který pomáhá vytvářet strusku, do které síra odchází. Elektrická pec s sebou nese přínos v podobě výrazně menšího množství odpadu. Odpadá zde vnášení síry z koksu do kovu.

Slévárna by tedy ročně mohla ušetřit 16 044 Kč jenom tím, že by neprodukovala tolik odpadu.

Tab. 7.10 ostatní náklady

ostatní náklady	roční spotřeba	cena za kg	náklady na rok	náklady na tunu	spotřeba na tunu	cena za kg	náklady na tunu	spotřeba na tunu
jednotka	tuna	kč	kč	kč	kg	kč	kč	
odpad	42	0,382	16 044	48,55	0,127			

7.2 Konstrukce nákladů na indukční peci

Nákladové modely pro tři případy počítají vždy se stejnými náklady na energii, pomocný materiál, mzdy, ostatní náklady. Jejich souhrn je v tabulce označen jako zpracovací náklady. Souběžně je zvažována úspora tekutého kovu pro každý model.

7.2.1 I. nákladový model

V prvním nákladovém modelu se vychází z předpokladu, že vsázka na indukční peci je stejná jako na kuplovně. Proto náklady na vsázku jsou u obou tavicích agregátů vesměs stejné, rozdíly ve zpracovacích nákladech jsou ve všech ostatních nákladech.

V tab. 7.11 jsou vypsány náklady na tunu a náklady na rok podle množství tekutého kovu na žlabu. I přes zvýšení nákladů na energii se stále náklady na tunu snížily díky změně v položkách na pomocný materiál a ostatní náklady.

Eliminací ztráty tekutého kovu pro nezaručenou teplotu lze ročně ušetřit 623 979 Kč.

Tab. 7.11 první nákladový model

agregát	Kuplovna 330,457 Kč/t		EIP 330,457 t/rok		EIP 279,948 t/rok	
jednotka	Kč/rok	Kč/tuna	Kč/rok	Kč/tuna	Kč/rok	Kč/tuna
náklady na vsázku	2 655 277	8 035,16	2 655 277	8 035,16	2 249 427	8 035,16
spotřeba energií	776 345	2 349,30	828 456	2 507	701 830	2 507
pomocný materiál	107 321	324,77	81 292	246	68 867	246
mzdové náklady	472 320	1 429,28	452 313	1368,76	383 182	1368,76
ostatní náklady	16 044	48,55	0	0	0	0
zpracovací náklady	1 372 030	4 152	1 362 061	4 122	1 153 879	4 122
celkem	4 027 307	12 187,06	4 017 338	12 157	3 403 328	12 157

7.2.2 II.nákladový model

Ve druhém nákladovém modelu se počítá se změnou složení vsázky o ocelový odpad a ponecháním zlomkové litiny. Pokud bude produkce tekutého kovu odpovídat stejnému množství vyexpedovaných odlitků, jako je stávající stav, ročně se stále ušetří 248 009 Kč.

Tab. 7.12 druhý nákladový model

agregát	Kuplovna 330,457 Kč/t		EIP 330,457 t/rok		EIP 279,948 t/rok	
jednotka	Kč/rok	Kč/tuna	Kč/rok	Kč/tuna	Kč/rok	Kč/tuna
náklady na vsázku	2 655 277	8 035,16	3 099 026	9 378	2 625 353	9 378
spotřeba energií	776 345	2 349,30	828 456	2 507	701 830	2 507
pomocný materiál	107 321	324,77	81 292	246	68 867	246
mzdové náklady	472 320	1 429,28	452 313	1368,76	383 182	1368,76
ostatní náklady	16 044	48,55	0	0	0	0
zpracovací náklady	1 372 030	4 152	1 362 061	4 122	1 153 879	4 122
celkem	4 027 307	12 187,06	4461090	13500	3779298	13500

7.2.3 III. nákladový model

Třetí nákladový model počítá s náročnou skladbou vsázky složené z velkého množství surového železa a menšího podílu ocelového odpadu. Pokud by se ročně vyprodukovalo stejné množství odlitků, jako dnes, náklady by se zvedly o 869 543 Kč/rok.

