

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

Sortiment grafitických litin v konstrukci automobilu

Rostislav Soldát

Bakalářská práce

2011

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Rostislav SOLDÁT**
Osobní číslo: **D08280**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**
Název tématu: **Sortiment grafitických litin v konstrukci automobilu**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Základní charakteristika grafitických litin.
2. Rozbor rozhodujících strukturních parametrů a metalurgické jakosti ve vlivu na mechanické vlastnosti grafitických litin.
3. Přehled aplikací v dopravní technice, tendence dalšího vývoje.
4. Vyhotovení prezentační sady vzorků vybraného sortimentu litin.
5. Metalografické vyhodnocení prezentační sady; vyhotovení studijního materiálu zaměřeného na provozní odolnost litin.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Skočovský P., Podrábský, T.: Grafitické litiny, EDIS-ŽU, 2005, ISBN 80-8070-390-6
Mitura, K. - Landová, S.: Vměstky v oceli a jejich vliv na užité vlastnosti oceli. SNTL Praha, 19y86
Výběr norem pro hodnocení jakosti grafitických litin. Ptáček, L. a kol.: Nauka o materiálu I-II. CERM, s.r.o. Brno 1999, ISBN 80-7204-193-2

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání bakalářské práce: **25. února 2011**

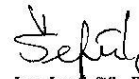
Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2011**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



Ing. Ivo Seřfík, Ph.D.

vedoucí katedry

dne

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60, odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice ode mne oprávněna požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne

Rostislav Soldát

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Evě Schmidové, Ph.D., za odborné vedení, poskytnuté rady, věnovaný čas a ochotu při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu, trpělivost a pochopení.

ANOTACE

Práce je věnována problematice grafitických litin. Teoretická část se zaměřuje na základní charakteristiky litin, do kterých je zahrnuta výroba litin, stabilní a metastabilní rovnováha železa s uhlíkem a jejich označování. Dále jsou zde popsány základní druhy litin, jejich struktura, mechanické vlastnosti a použití.

Praktická část se zabývá dvanácti vzorky, ve kterých je obsažena většina typů grafitických litin. Na posledních dvou vzorcích je uvedena ukázka hodnocení struktury podle norem.

KLÍČOVÁ SLOVA

Grafitické litiny, grafit, matrice, metalografie, mechanické vlastnosti

TITLE

The assortment of the graphite cast irons in automotive construction

ANNOTATION

This paper deals with graphitic cast irons. In the theoretical part the basic characteristics of the cast irons are studied. The production of cast irons, the stable and metastable equilibrium of iron with carbon and the labelling of cast irons are included. Furthermore, the basic kinds of cast irons, their structure, mechanical properties and their practical applications are described. In the practical part 12 samples containing most types of graphitic cast irons were investigated. As a demonstration the structure of the last two samples is evaluated according to standards.

KEY WORDS

Graphite cast iron, graphite, matrix, metallography, the mechanical properties

Obsah

Obsah	7
Úvod	9
1 Základní charakteristika grafitických litin	10
1.1 Oceli na odlitky	10
1.2 Výroba litin	11
1.2.1 Tavicí zařízení	11
1.3 Stabilní a metastabilní rovnováha v soustavách železa s uhlíkem	12
1.4 Tvorba tvaru grafitu	14
1.5 Fázové přeměny litin v tuhém stavu	16
1.6 Označování litin	17
2 Základní typy litin	18
2.1 Bílé litiny	18
2.1.1 Strukturní charakteristika	18
2.1.2 Mechanické a technologické vlastnosti	18
2.1.3 Použití	19
2.2 Litina s lupínkovým grafitem - šedá litina	19
2.2.1 Strukturní charakteristika	19
2.2.2 Mechanické a technologické vlastnosti	22
2.2.3 Použití šedých litin	23
2.3 Litina s kuličkovým grafitem - tvárná litina	24
2.3.1 Strukturní charakteristika	24
2.3.2 Mechanické a technologické vlastnosti	27
2.3.3 Použití	29
2.4 Izotermicky zušlechtěná litina s kuličkovým grafitem ADI	30
2.4.1 Strukturní charakteristika	30
2.4.2 Použití	33
2.5 Litina s červíkovitým grafitem	34
2.5.1 Strukturní charakteristika	34
2.5.2 Použití	37
2.6 Temperované litiny	37
2.6.1 Temperovaná litina s bílým lomem	37
2.6.2 Temperovaná litina s černým lomem	38

2.6.3	Temperovaná perlitická litina.....	38
2.6.4	Tvrzená litina	38
3	Tendence dalšího vývoje	39
4	Prezentace vybraných typů litin	40
4.1	Příprava metalografických vzorků	40
4.1.1	Vzorek č. 3 - Bílá litina	41
4.1.2	Vzorek č. 4 – Tvárná litina s matricí perliticko-feritickou I.	43
4.1.3	Vzorek č. 5 – Šedá litina s matricí perlitickou I.	44
4.1.4	Vzorek č. 6 - Tvárná litina s matricí feritickou	45
4.1.5	Vzorek č. 7 - Šedá litina s matricí perliticko-feritickou I.	46
4.1.6	Vzorek č. 8 - Tvárná litina s matricí perliticko-feritickou II.	47
4.1.7	Vzorek č. 9 - Litina s červíkovitým grafitem	49
4.1.8	Vzorek č. 10 - Šedá litina s matricí perlitickou II.	50
4.1.9	Vzorek č. 11 - Tvárná litina s matricí feriticko-perlitickou I.	51
4.1.10	Vzorek č. 12 - Tvárná litina s matricí feriticko-perlitickou II.	52
5	Příklad normativního hodnocení jakosti vybrané litiny.....	53
5.1.1	Vzorek č. 1 - Šedá litina s matricí perliticko-feritickou II.	53
5.1.2	Základní strukturní fáze hodnocené podle norem u vzorku č.1 a č. 2	55
5.1.3	Normativní hodnocení vzorku č.1	57
5.1.4	Vzorek č. 2 - Šedá litina s matricí perlitickou III.	58
5.1.5	Základní strukturní fáze hodnocené podle norem u vzorku č. 2	59
5.1.6	Normativní hodnocení vzorku č.2	60
	Závěr.....	61
	Použité literatura.....	63
	Seznam obrázků	64
	Seznam tabulek	64

Úvod

Litiny jsou slitiny železa, uhlíku a dalších doprovodných prvků, v nichž je obsah uhlíku vyšší než je maximální rozpustnost uhlíku v austenitě.

Jednou z nejdůležitějších součástí struktury grafitických litin je grafit. Základní vlastnosti litin jsou závislé na tvaru, množství a velikosti vyloučeného grafitu a charakteru kovové matrice.

Jednotlivé druhy litin je možné seřadit podle pevnosti v tahu, modulu pružnosti, tažnosti a houževnatosti v pořadí od nejhorší k nejlepší: litina s lupínkovým grafitem, litina s červíkovitým grafitem, litina s kuličkovým grafitem. V opačném pořadí se ovšem snižuje slévateľnost, obrobiteľnosť, tepelná vodivost a korozní odolnosť.

Grafitické litiny neodmyslitelně patří do konstrukce silničních vozidel. Jejich využití oproti předchozím desetiletím mírně klesá, ale pro jejich jedinečné vlastnosti jsou jinými materiály nenahraditelné. Při zvolení správného typu litiny s vhodným chemickým složením a popřípadě i tepelným zpracováním lze dosáhnout jedinečných mechanických vlastností odlitku. Další výhodou jsou nízké výrobní náklady, kterých je možno dosáhnout i opětovným roztavením kovového odpadu.

Litiny jsou hojně využívány především v sériové výrobě, ve které se využívá jejich vhodných slévárenských vlastností. Pomocí propracovaných forem je možné vyrobit velice komplikované tvary, kterých by jinak nebylo možno dosáhnout, nebo jen s velice vysokými náklady.

Jsou materiálem, který je na odlitky používán již staletí. Tvoří velmi důležitou skupinou kovových materiálů používaných na výrobu odlitků. Grafitické litiny jsou stále nejpoužívanějším materiálem na výrobu odlitků a předpokládá se udržení této situace i nadále.

Vývoj litin se v současnosti začíná zaměřovat na jakostní druhy litiny s vysokými užitkovými vlastnostmi, kde je možné optimální využití kovové substance.

1 Základní charakteristika grafitických litin

Litiny jsou slitiny železa s uhlíkem, křemíkem a dalšími doprovodnými a legujícími prvky. Obsah uhlíku v těchto slitinách převyšuje hraniční hodnotu rozpustnosti uhlíku v austenitě (minimálně 2 % C).[1]

1.1 Oceli na odlitky

Oceli na odlitky nepatří do skupiny grafitických litin. Jsou zde uvedeny, protože se stejně jako litiny používají při výrobě odlitků a mnohdy jsou vlastnosti litin porovnávány právě s těmito oceli. Vlastnosti ocelí na odlitky se odlišují od ocelí tvářených, i když mají stejné chemické složení. Velký vliv na vlastnosti ocelí na odlitky mají podmínky tuhnutí, především rychlost odvodu tepla. Nevýhodou ocelí na odlitky je heterogenita odlitku. Je nutné počítat s větším odmíšením ocelí na odlitky než u ocelí tvářených, proto bývají vysokolegované ocele na odlitky více legované, aby tak mohla být zaručena jejich úroveň legování. V porovnání s litinami mají ocele na odlitky menší tepelnou vodivost. Litiny jsou ze slévárenského hlediska výhodnější, neboť mají mnohem lepší zabíhavost a malou smrštitivost. Ocele na odlitky mají všeobecně větší tažnost, i když tvárná litina dosahuje také vysokých hodnot. Litiny mají díky grafitu i větší tlumící účinek.

Druhy ocelí na odlitky:

Nelegované konstrukční oceli: Nejčastěji vyráběné nelegované oceli na odlitky obsahují do 0,3 % C. U těchto ocelí se v mnoha případech požaduje dobrá svařitelnost. Tyto oceli se v případě možnosti nahrazují litinou s kuličkovým grafitem.

Nízkolegované konstrukční oceli: Především manganové oceli určené do podmínek s vyšší či nižší teplotou a větším namáháním.

Otěrzdorné oceli: Pro tento druh ocelí se oceli na odlitky používají často a to především z důvodu náročnosti dílce, který je možno vyrobít pouze odléváním. Z austenitické manganové oceli jsou vyráběny dílce namáhané vysokými tlaky. Složení těchto ocelí je přibližně: 1,2 až 1,5 % C a 12 až 15 % Mn. Austenitická struktura je dosažena ohřátím na teplotu 980 až 1100 °C a prudkým ochlazením ve vodě. Dostatečně rychlým ochlazením nevznikne na hranicích zrn karbid. Tyto oceli mají tvrdost okolo 200 HB, mez kluzu 400 MPa, mez pevnosti 800 až 900 MPa a tažnost 35 až 50 %.

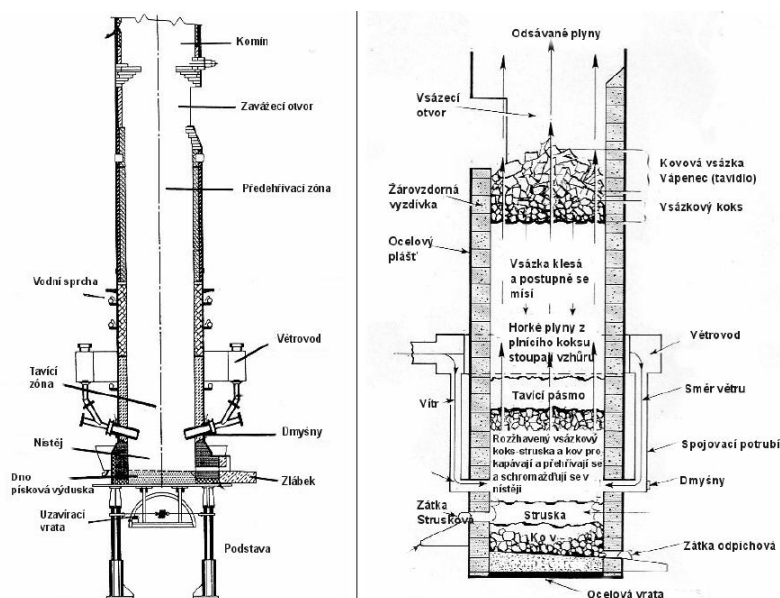
Chromové karbidické oceli jsou tvořené martenzitem, v němž je uložen karbid. Složení těchto ocelí je: 1,1 až 2,8 % C a 11 až 28 % Cr. Tyto oceli jsou používány

pro výrobu mlecích nástrojů a oběžných kol čerpadel. Tento křehký materiál bývá často zařazován i mezi legované litiny. Vlastnosti tohoto typu oceli je možné porovnávat s vlastnostmi bílých litin.[3]

1.2 Výroba litin

1.2.1 Tavicí zařízení

Pro výrobu litin byla vyvinuta a stále se vyvíjí spousta tavicích agregátů s různými energetickými zdroji a o různých rozměrech. Nejstarší a stále nejvíce používanou metodou výroby litin je tavení v kupolových pecích. V těchto pecích se vyrábí největší množství litin. Mezi další možnosti výroby litin patří elektrické indukční pece. Méně rozšířené jsou rotační bubnové pece a elektrické obloukové pece. Množství dalších metod tavení je zanedbatelné. „Kuplovna (obrázek 1) je šachtovitá pec pracující kontinuálně, protiproudým principem umožňujícím plynulou výrobu tekuté litiny pro výrobu odlitků o různých jakostních třídách“ [7]. Náklady na provoz pecí tohoto druhu jsou nízké a to hlavně z důvodu možnosti širokého sortimentu vsázkového materiálu, mezi který patří i železný odpadový materiál. Spotřeba paliva, v tomto případě koksu, je také relativně nízká. Dosahuje vysokých tavicích výkonů, přičemž může pracovat i v několikaměsíčních cyklech.



Obrázek 1: Řez kupolovou pecí [6].

Vsázka tvořena ze střídavých vrstev kovového materiálu, tavidla, paliva a případných přísad se zavází sázecím otvorem. Dmýchacími otvory je přetlakem do pece vháněn vzduch potřebný pro hoření paliva. Teplo vzniklé při hoření taví vsázku. Tavení probíhá v tavicím pásmu o určité vzdálenosti od dmýchacích trubíc. Pod tímto pásmem se nachází vrstva paliva zvaná plnicí koks. Výška vrstvy plnicího koksu je v průběhu tavby stejná jako výška tavicího pásma, protože je průběžně doplňována vsázkovým koksem. Roztavený kov společně se struskou z tavidla stékají dolů. Procházejí pásmem plnicího koksu, dmýchacích trubíc a nístějí až na dno pece. Zde se kov v určitých intervalech vypouští (odpichuje) [6].

1.3 Stabilní a metastabilní rovnováha v soustavách železa s uhlíkem

Přítomnost uhlíku ve všech slitinách železa významně ovlivňuje vnitřní strukturu a vlastnosti těchto slitin. Nad hranicemi rozpustnosti uhlíku v tuhých roztocích vytváří uhlík dva případy samostatné fáze.

Prvním případem je sloučenina železa s uhlíkem (karbid železa s uhlíkem Fe_3C - cementit). Cementit je samostatná intermediální fáze s obsahem uhlíku 6,7 %. Krystalizuje v rombické soustavě. Je velmi tvrdý, křehký a není polymorfní. Do teploty 217 °C má feromagnetické vlastnosti. Z hlediska termodynamického je metastabilní fází. Za vhodných podmínek se rozpadá na železo a grafit.

Druhým případem samostatné fáze je elementární uhlík - grafit. Uhlík krystalizuje v hexagonální soustavě, je velmi měkký a má malou pevnost. Z hlediska termodynamického je stabilní fází.[1]

Z důvodu existence dvou výše uvedených forem vyskytujících se nad hranicí rozpustnosti, které mají rozdílné vlastnosti, musíme rozeznávat dvě soustavy železa s uhlíkem:

- soustavu stabilní (železo-grafit)
- soustavu metastabilní (železo-cementit)

Stanovení stabilní či metastabilní rovnováhy je závislé na 3 vlivech:

1. Obsahu uhlíku: Zvyšující se obsah uhlíku ve slitině podporuje vylučování grafitu, který vytváří stabilní rovnováhu. Vliv obsahu uhlíku na vylučování grafitu se ale projevuje až ve větším množství (přibližně 2%). Při menším množství uhlíku vždy nastane metastabilní rovnováha a při vyšším obsahu mohou nastat oba případy rovnováhy.

2. Rychlosti ochlazování: Stabilní rovnováha při vysokých obsazích uhlíku nastává při malé rychlosti ochlazování. Naopak metastabilní rovnováha nastává při velké rychlosti ochlazování.

3. Obsahu dalších prvků: Některé prvky mají vlastnosti podporující vylučování grafitu (stabilní rovnováha), jsou to tzv. grafitotvorné prvky. Mezi ně například patří křemík, fosfor, hořčík, cín. Křemík je v litinách důležitou přísadou, jehož obsah se v jednotlivých druzích litin mění v širokém rozmezí. Podporuje snížení rovnovážné teploty a tak nedochází k tuhnutí podle metastabilní soustavy. Zvyšováním obsahu křemíku dochází i ke zvyšování počtu zárodků, důležitých pro krystalizaci grafitového eutektika. Dosáhne se zmenšení eutektických buněk a zjemnění grafitických částic. Tomuto postupu se říká očkování. Existují i prvky podporující tvorbu cementitu (metastabilní rovnováha). Jsou to například mangan, síra, chrom, molybden aj.[1],[3]

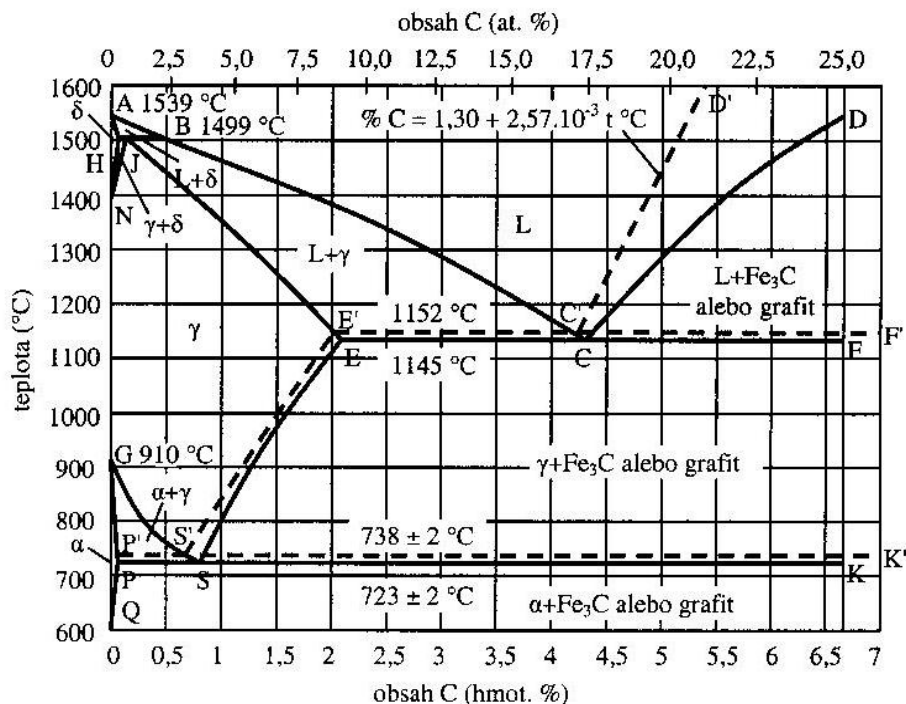
Pro základní rozdělení litin podle struktury na bílé a grafitické je rozhodující eutektická krystalizace.

U bílých litin s obsahem do 1 % křemíku a nízkým obsahem dalších přísad probíhá eutektická krystalizace podle metastabilní rovnováhy, protože vliv křemíku na fázové složení je nepodstatný. Všechny další fázové přeměny probíhají i nadále podle metastabilní soustavy. Struktura bílé litiny je tvořena perlitem a cementitem, a proto má litina bílý lom.

Eutektická krystalizace probíhající z části podle stabilní a z části podle metastabilní rovnováhy má za následek vznik přechodové litiny obsahující ve struktuře grafit i ledeburit.