Tab. 7.13 třetí nákladový model

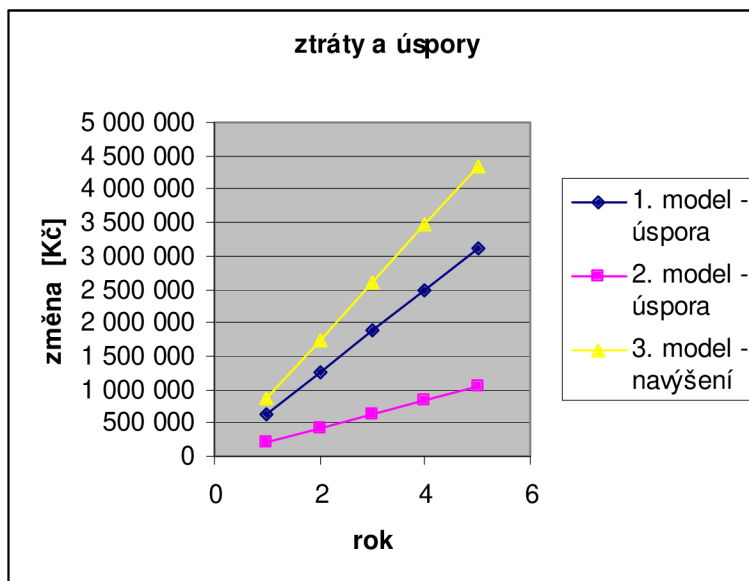
agregát	Kuplovna 330,457 Kč/t		EIP 330,457 t/rok		EIP 279,948 t/rok	
jednotka	Kč/rok	Kč/tuna	Kč/rok	Kč/tuna	Kč/rok	Kč/tuna
náklady na vsázku	2 655 277	8 035,16	4 418 210	13 370	3 742 905	13 370
spotřeba energií	776 345	2 349,30	828 456	2 507	701 830	2 507
pomocný materiál	107 321	324,77	81 292	246	68 867	246
mzdové náklady	472 320	1 429,28	452 313	1368,76	383 182	1368,76
ostatní náklady	16 044	48,55	0	0	0	0
zpracovací náklady	1 372 030	4 152	1 362 061	4 122	1 153 879	4 122
celkem	4 027 307	12 187,06	5780275	17492	4896850	17492

7.2.4 Souhrn nákladových modelů

První nákladový model je z finančního hlediska výhodný, ale pokud chce slévárna rozšířit sortiment o náročné druhy litiny, bude muset přistoupit k jiné variantě.

Druhý nákladový model skýtá jak úsporu financí, tak schopnost flexibilně reagovat na momentální poptávku. Je schopen vytvořit prostředí pro náročnější druhy litiny i nenáročnou šedou litinu. Vzniklé úspory lze investovat do dalšího rozšiřování, či je zahrnout do návratu pořizovacích investic.

Třetí nákladový model je finančně náročný, za to však dovoluje dodržovat vysoké nároky na kvalitu produkované litiny.



Obr. 7.4. Ztráty a úspory 1. a 2. křivka značí úspory pro tavbu 279,948 tun tekutého kovu, křivka 3. značí navýšení nákladů pro stejné množství tekutého kovu.

8. VÝHODY A NEVÝHODY PROVOZU KUPLOVÉ A ELEKTRICKÉ INDUKČNÍ PECE

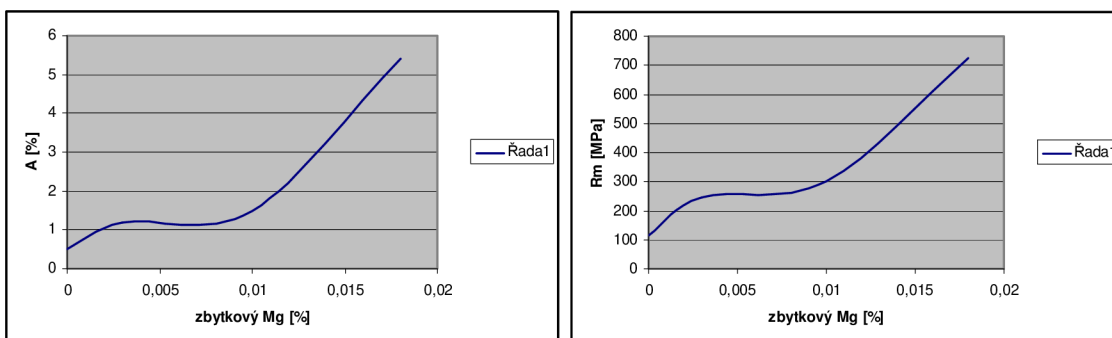
Porovnání výhod a nevýhod provozu elektrické a kuplové pece je vidět v tab. 8. 1. Výhody jsou značeny znaménkem +, nevýhody znaménkem -. Podle tabulky se dá říct, že provoz elektrické indukční pece má více kladných aspektů, než provoz kuplové pece. Cena vsázky pro indukční pec je vyšší, ale díky možnosti rozšíření sortimentu o náročnější druhy litiny bude mít slévárna příležitost dostávat lukrativnější zakázky a pokryje větší část poptávky, než nyní. Cena energie bude vyšší, zato odpadnou vysoké náklady za zpracování odpadu. Mzdové náklady se mohou dostat na nižší hodnotu, ale pracovníci ocení především snadnější práci a čistší pracovní prostředí.