U grafitických litin probíhá eutektická krystalizace podle stabilní rovnováhy. Produktem je grafit, který ve struktuře zůstává jako charakteristická složka. Grafit zde zůstává za každých podmínek, což znamená, že nezáleží na tom, jestli následující fázové přeměny probíhají podle stabilní či metastabilní soustavy.

Na rovnovážném diagramu (obrázek 2) jsou znázorněné obě soustavy. Průběh metastabilní soustavy je znázorněn plnou čarou a průběh stabilní soustavy přerušovanou čarou. Protože litiny obsahují velké množství křemíku, je nutné sledovat průběh tuhnutí i na ternárním diagramu o určitém obsahu křemíku.[1]



Obrázek 2: Rovnovážný diagram Fe-C [1]

1.4 Tvorba tvaru grafitu

Růst grafitu je možný buď spirálově anebo pyramidálně. Grafitový útvar se může i rozvětvovat. Na konečný tvar grafitu má rozhodující vliv poměr rychlosti růstu grafitového útvaru v daných směrech.

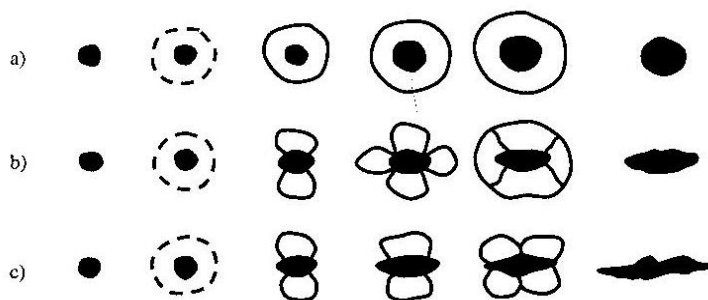
Lupínkový grafit se vyznačuje rychlejším růstem ve směru $\langle 1120 \rangle$ (značení směru podle Müllera). Dochází tak ke vzniku plošných útvarů (lupínků grafitu) větvičích se dále radiálním směrem. Takto vytvořený útvar grafitu a austenitu se nazývá eutektická buňka. Krystalizace grafitového eutektika začíná na cizích zárodcích plovoucích v tavenině. Tím dojde k ochuzení okolí o uhlík a začíná krystalizace druhé části eutektika, což je austenit. Grafit tvoří u tohoto druhu litiny souvislou fázi, kterou není možné pozorovat na plošném výbrusu. Zvýšením účinku očkovačel se mění velikost a uspořádání lupínků grafitu, který pak může mít růžicovitý tvar.

U litin s kuličkovým grafitem se uplatňuje jiný způsob tvorby tvaru grafitu. Tvar grafitu je modifikován hořčíkem nebo cérem. Tato modifikace má významný vliv na zvýšení povrchového napětí mezi grafitem a taveninou. V tavenině se vytvoří zárodky grafitu, z kterých vznikají kuličky grafitu. Ty vyrůstají těsně vedle sebe všemi směry a tvoří tak kompaktní kulovitý tvar krystalů grafitu. Každá kulička grafitu je obklopena

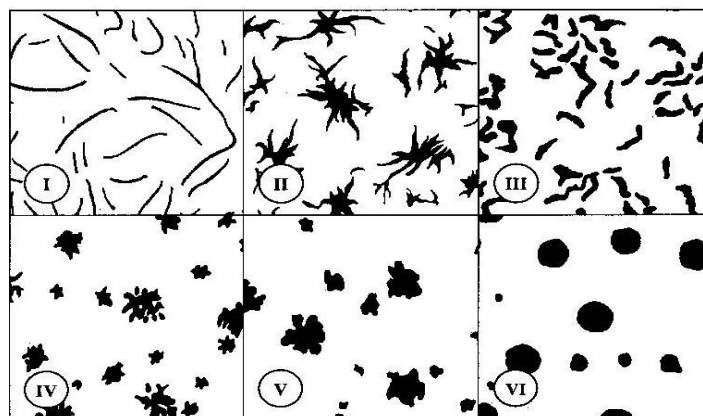
austenitickou obálkou a každá tak tvoří izolovanou fázi. Růst kuliček grafitu je možný pouze difuzí uhlíku přes austenitickou obálku.[1]

Metastabilní eutektikum - ledeburit, krystalizuje při největším ochlazení. Řídícím členem přeměny této směsi je částice cementitu, dostávající při růstu deskovitý tvar. Při růstu cementitu se tavenina ochudí o uhlík a dochází ke krystalizaci austenitu. Po vzniku částice austenitu opět dojde k přesycení taveniny uhlíkem a začne vznikat částice cementitu. Opakováním těchto dějů vzniká ledeburitická kolonie. [3]

Na obrázku 3 jsou uvedeny možné tvary grafitu vzniklé podle charakteru austenitické obálky. Je zde naznačen vznik zrnitého (a), červíkovitého (b) a lupínkovitého grafitu (c). Tvar zárodku grafitu je ve všech případech kuličkovitý. Ve fázi vzniku austenitické obálky je u každého typu jiný mechanismus růstu tvaru grafitu.[1]



Obrázek 3: Schéma růstu různých tvarů grafitu [1].



Obrázek 4: Etalon základních tvarů grafitu podle normy[1]

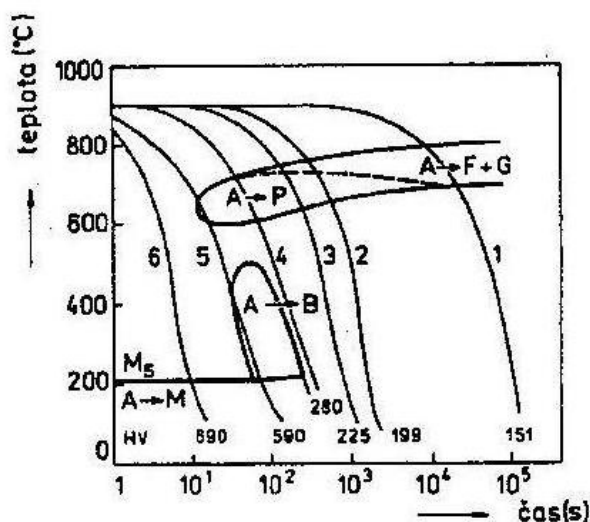
Názvy tvaru grafitu jsou odvozené od vzhledu grafitových částic pozorovatelných na metalografickém výbruse. Normy ČSN 42 0461 nebo ČSN EN 1560 předepisují hodnocení tvaru, rozložení a velikosti grafitu podle šesti základních etalonů uvedených na obrázku 4.

Grafit se v litinách může vyskytovat v mnoha podobách, proto je téměř nemožné obsáhnout všechny tvary alternativ grafitu v etalonech. Zvýšení počtu etalonu by snížilo přehlednost a zvýšilo nebezpečí různého výkladu. [1]

1.5 Fázové přeměny litin v tuhém stavu

V soustavě Fe-C-Si je při dalším ochlazování ztuhlé litiny možná stabilní nebo metastabilní rovnováha. To znamená, eutektoidní rozpad austenitu na ferit a grafit nebo perlit. Ve výsledné struktuře matrice (základní kovové hmotě) po překrytosti podle stabilní přeměny nalezneme pouze ferit, neboť grafit difunduje k částicím eutektického grafitu.

Přeměny probíhající v tuhém stavu v závislosti na rychlosti ochlazování můžeme sledovat v ARA diagramech. Příklad ARA diagramu pro nelegovanou litinu s kuličkovým grafitem je uveden na obrázku 5.



Obrázek 5: Příklad ARA diagramu [3]

Z ARA diagramu je vidět, že při pomalém ochlazování dochází k úplné přeměně austenitu na ferit a grafit (křivka 1). Se vzrůstající rychlostí ochlazování a přechlazením austenitu vznikají oba druhy eutektoidní přeměny s feriticko-perlitickou matricí (křivky 2 a 3). Při dosažení určité rychlosti ochlazování proběhne pouze metastabilní přeměna austenitu na perlit (křivka 4). Při rychlosti ochlazování podle křivky 5 vznikne strukturní směs perlitu, bainitu, martenzitu a zbytkového austenitu. Při velmi vysokém ochlazování podle křivky 6 vzniká martenzitická struktura.

I fázové přeměny litin v tuhém stavu jsou ovlivňovány chemickým složením a austenizačními podmínkami. Velký význam na průběh eutektoidní přeměny na rozdíl

od ocelí mají přísady. Má-li litina velký sklon ke grafitizaci nebo je chladnutí odlitku velmi pomalé, vzniká z austenitu ferit. Litiny chladnoucí podle metastabilní soustavy tvoří perlitická, případně perliticko-feritická struktura. [3]

1.6 Označování litin

V Evropské unii je zaveden jednotný systém značení litin. Používá se národní norma ČSN EN 1560. Je možno použít dva způsoby značení:

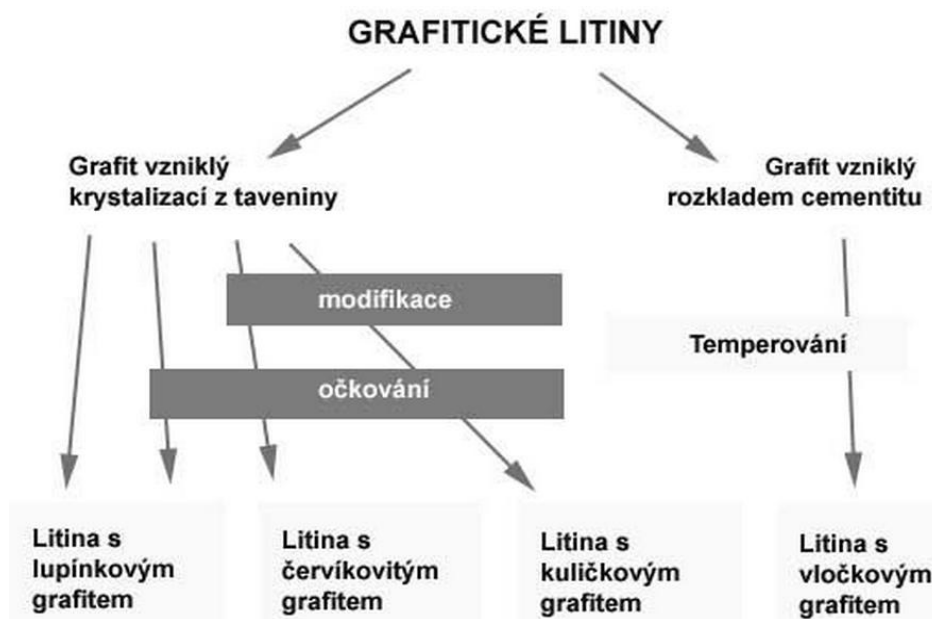
1. označení podle mechanických vlastností nebo chemického složení
2. číselné značení

Označování podle mechanických vlastností je používáno především u nelegovaných litin. Označení obsahuje 5 až 6 znaků, které zahrnují tvar grafitu a pevnost v tahu R_m . Základní označení může být doplněno například o způsob výroby zkušební vzorku. Příklad značení: EN-GJS-400-15U. U litin je možné označení podle hodnoty tvrdosti (příklad: EN -GJL-HB235).

Legované litiny jsou s výhodou označovány podle chemického složení, při kterém číselná část označování začíná znakem X, následuje obsah uhlíku v 0,01 % a chemické značky přísadových prvků. Např. EN-GJL-XNiMn 12-3.

Číselné označení litin se skládá ze 4 písmen a 4 číslic. Za kombinací písmen EN se uvádí tvar grafitu. Číselná část (3. a 4. číslice) zpřesňuje označení materiálu. Předepsaná hodnota vlastnosti patřící k tomuto označení je uvedena v příslušné normě. Například EN-JL1010.[1]

2 Základní typy litin



Obrázek 6: Zkladní druhy grafitických litin [10]

2.1 Bílé litiny

2.1.1 Strukturní charakteristika

Bílé litiny krystalizují, jak už bylo dříve zmíněno podle metastabilní soustavy. První fází krystalizace podeutektické bílé litiny je austenit a u nadeutektické bílé litiny primární cementit. Při eutektické teplotě 1147 °C nastává eutektická reakce, jejímž produktem je austenit a eutektický cementit. Při eutektoidní reakci 727 °C vzniká z austenitu perlit. Výsledná struktura podeutektických bílých litin je tvořena perlitem a ledeburitem a u nadeutektických bílých litin je tato struktura tvořena ledeburitem a primárním cementitem. Ledeburit je eutektická směs tvořící tyčinkovité kolonie. Velký vliv na toto uspořádání má chemické složení a rychlost ochlazení. Charakteristické vyloučení primárního cementitu je ve formě hrubě uspořádaných deskovitých útvarů.[4]

2.1.2 Mechanické a technologické vlastnosti

Mezi vlastnosti vyplývající ze struktury složení patří velká tvrdost, křehkost, odolnost proti opotřebení a horší obrobitelnost.

2.1.3 Použití

Použití bílých litin je velmi omezené. Využívají se především na jednoduché odlitky mlecích a drtících kotoučů. Z bílých litin s vhodným složením se dále vyrábí temperované litiny.[1]

2.2 Litina s lupínkovým grafitem - šedá litina

2.2.1 Strukturní charakteristika

„Běžné složení šedé litiny je: 2,5-3,5 % C, do 3,5 % Si, 0,4-0,8 % Mn, 0,2-1,2 % P a 0,08- 0,12 % S“[1]. Norma ČSN 42 1241 určuje obsah prvků v normalizovaných druzích šedých litin s lupínkovým grafitem.

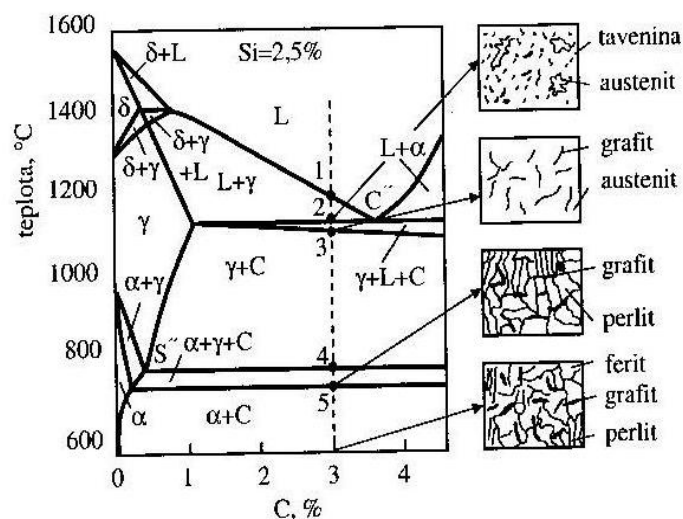
Mikrostrukturu a vlastnosti šedé litiny ovlivňuje mnoho činitelů, mezi které patří:

1. chemické složení
2. zpracování roztavené litiny
3. rychlost tuhnutí a rychlost ochlazování pevné fáze

Chemické složení šedé litiny s lupínkovým grafitem patří mezi nejdůležitější činitele, které mají vliv na strukturu, strukturální změny grafitu a základní kovové matrice. Každý prvek má vliv na strukturu tuhnoucí fáze. Základní prvky vyskytující se v šedé litině mohou být klasifikovány [7]:

1. primární prvky – C, Si, Mn, P a S;
2. legující prvky – Cu, Ni a Mo;
3. prvky zbytkové a pro určité účely, se speciálním záměrem –As,Bi,Pb;
4. perlito - a karbidotvorné prvky – As, B, Cr, Sn a V;
5. plyny – H, N a O;

Krystalizace šedé litiny probíhá podle stabilní soustavy jen za určitých podmínek. Z tohoto důvodu je pro zkoumání krystalizace vhodnější použít řez ternární soustavou Fe-C-Si zobrazený na obrázku 7.[6]



Obrázek 7: Řez ternární soustavou [1]

Na obrázku 7 je znázorněn řez ternární soustavou Fe-C-Si s obsahem 2,5 % Si a schémata průběhu změn struktury podeutektické šedé litiny.

„Výsledná struktura kovové matrice litiny je během ochlazování a při průchodu kritickou teplotní oblastí ovlivněna způsobem transformace austenitu“ [7].

Podeutektická šedá litina s typickým chemickým složením se vyznačuje tím, že první fází krystalizace je austenit. Při této fázi vylučování austenitu probíhá i výměna tepla mezi fázemi a okolím. Vznikají i takové podmínky, při kterých nenastane difúzní vyrovnávání chemického složení fází. Krystalizace austenitu je dendritická. Rozvětvení dendritů je závislé na stupni podchlazení.

U nadeutektických šedých litin je první fází krystalizace primární grafit. Jeho tvar je hrubý a málo rozvětvený. Eutektickou reakcí u šedých litin nevzniká typická eutektická směs. Typická směs v podeutektických litinách má rovnoměrné rozložení grafitu v kovové matici. Při eutektické reakci šedých litin vzniká dvoufázová směs rostoucí současným tvořením dvou fází. Grafit je v kontaktu s kapalnou fází (vlivem růstu austenitu) a to jenom vystupujícími okraji větví. Eutektická buňka je tvořena deskovitě rozvětveným grafitovým skeletem obaleným austenitem. Rychlost ochlazování má velmi velký vliv na rozvětvení skeletu. Čím větší je rychlost ochlazování, tím je větší i rozvětvení. „Litiny eutektického složení nemají eutektickou reakci omezenou jinou fází, proto mají eutektické buňky přibližně kulovitý tvar s radiálně orientovanými lupínky grafitu vnitřní buňky“ [4]. Eutektická reakce podeutektických litin je ovlivněna již vyloučenými dendrity primárního austenitu. Množství a tvar rozvětvení dendritů (primární krystalizace) má vliv na rozložení grafitu. Určuje totiž prostor, kde může probíhat krystalizace eutektika, při které právě

vznikají částičky grafitu. Vzájemná provázanost dendritů austenitu a eutektických buněk podstatně ovlivňuje vlastnosti šedých litin. Podíl taveniny vzniklé přímou krystalizací anebo eutekticky je závislý na chemickém složení taveniny.

Při ochlazování pod eutektickou teplotu dochází k segregaci uhlíku z austenitu ve formě sekundárního cementitu, který okamžitě grafitizuje. Tento proces se označuje jako nepřímá grafitizace.

Při eutektoidní transformaci dochází nejčastěji k přeměně austenitu na perlit podle metastabilní soustavy. V závislosti na rychlosti ochlazování a chemickém složení může při ochlazování z eutektoidní teploty docházet k částečné grafitizaci perlitického cementitu. Jestliže tato grafitizace neproběhne, zůstane struktura matrice perlitická. Pokud tato grafitizace proběhne, bude struktura matrice feriticko-perlitická. Grafitizace perlitického cementitu může probíhat i nepřímou grafitizací. Ostatní struktury jako jsou například martenzitická či austenitická lze docílit tepelným zpracováním.[1]

Vlivem nepřímé grafitizace nastává hrubnutí grafitu bez ovlivnění tvaru a rozložení. Pro dosažení vysokých hodnot mechanických vlastností je zapotřebí tepelné zpracování nebo legování. Legování umožní přeměnu feritu a perlitu na další strukturní složky jako jsou např. martenzit nebo bainit.[6] „Rozhodujícím činitelem, který má vliv na mechanické vlastnosti je grafit. Především jeho tvar, množství, uskupení a rovnoměrnost. Struktura základní kovové hmoty má vliv sekundární“ [7]. Grafit je významná strukturní složka ovlivňující vlastnosti šedých litin. Ostré konce lupínkovitého grafitu působí v litině jako koncentrátoři napětí, které může dosáhnout až dvacetinásobku jmenovitého zatížení. Z tohoto důvodu jsou šedé litiny křehké s téměř žádnou tažností. Pevnost v tlaku může být až šestinásobně větší a pevnost v ohybu až dvakrát vyšší než pevnost v tahu. Lupínkový grafit se pozitivně projevuje zvýšením schopnosti útlumu a snížením citlivosti na účinek vrubů. Lupínkový grafit tvořící kvazispojitý, rozvětvený útvar má pozitivní vliv na slévárenské vlastnosti, především na zabíravost a smršťování. Tyto vlastnosti mají šedé litiny nejlepší z grafitických litin.