Tab. 9.1. Výhody a nevýhody vedení tavby na kuplové a indukční peci

výhody a nevýhody	kuplová pec	elektrická pec
cena vsázky	+	-
možnost výroby náročných druhů litiny	-	+
skladování vsázky	-	+
cena energie	+	-
ochrana životního prostředí	-	+
Odpad	-	+
cena pomocných materiálů	-	+
mzdové náklady	-	+
náročnost přípravy pece	-	+
náročnost odlévání	-	+

9 ZÁVĚR

Bylo prokázáno, že lze vyrábět litinu různé pevnosti pomocí řízení množství zbytkového hořčíku viz. obr. 9.1.



Obr. 9.1 závislost pevnosti v tahu a tažnosti na obsahu zbytkového hořčíku

Z ekonomického hlediska podle třech nákladových modelů může slévárna ušetřit při zachování stejného způsobu vedení tavby 623 979 Kč/rok. Přijetím druhého modelu může slévárna ušetřit přibližně 208 009 Kč/rok. Zároveň bude mít možnost vyrábět litinu vyšších mechanických vlastností. Naproti tomu s přistoupením k vsázce podle třetího modelu se náklady navýší o 869 543 Kč/rok. Výhodou tavby na indukční peci je její mizivé procento propalu. Díky úspoře tekutého kovu pak mohou vznikat rezervy pro zavádění nových technologií. Zaručenou teplotou kovu lze omezit zmetkovitost, která není v ekonomickém hodnocení uvažována.

Z hlediska životního prostředí tato změna znamená méně emisí v okolí slévárny. Pokud by nedošlo ke změně tavicího agregátu, hrozilo by zastavení provozu slévárny. Je tedy příznivé, že provoz nové pece může ušetřit celkové náklady a zároveň rozšířit sortiment o náročnější druhy litin.



Seznam použité literatury

- [1] EXNER, J., HUČKA, J., PAVLÍK, I., PĚLUCHA, B., STRÁSKÝ, D.: Sborník přednášek – Kurz pro taviče litin. 1. vyd. Brno 2009. 79 s.
- [2] ROUČKA, J.: Metalurgie litin. 1. vyd Brno 1998. 166 s. ISBN 80-214-1263-1.
- [3] OTÁHAL, V.: Šedá litina, Litina s lupínkovým grafitem. 1. vyd. Brno 2007. 311 s
- [4] HENYCH, Ivo. Vývojové trendy v oblasti metalurgie litiny s kuličkovým grafitem. Slévárství. 1993, 4, s. 173-181.
- [5] OTÁHAL, V.: Tvárná litina, Litina s kuličkovým grafitem. 1. vyd. Brno 2006. 562 s.
- [6] ŠENBERGR, J., BŮŽEK Z., ZÁDĚRA A., STRÁNSKÝ K., KAFKA V.: Metalurgie oceli na odlitky 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně – Nakladatelství VUTIUM 2008. 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9.
- [7] GEDEONOVÁ, Zora. Analýza metalurgických procesov a ich vplyv na kvalitu liatiny s guľočkovým grafitom v podmienkach Zlievárne Hronec. Slévárství. 1993, 2, s. 65-70.
- [8] STEHLÍK, K.: Bakalářská práce „Tepelné zpracování odlitků z litiny ADI s vysokou ořezávací odolností“, VUT v Brně, FSI, 2003
- [9] BECHNÝ, Lubomír; LETKO, Ivan ; CHALUPOVÁ, Mária. Bainitické liatiny s guľočkovým grafitom - výroba, únavové vlastnosti a použitie. Slévárství. 1993, 4, s. 183-190.
- [10] Dorazil, E. - Věchet, S. – Kohout, J.: Litina s kuličkovým grafitem a její vysokopevná varianta – ADI; časopis Slévárství, 46, 1998, č. 11-12, str. 440-446
- [11] DORAZIL, Eduard. Izotermicky zušlechťená litina s kuličkovým grafitem. Slévárství. 1993, 4, s. 181-183.
- [12] ŠENBERGER, Jaroslav. , et al. Použití izotermicky zušlechťené litiny s kuličkovým grafitem pro výrobu odlitků se zvýšenou odolností proti abrazi zejména na náhradní díly zemědělských strojů. Slévárství. 2004, 11-12, s. 456-460.