Výroba šedých litin je v porovnání s ostatními druhy litin jednodušší a z hlediska surovin a technologických postupů méně náročná. Tyto vlastnosti se projevují v nižší ceně odlitků. Grafitické litiny mají všeobecně lepší tepelnou vodivost než ocele. Tuto vodivost způsobuje grafit. Šedá litina má vhodně rozvětvený grafitový skelet, a proto má ze všech druhů grafitických litin nejlepší tepelnou vodivost. Důležitou charakteristikou struktury grafitu je jeho velikost. Očkování umožňuje zjemnění velikosti grafitu. Z těchto důvodů je možné očkováním zvýšit pevnost litiny.

Strukturní složky matice především ferit a perlit mají v litinách všeobecně stejné vlastnosti jako v jiných slitinách železa. Obsah feritu snižuje tvrdost a pevnost ale zároveň zvyšuje plasticitu. Perlit naopak zvyšuje pevnost a tvrdost. V šedé litině je ovšem vliv těchto strukturních složek ovlivněn vrubovým účinkem lupínkového grafitu. Z tohoto důvodu je u šedé litiny vliv feritu na plastičnost téměř zanedbatelný. Ve všech grafitických litinách se vyskytuje namísto feritu pouze silikoferit (ferit zpevněný křemíkem). Při pohledu na strukturní stavbu jako kompozit je důležité i to, kde se ferit nachází. Při uložení v eutektiku může být vhodný z důvodu relaxace napětí, ale při uložení v dendritech oslabuje jejich armovací schopnost a tím snižuje pevnost litiny. Místo uložení feritu má vliv i na obrobitelnost šedé litiny. Při srovnání stejně tvrdé šedé litiny s feritem v dendritech s šedou litinou s feritem v eutektiku má šedá litina s feritem uloženým v dendritech 10 až 20 % horší obrobitelnost. Perlit má v litinách analogické vlastnosti jako u ocelí pouze je hrubší. Volný cementit je nežádoucí složka zvyšující tvrdost, ale i křehkost litiny. Nekovové strukturní složky jsou charakteristickou složkou šedé litiny. Představují až 6 % objemu (fosfornaté litiny ještě více). Část tvoří vměstky, které jsou nežádoucí. Mají vliv na celistvost matrice podobně jako grafit. Šedé litiny s velmi malým obsahem nečistot mají relativně vysokou houževnatost při zvýšené pevnosti v tahu. Fosforové eutektikum je tvrdá a křehká fáze vylučující se na hranicích eutektických buněk s negativním vlivem na strukturu matrice. [1]

2.2.2 Mechanické a technologické vlastnosti

V nelegované šedé litině není normalizovaný obsah jednotlivých prvků. Chemické složení se volí tak, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností.

Vlastnosti šedých litin závisí na množství, druhu grafitu a složení základní matrice. Grafit má měrnou hmotnost asi 2500 kg/m^3 , a proto snižuje měrnou hmotnost litiny a zároveň i celkovou hmotnost odlitku. Grafit dále zlepšuje kluzné vlastnosti a má tlumící schopnost. Pevnost v tahu R_m u normalizovaných litin s lupínkovým grafitem se pohybuje v rozmezí 100 až 350 MPa.

Litina s lupínkovým grafitem je materiál velmi citlivý na rychlost chladnutí. Pro hodnocení kvality litiny s lupínkovým grafitem se používá mnoho dalších kritérií, které mohou ovlivnit mechanické i fyzikální vlastnosti.

Modul pružnosti E litin je závislý na struktuře materiálu. Čím vyšší je pevnost litiny, tím větší je i modul pružnosti. Modul pružnosti u nelegovaných litin s lupínkovým grafitem se pohybuje v rozmezí $(0,8 - 1,4) \cdot 10^5 \text{ MPa}$.

Tažnost litiny s lupínkovým grafitem je pod 1 %. Tato hodnota je téměř zanedbatelná a při zkouškách se téměř nezjišťuje.

Pevnost v tlaku R_D je asi čtyřnásobně vyšší oproti pevnosti v tahu. Pohybuje se v rozmezí 600 – 1100 MPa. „Čím nižší je pevnost v tahu, tím vyšší je poměr pevnosti v tlaku / pevnost v tahu“ [4]. Z tohoto důvodu je důležité, aby kritické průřezy odlitku byly namáhány tlakem.

Významnou vlastností grafitických litin, především litin s lupínkovým grafitem je malá vrubová citlivost. Lupínky grafitu uvnitř materiálu vytvářejí mnoho vrubů, které zmenšují vliv vnějších vrubů na povrchu odlitku. Při opakovaném namáhání například při vibracích, vznikají v oblasti lupínků třecí síly měnící se v teplo. Tření snižuje napětové špičky a z tohoto důvodu mají litiny vysokou hodnotu meze únavy. Čím nižší je pevnost, tím je zároveň nižší i vrubová citlivost.[1]

2.2.3 Použití šedých litin

Pro své příznivé slévárenské vlastnosti dané dobrou zabíhavostí, přijatelným smrštěním, poměrně nižší teplotou tavení a relativně nízkou cenou je šedá litina s lupínkovým grafitem nejpoužívanější kovový materiál na výrobu odlitků. [6]

Litiny s lupínkovým grafitem se rozdělují do tří skupin:

V první skupině jsou litiny označované jako litiny na běžné použití EN GJL – 100 a EN GJL – 150. Použití těchto litin je vhodné na odlitky tenkostěnné s tloušťkou stěny 4 až 30 mm. Používají se na odlitky, které nemusí splňovat mechanické vlastnosti. Z tohoto druhu litin se vyrábějí např.: součástky hospodářských strojů, mříže, části kotlů a tělesa ložisek.

Druhou skupinu tvoří litiny značky EN GJL – 200 a EN GJL – 250. Tyto litiny jsou běžně očkované 75 % ferosiliciím. Z těchto litin se odlévají součástky, které musí splňovat záruku mechanických vlastností. Tento druh litin se nejčastěji používá v automobilovém a strojírenském průmyslu. Jsou vhodné např. na převodové skříně, stojany lisů, soustruhy, frézky, motorové vložky, ozubená kola, motorové bloky, hlavy válců, písty, kompresorové válce a řemenice.

Třetí skupina je tvořena litinami s nejvyšší pevností. Jsou to značky EN GJL 300 a EN GJL 350. Jsou označovány jako jakostní litiny. Používají se na stojany těžkých lisů a obráběcích strojů, písty těžkých kompresorů, velká ozubená kola a pastorky.[1]

2.3 Litina s kuličkovým grafitem - tvárná litina

2.3.1 Strukturní charakteristika

Tvárné litiny s kuličkovým grafitem obsahují ve struktuře vyloučený kuličkový grafit. Podrobným zkoumáním grafitu se zjistilo, že grafit je složitý polykrystal. Ve složení kuličkovitého grafitu převládají paprskovitě uspořádané pyramidální krystaly uspořádané v kuželovitých spirálách. Předpokládá se, že na krystalizaci zrnitého grafitu mají vliv přídavné látky do tekutého kovu, které po dobu krystalizace zvyšují povrchové napětí, a tak vyvolávají krystalizaci grafitu ve tvaru s nejmenším povrchem. Na tvorbu grafitu jsou zapotřebí mimo železa a uhlíku i křemík a kyslík. Na tvorbu kuličkového grafitu jsou navíc zapotřebí přídavné látky, které dovedou snížit obsah kyslíku a podpořit růst grafitu. „Kuličkového tvaru grafitu se dosahuje přidáním takové látky do tekutého kovu před odlitím, která ovlivní růst zárodku grafitu“ [1]. Tento proces se nazývá modifikování. Přídavnou látkou bývá hořčík a jeho slitiny. Po modifikování musí následovat grafitizační očkování z důvodu zvýšení stability karbidu vlivem hořčíku. Schopnost vyvolat stejný účinek mají i další prvky používané především na minimalizaci prudkosti reakce nebo optimalizaci metalurgických podmínek. Náklady na modifikaci jsou závislé na obsahu síry ve zpracovávaném kovu. Většina moderních modifikátorů obsahuje sferoidizačně působící prvky, ze kterých je nejběžnější cér (Ce). Účinnost céru je především u nadeutektické tvárné litiny a u tenkostěnných odlitků z podeutektické tvárné litiny. Při nesprávném dávkování může způsobovat tvorbu "Chunky" grafitu. Mnoho slitin obsahuje i Al a Ca, které jsou příčinou vzniku pórů. [1]

„Litina s kuličkovým grafitem obvykle obsahuje 3,2 až 4,2 % C; 1,5 až 4 % Si; 0,4 až 0,8% Mn; pod 0,1 % P; pod 0,02 % S“ [1]. Struktura matrice je ovlivněna mnoha faktory, z nichž nejdůležitější jsou:

1. chemické složení tekutého kovu
2. rychlost ochlazování
3. modifikování a očkování

Výsledná struktura může být pelitická, tvořená směsí feritu a perlitu nebo feritická. Očkování a modifikování má primární vliv na krystalizaci grafitu, ale i sekundární vliv na chemické složení matrice. Strukturu matrice odlitku lze dále upravovat tepelným zpracováním. Nežádoucí složkou matrice jsou karbidické fáze. Ty nepříznivým způsobem ovlivňují mechanické vlastnosti litiny. Východiskem při výrobě litiny s kuličkovým grafitem je šedá litina, která je modifikována hořčíkem pro zabezpečení grafitizační

schopnosti litiny. Pro slnění požadavků vysoké grafitizační schopnosti se využívá vyššího obsahu uhlíku a křemíku. [1]

Štruktúra	% C*	% Si*	% Mn	% P	% S	% Mg
Ferit v liatom stave alebo feritizačné žihanie	< 4,00	< 2,5	< 0,2	< 0,05	< 0,01	0,03 až 0,06
Ferit/perlit v liatom stave alebo po žihaní	< 4,00	1,7 až 2,8	< 0,3	< 0,1	< 0,01	0,03 až 0,06
Perlit v liatom stave alebo po normalizačnom žihaní	< 4,00	1,7 až 2,8	0,5 až 0,25	< 0,1	< 0,01	0,03 až 0,06

Tabulka 1: Doporučené složení litiny s kuličkovým grafitem [1]

V tabulce jsou uvedeny potřebné hodnoty chemického složení nelegovaných litin s kuličkovým grafitem s požadavkem na výslednou strukturu.

Množství vyloučeného grafitu se určuje na metalografickém výbruse a udává se v počtu grafitových kuliček na mm², případně cm². Ve struktuře se mohou vyskytnout tyto odchylky od kuličkového grafitu:

1. červíkovitý (vermikulární) grafit
2. rozpadnutý, explodovaný grafit
3. lupínkový mezibuňčkový grafit
4. chunky grafit

Červíkovitý grafit vzniká v tvárné litině při nedokonalé modifikaci. Rozpadnutý, explodovaný grafit se může vyskytovat u nadeutektických litin anebo u pomalu ochlazovaných průřezů, kde dochází vlivem flotace k jejich roztříštění. Tento problém se napraví správnou volbou množství C, Si, Ce. Lupínkový, mezibuňčkový grafit se především vyskytuje u velkých odlitků. Vlivem prvků, které podporují vylučování lupínkového grafitu, dochází k segregaci do objemů, které tuhnou nejdéle. V těchto nejdéle tuhoucích objemech se zvýší koncentrace tak, že začne docházet k tvorbě lupínkového grafitu na hranicích eutektických buněk. Pro tvorbu lupínkového grafitu na hranicích buněk je potřebný dostatečný čas. Vliv prvků, které podporují tvorbu lupínkového, mezibuňčkového grafitu, mezi ně patří Bi, Pb, Sb, As a další, je možné eliminovat prvky podporující tvorbu chunky grafitu. Mezi tyto prvky patří Ce, Ca, Si, Ni. Vady způsobené prvkem z jedné skupiny je možné napravit cíleným přidáním prvku z druhé skupiny. Chunky grafit je tvořen uvnitř buňky, i když se na hranicích buněk tvoří kuličkový grafit.

Křemík a uhlík patří mezi jediné prvky podporující bezkarbidickou strukturu. Množství uhlíku je omezeno rozpustností uhlíku v tekutém stavu. Se zvyšujícím obsahem křemíku se zvětšuje křehkost a snižuje tepelná vodivost. Nižší tepelná vodivost a zvýšená přechodová teplota patří mezi negativní vlastnosti způsobené křemíkem. Křemík podporuje lepší rozložení grafitu ve struktuře litiny a je nejsilnějším prvkem ovlivňujícím pevnost a tažnost. Tvrdost je zvyšována zpevňováním feritu křemíkem. Doporučené hodnoty chemického složení jsou uvedeny v tabulce 1. Překročení těchto hodnot vede k flotaci především u hrubších průřezů. Další prvky zvyšující přechodovou teplotu v litinách s kuličkovým grafitem jsou především nikl, mangan a fosfor. Zvýšení objemu niklu o 0,1 % vede ke zvýšení přechodové teploty o 2,2 °C, zvýšení objemu manganu o 0,1 % vede ke zvýšení přechodové teploty o 5,5 °C a zvýšení objemu fosforu o 0,1 % vede ke zvýšení přechodové teploty až o 28 °C. Obsah těchto prvků musí být řízený, aby se předešlo výskytu karbidů v odlitcích. Mangan patří mezi prvky, které jsou středně silnými aktivátory karbidů. Jeho obsah je omezen hranicí, která je především závislá na obsahu křemíku a tloušťky průřezu odlitku. V tenkých odlitcích je vliv manganu na tvorbu karbidu neutralizován zvýšeným obsahem křemíku. Tato neutralizace je tím víc účinnější, čím je odlitek tenčí. U středních a silnostěnných odlitků nepomáhá neutralizaci zvýšený obsah křemíku, neboť mangan má tendenci k opačné segregaci než křemík. Dalším prvkem, který má vliv na vlastnosti litin s kuličkovým grafitem je fosfor. Fosfor se vyskytuje téměř ve všech vsázkových surovinách a přísadách používaných při výrobě litin. Fosfor společně se železem vytváří fosfid železa, což je velmi tvrdá a křehká složka. Fosfid železa tuhne na hranicích buněk jako poslední. U tenkých průřezů může být obsah fosforu železa na hranicích buněk až desetinásobný oproti průměrnému obsahu. Při zvýšení obsahu P z 0,03 na 0,06 % se tažnost litiny s kuličkovým grafitem sníží až o polovinu. Sníží se i pevnost a houževnatost. Zvýší se tendence k popouštěcí křehkosti a pórovitost. Vliv fosforu může být redukován dalším tepelným zpracováním. Například vliv fosforu na pevnost a tažnost je možné redukovat žiháním. Tento postup je ovšem nákladný. Většina norem dovoluje maximální obsah fosforu 0,05 %. Doporučuje se ovšem co nejmenší obsah fosforu, čehož je možné dosáhnout kvalitnějším vsázkovým materiálem s menším obsahem fosforu, protože v průběhu výrobního procesu se jeho obsah sníží pouze minimálně. Mezi další aktivátory a stabilizátory karbidů patří chrom, vanad, bor, telur a molybden. Pro větší podíl perlitu ve struktuře se používají perlitizačně působící prvky. Mezi perlitizačně působící prvky se řadí: Sn, Mo, P, Cu, Ti, Mn, Ni, Cr. Z těchto prvků mají negativní vliv P, Ti, Mn, Cr. Z ekonomického hlediska nákladné prvky pro tvorbu perlitu jsou: Cu, Sn. Cín má

desetinásobně větší účinnost než měď. Cín má ovšem i jiné účinky, mezi ně např. patří tvorba mezibuněčného lupínkového grafitu. Z toho důvodu je jeho obsah omezen na 0,05 %. Oproti tomu měď může být přidávána až do 2 % objemu. Tuto hranici je možné ještě posunout nahoru a to díky legování niklem, což je ovšem nákladné.

Chemické složení nelegovaných litin s kuličkovým grafitem se volí podle požadavku na dané mechanické i fyzikální vlastnosti. Chemické složení může být u tohoto druhu litin eutektické až nadeutektické. Volba chemického složení závisí především na tloušťce stěny odlitků.[1]

2.3.2 Mechanické a technologické vlastnosti

Vlastnosti odlitků jsou především závislé na grafitu a na složení základní kovové matrice. U grafitu se sleduje množství a velikost, které jsou závislé na obsahu uhlíku, křemíku, manganu a na rychlosti ochlazování. Rychlost ochlazování je ovlivněna tloušťkou stěn odlitku a materiálu formy, do které je odlitek odléván. Mechanické vlastnosti jsou především závislé na struktuře základní kovové matrice.

U nelegovaných litin jakosti GJS 350-900 je uváděna pevnost v tahu od 350 do 900 MPa. Pevnost v tlaku je u litin s kuličkovým grafitem až dvaapůlkrát větší než pevnost v tahu. Hodnoty pevnosti v tlaku se pohybují v rozmezí 700 až 1150 MPa. Poměr pevnosti tlak/tah je menší než u litin s lupínkovým grafitem a to v rozmezí 1,5 až 2,5.

Modul pružnosti je u litin s kuličkovým grafitem vyšší než u litin s lupínkovým grafitem (1,69 – 1,85 GN/M²). Čím vyšší je pevnost litiny, tím vyšší je i modul pružnosti.

Tažnost litiny s kuličkovým grafitem je podobná jako u ocelí a závisí především na složení kovové matrice. Např. u feritické litiny s kuličkovým grafitem a pevností v tahu 350 MPa je tažnost 22 %.

Nárazová práce u litin s kuličkovým grafitem je závislá na kovové matici a jejím složení. Feritická litina má mnohem vyšší nárazovou práci než litina perlitická. Důležitou hodnotou pro konstruktéry je tranzitní teplota. Při této teplotě dochází ke změně houževnatého lomu na křehký. Křemík zvyšuje hodnotu tranzitní teploty. Proto součástky silničních vozidel vyrobené z litiny s kuličkovým grafitem, pracující při nízkých teplotách, by měli mít co nejmenší obsah křemíku.

Legované litiny s kuličkovým grafitem se používají v případech, kde je zapotřebí dosáhnout požadovaných vlastností v litém stavu nebo po tepelném zpracování. Karbidotvorné prvky jsou využívány především u otěruvzdorných litin. V ostatních druzích litin s kuličkovým grafitem se usiluje o co nejmenší množství karbidotvorných prvků

způsobujících snížení tažnosti a houževnatosti. Feritická litina s kuličkovým grafitem se téměř neleguje. Pouze v případě náhrady křemíku niklem, kdy se dosáhne větší meze kluzu a zároveň zůstane zachována houževnatost. Je-li zapotřebí dosáhnout vyšší pevnosti litiny, musí být struktura matrice čistě perlitická, sorbitická nebo bainitická. Pro dosažení čistě perlitické struktury se leguje především mědí, méně často cínem. Měď má výhodu v tom, že nemá negativní účinky na mechanické vlastnosti. Odlitky s větší tloušťkou je možné legovat kombinací mědi nebo niklu s molybdenem v určitém množství. Pro dosažení vysokých hodnot pevnosti a mechanických vlastností se využívá litin s kuličkovým grafitem se sorbitickou nebo bainitickou strukturou. Těchto struktur matrice se dosahuje řízeným ochlazováním odlitku nebo tepelným zpracováním.

Podle druhu litin s kuličkovým grafitem je možné použití při teplotách od -60 do 400 °C. Má-li být odlitek vystaven zvýšeným teplotám, je rozhodující, jestli se bude jednat o krátkodobé či dlouhodobé působení. Při působení vyšších teplot může docházet ke změnám mechanických vlastností. Působením teplot odpovídajících svou velikostí fázovým transformacím může docházet ke změně struktury základní kovové matrice. Litiny s kuličkovým grafitem mají sklon k feritizaci při vyšších teplotách. Z tohoto důvodu je možné použít perlitické litiny při vyšších teplotách pouze krátkou dobu. Při dlouhodobém působení teploty nad 400 °C začne docházet k rozpadu perlitu a ke snižování pevnosti litiny. Perlit není možné stabilizovat chromem, protože hrozí nebezpečí vzniku karbidů a měď a cín nedokážou rozpadu perlitu při vysokých teplotách také zabránit. Pro práci při zvýšených teplotách se používá výhradně feritická litina s kuličkovým grafitem.

Hloubková oxidace je u litin s kuličkovým grafitem nižší než u litin s lupínkovým grafitem. U litin s lupínkovým grafitem dochází k intenzivnějšímu pronikání kyslíku podél grafitu do hloubky litiny. Legováním křemíkem do 4 % je možné zvýšit odolnost proti oxidaci vytvořením husté oxidační vrstvy na povrchu. Tato ochrana je účinná pouze do teplot austenitické transformace, kdy začne docházet k dilataci a narušení souvislé ochranné vrstvy. Vysoký obsah křemíku způsobuje posunutí transformační teploty do oblasti 800 °C. Podobný ochranný účinek má i hliník, který se ovšem v důsledku metalurgických problémů téměř nepoužívá.

Pevnost a odolnost proti tepelné únavě se u feritických litin používaných při vyšších teplotách zvyšuje legováním molybdenem o obsahu do 0,6 %. Při překročení této hodnoty vznikají na hranicích eutektických buněk karbidy snižující tažnost a obrobiteľnost. Podobný, ovšem nižší účinek má i nikl do obsahu 2,5 %. Litiny s kuličkovým grafitem mají

nižší tepelnou vodivost než litiny s lupínkovým grafitem. Proto je u litin s kuličkovým grafitem větší nebezpečí vzniku prasklin při rychlých změnách teplot z důvodu vyšších napěťových špiček.

Obrobitelnost litin s kuličkovým grafitem je všeobecně považována jako dobrá. Ovšem ve srovnání s litinou s lupínkovým grafitem horší. Litina s lupínkovým grafitem má lepší lámavost třísky z důvodu fosfidového síťoví. Grafit v litinách s kuličkovým grafitem snižuje tření na čele obráběcího nože. Litina s kuličkovým grafitem má v porovnání s ocelí lepší obrobitelnost v důsledku odlišných vlastností kovové matrice. Litina s kuličkovým grafitem průměrně obsahuje 2,5 až 3 % Si, který se rozpouští ve feritu, což má vliv na chování a vlastnosti při třískovém obrábění. [1]

2.3.3 Použití

Litina s kuličkovým grafitem je prosazována jako alternativní materiál oceli na odlitky. Úspory získané záměnou litiny s kuličkovým grafitem za ocel na odlitky jsou především v menším spotřebované množství energie na tavení a úspora kovu.

V normě je dnes zařazeno 8 značek nelegovaných litin s kuličkovým grafitem odstupňovaných podle pevnosti v tahu od 350 do 900 MPa.

Slévárny nemají určený přesný obsah jednotlivých prvků v litině. Musí ovšem dodržet předepsaný stupeň eutektičnosti a mechanické vlastnosti.

Podle použití je možné rozdělit litiny s kuličkovým grafitem zařazené v ČSN EN 1563 do třech skupin:

- V první skupině jsou litiny GJS označované jako litiny na běžné použití i na práci za snížené teploty. Tyto litiny jsou vhodné pro dynamicky namáhané odlitky s tloušťkou stěny od 5 do 100 mm. Používají se na odlitky, u kterých je požadována záruka mechanických vlastností a vysoké hodnoty plasticity při nízkých teplotách. Zástupci jsou: EN GJS350-22, EN GJS400-15, EN GJS400-18.
- Do druhé skupiny patří litiny EN GJS500-7, EN GJS600-3 nejčastěji používané v automobilovém průmyslu. Vyrábí se z nich vačky, klikové hřídele, součástky převodových skříní, motorové vložky a ozubená kola.
- Ve třetí skupině jsou litiny s největší pevností označované jako vysokopevnostní litiny. Vhodné pro mechanicky i dynamicky namáhané odlitky. Nejčastější použití je v automobilovém a strojírenském průmyslu.[1]

2.4 Izotermicky zušlechtěná litina s kuličkovým grafitem ADI

2.4.1 Strukturní charakteristika

Na izotermicky zušlechtěnou litinu s kuličkovým grafitem se vztahuje norma ČSN EN 1564. Tato litina má díky tepelnému zpracování vyšší pevnost a houževnatost než klasická litina s kuličkovým grafitem odpovídající normě ČSN EN 1563. Jedná se o nový druh litiny využívaného v konstrukci pro výrobu vysokopevnostních odlitků.

Izotermické zušlechtění litiny s kuličkovým grafitem se skládá z:

1. austenitizace;
2. rychlého ochlazení na teplotu v bainitické oblasti;
3. dochlazení na pokojovou teplotu;

Na začátku austenitizace je odlitek ohřátý na teplotu v rozmezí 850 až 1000 °C. Na této teplotě setrvává po dobu potřebnou pro získání čistě austenitické matrice, která bude rovnovážně nasycená uhlíkem. Proces austenitizace trvá v rozmezí 1 až 3 hodin. Záleží na počáteční struktuře matrice. Je-li vysoký obsah feritu ve struktuře matrice před tepelným zpracováním, tak se doba potřebná k nasycení austenitu uhlíkem prodlužuje. Při použití materiálu s počáteční perlitickou strukturou se doba austenitizace zkracuje. Struktura matrice před tepelným zpracováním výsledné vlastnosti ADI litiny ztlačně nemění. Vlastnosti ovlivňuje také množství a rozložení grafitu, které mají vliv na pohyb atomů uhlíku mezi grafitem a matricí. Větší počet zrn grafitu znamená menší stupeň heterogenity a kratší dráhu atomu uhlíku z rozpuštěného grafitu do matrice. Tomuto přechodu brání některé prvky, jako jsou např. Sb, Sn, Cu. Ty vytvářejí hůře propustnou vrstvu prodlužující dobu austenitizace. Velký vliv na průběh austenitizace má teplota. Při nižší teplotě austenitizace se u nelegované ADI litiny dosahuje vyšší pevnosti, ale i zároveň houževnatosti. Vyšší teplota má účinek opačný. Ovšem při příliš nízké teplotě dojde k neúplné austenitizaci, což má opět za následek snížení pevnosti a houževnatosti. Tepelné zpracování se určuje i podle chemického složení litiny s kuličkovým grafitem. Mezi prvky ovlivňující teplotu austenitizace patří Si, Mo, Mn. Austenitizace se provádí v plynových nebo elektrických odporových pecích. Pro zabránění oxidace a oduhličení povrchu se v peci používá interní atmosféra. Při výrobě ADI litin se používá i indukční ohřev, ale to jen v případech, kdy se izotermicky zušlechtí pouze část odlitku. Požadovanou strukturu ADI litiny má pouze část odlitku, která byla dostatečně ohřátá na austenitizační teplotu. Výhodou a důvodem, proč se tento proces používá je zkrácení celkové doby tepelného zpracování. Použitím úplné austenitizace se dosahuje

neoptimálnějších mechanických vlastností ADI litin. Výsledná struktura je tvořena čistě austenitickou maticí nasycenou uhlíkem a zrný grafitu.

Ochlazení z austenitizační teploty na teplotu izotermické přeměny v bainitické oblasti probíhá přenosem odlitku z austenitizační pece do solné lázně o teplotě 250 až 450 °C. Ochlazení musí být velmi rychlé, aby nedošlo k vyloučení perlitu a proeutektoidního feritu. U silnějších průřezů, kde nejde dosáhnout velké rychlosti ochlazení celého průřezu, je nutné použít při výrobě ADI buď nízkolegovanou litinu s kuličkovým grafitem nebo dvoustupňové chlazení s mezichladičem. Přísady zvyšující proklalitelnost odlitku jsou Mo, Ni, Cu, které se mohou přidávat samostatně nebo v kombinaci. Alternativami ochlazování je olej, který má nevýhodu v maximální dosažitelné teplotě 260 °C nebo ochlazování fluidní vrstvou. Tento způsob ochlazování mánevýhodu v malé intenzitě. Dvoustupňový způsob chlazení s mezichladičem probíhá tak, že odlitek z austenitizační pece putuje do solné lázně o nižší teplotě (180 až 250°C), v které je zaručena vyšší intenzita ochlazení. V tuto chvíli ještě nedochází k bainitické přeměně austenitu, ale jen k vyrovnání teplot v celém odlitku a snížení teploty pod oblast vylučování perlitu. Po této lázni následuje ohřátí v další peci na transformační teplotu, kde již probíhá izotermická přeměna a dosahuje se požadované ADI litiny. Tento způsob dovoluje použít pro silné průřezy odlitku i nelegovanou litinu s kuličkovým grafitem. Podmínky průběhu izotermické přeměny austenitu mají rozhodující vliv na vlastnosti ADI litin.

Ochlazení odlitku na pokojovou teplotu se provádí na vzduchu nebo ve vodě. Touto operací jsou vlastnosti ADI litin ovlivněny minimálně. Rychlost ochlazení může mít vliv na vnitřní napětí v odlitku.

ADI litiny jsou díky svým vlastnostem využívány především v podmínkách s vysokým namáháním. Pro dosažení vysokých hodnot mechanických vlastností je potřebné dodržet jakost a chemické složení surového odlitku s ohledem na tloušťku a tvar odlitku. Jedná se především o rovnoměrné rozložení zrn grafitu o vhodné velikosti a hustotě. Hustota zrn grafitu by měla přesáhnout hodnotu 200 zrn na 1 mm². Přitom podíl zrn pravidelného kuličkového grafitu musí přesahovat 80 % celkového počtu. Dále je požadavek na max. 0,5 % obsahu volných karbidů a nekovových inkluzí v matici, minimální mikroporozitu a velmi malý výskyt slévárenských chyb. Kolísání obsahu legujících prvků má značný vliv na chování litin s kuličkovým grafitem při následném tepelném zpracování a jejich vlastnosti. Chemické složení musí být zvolené dohodou mezi slévárnou a kalírnou. Chyby způsobené při slévání již není možné izotermickým zušlechťováním odstranit.

U masivních odlitků z ADI litiny se používá legování kombinací Mo, Cu, Ni z důvodu lepší prokalitelnosti. Z výsledků zkoumání nízkolegovaných izotermicky zušlechtěných litin vyplývá, že v matici jsou místa s rozdílnou strukturou a složením. Bylo zjištěno, že na hranicích eutektických buněk je vyšší koncentrace Mn, Mo a nižší obsah Si, Ni, Cu. Chemická mikroheterogenita se izotermickým zušlechtěním nemění.

Tvárná litina izotermicky zušlechtěná dosahuje i dvounásobných hodnot pevnosti než běžné druhy tvárných litin a to i za zachování vysoké tažnosti a houževnatosti. Izotermicky zušlechtěné litiny se vyznačují vysokou odolností proti opotřebení a mezi únavy, což vede k snížení hmotnosti či dosáhnutí lepších vlastností. Volbou chemického složení výchozí litiny s kuličkovým grafitem je možné měnit vlastnosti ADI litin v širokém rozmezí. Správnou volbou podmínek izotermického kalení je možné získat pro daný případ použití takový materiál, který svými vlastnostmi překonává ostatní druhy litin i ocelí na odlitky.

Zbytkový austenit v bainitické struktuře litiny má vliv především na houževnatost a plastické vlastnosti. I ve struktuře optimálně zušlechtěné ADI litiny byl nalezen netransformovaný zbytkový austenit. Mechanická stabilita ADI litin s bainitickou strukturou je ovlivněna stálostí zbytkového austenitu vůči mechanickému namáhání při dané teplotě. Významný podíl na zvyšování tažnosti má tvorba deformačně indukovaného martenzitu. Mechanická nestabilita ADI litin je snižována kuličkováním nebo nitridováním. Tato transformace zbytkového austenitu na deformačně indukovaný martenzit přispívá k aplikacím ADI litin u součástek zatěžovaných kontaktně, jako jsou např.: ozubená kola, vačkové hřídele.

Popouštění při teplotách nad 350 °C u nelegovaných litin má vliv na stabilitu a změnu mechanických vlastností z důvodu rozpadu zbytkového austenitu na ferit a karbidy. Z tohoto důvodu jsou odlitky z ADI litin omezené nejvyšší provozní teplotou, ale problém může nastat i při nanášení povlaků, např.: plazmové nitridaci.

Zbytkový austenit u nízkolegovaných litin je odolnější vůči vyšší teplotě nebo popouštění. Pro rozpad zbytkového austenitu u nízkolegovaných ADI litin je zapotřebí delší doba popouštění.

ADI litiny obsahují ve struktuře 10 až 13 % zrn grafitu. Z tohoto důvodu mají ADI litiny o 8 až 10 % menší hustotu než ocelové součásti. Hustota ADI litin se pohybuje v rozmezí 7050 až 7090 kg/m³. Nahrazením ocele ADI litinou bez změny konstrukce se dosáhne snížení hmotnosti až o 10 %. Dalších 10 až 30 % hmotnosti je možné ušetřit úpravou konstrukce, protože ocelové odlitky mají horší slévárenské vlastnosti.

Odlitek z ADI litiny má schopnost utlumit vibrace za poloviční dobu v porovnání s ocelovým odlitkem. Absorbce energie kmitání je třikrát větší oproti oceli na odlitky. Schopnost tlumit kmity přispívá k menší hlučnosti strojů a zařízení vyrobených z ADI litin a jejich lepší přesnosti. Oproti ostatním druhům litin je útlum vibrací u ADI litin menší.

Při obrobení ADI litin zůstanou na povrchu početná zrna grafitu působící na protilehlou funkční plochu jako mazivo. Po vypadání zrn zůstanou na povrchu jamky, které dále slouží jako zásobník maziva. ADI má v porovnání s ocelí lepší kluzné vlastnosti, hlavně v nouzovém stavu bez mazání.

Slévárenské vlastnosti ADI litin patří k jejich velkým výhodám. Další výhodou oproti oceli na odlitky je podstatně nižší teplota tavení, což výrazně snižuje energetickou náročnost a zároveň je sníženo namáhání forem. Menší namáhání slévárenských forem vede k lepšímu povrchu odlitků a snížení nákladů na výrobu a údržbu těchto forem. Odlitky z litin s kuličkovým grafitem jsou vyráběny přesněji. Přesnost výroby odlitku by se dala porovnat s výkovkem, což znamená další ušetření materiálu nutného na obrábění.

Vysokou předností je zabíhavost, která dovoluje výrobu odlitků s tloušťkou stěny 2 mm, zatím co ocel na odlitky dovoluje vyrobit odlitky s tloušťkou stěny minimálně 5 mm. Grafit obsažený v litině zmenšuje stahování odlitků. Litina s kuličkovým grafitem má i menší sklon ke vzniku trhlin za tepla.

U litin s kuličkovým grafitem se v mnoha případech dosáhne jakosti litiny již ztuhnutím ve formě na rozdíl od ocele na odlitky, u které je nutné další tepelné zpracování.

Další velkou výhodou je velmi dobrá obrobiteľnosť litin s kuličkovým grafitem prisuzovaná práve grafitu. Náhradou ocele na odlitky ADI litinou se dosáhne úspory obráběcích nástrojů, energie. Úspora výrobních nákladů je až 50 %. Odlitky z ADI litin se většinou obrábějí před izotermickým zušlechťením.[1]

2.4.2 Použití

V normě ČSN EN 1564 jsou obsaženy čtyři typy ADI litin odstupňovaných podle pevnosti v tahu v rozmezí 800 až 1400 MPa. Podle použití je možné ADI rozdělit do dvou základních skupin.

- První skupina je tvořena izotermicky zušlechťenými litinami při 400 až 450 °C s relativně nižší pevností pohybující se okolo hodnoty $R_m = 1000$ MPa. „Zástupci této skupiny jsou EN-GJS-800-8, EN-GJS-1000-5, EN-GJS-800-8S-RT. Poslední jmenovaná litina je obzvláště vhodná pro součástky namáhané rázy. Minimální hodnota

rázové práce je při 23 °C 10 J“ [1]. ADI litiny této skupiny se využívají pro odlitky s tloušťkou stěny 5 až 1000 mm. Hlavní použití je na výrobu rozměrných ozubených kol a klikových hřídelů, po kterých je požadována vysoká pevnost a plasticita.

- Druhá skupina je tvořena izotermicky zušlechťenými litinami při teplotě 300 až 350 °C. Litiny z této skupiny jsou označovány jako litiny s největší pevností a tvrdostí ($R_m = 1400 \text{ MPa}$, $HB = 500$). Využití těchto litin je především v automobilovém a strojírenském průmyslu. Vyrábějí se z nich klikové a vačkové hřídele, součástky převodových skříní, motorové vložky válců, ozubených kol, osvědčili se i při výrobě kloubů a zařízení s vysokým abrazivním a adhezivním opotřebením.

Nejběžněji se ADI litiny používají jako náhrada za ocel na odlitky. Touto náhradou se dosahuje snížení výrobních nákladů a zvýšení životnosti součástí. Odolnost proti opotřebení ADI litin je v porovnání s ocelí o stejné tvrdosti dvojnásobná. Další oblast aplikace ADI litin s vyšší pevností je náhrada za litiny s kuličkovým grafitem o menší pevnosti. Tato aplikace je vhodná v případech, když se zvýšili požadavky na pevnost součástí. Poslední aplikací ADI litin je nahrazení komplexu několika tepelně zpracovaných ocelových součástí jedním odlitkem. Příkladem je například čep řízení automobilu. Při této aplikaci se dosahuje nejvyšších úspor.[1]

2.5 Litina s červíkovitým grafitem

2.5.1 Strukturní charakteristika

Litina s červíkovitým grafitem obsahuje v základní struktuře červíkovitý (vermikulární) grafit a malé množství zrnitého nepravidelného kuličkového grafitu (maximálně do 20 %). Červíkovitý grafit je varianta grafitu nacházející se mezi lupínkovým a kuličkovým grafitem. Jedná se o prostorově rozvětvenou částici zakončenou zaoblením. Tento typ grafitu se jako nežádoucí vyskytuje v tvárných litinách, objevuje se i v případech nesprávného modifikování nebo vysokého obsahu síry. Litina s červíkovitým grafitem obsahuje 80 % vermikulárního grafitu a maximálně do 20 % nedokonalého, ale i pravidelného zrnitého grafitu. Zkladní podmínkou je eutektické složení a nízký obsah síry. Při výrobě se používá takový způsob modifikování, který zaručí neúplnou sferoidizaci grafitu. Využívá se čtyř druhů modifikování zaručujících tento proces.[1]

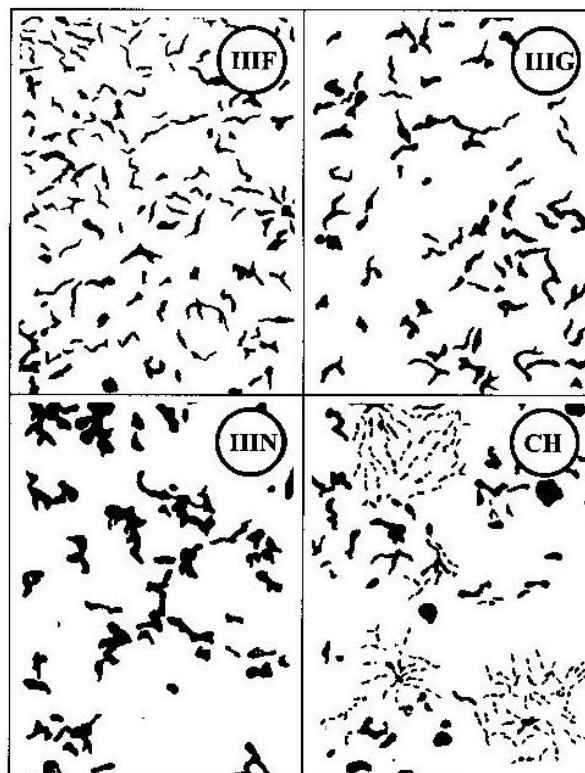
Jedná se o:

1. Modifikování hořčíkem - obsah hořčíku musí být menší než u tvárné litiny a musí být volen pro konkrétní obsah kyslíku a uhlíku. Tato volba je v reálných podmínkách značně problematická.

2. Modifikování kombinací globurizačních a antigloburizačních prvků - při této variantě modifikování se využívá kombinace Mg + Ti. Výhodou této kombinace je větší interval optimálního působení oproti samotnému hořčíku. Nevýhodou, kvůli které se od tohoto modifikování ustoupilo, je podmínka, aby vratný materiál obsahoval maximálně 0,1 % Ti.

3. Modifikování lantanoidy - jedná se o koncentráty získané z úpravy rudy s obsahem přibližně 50 % Ce a 20 % La. Tímto způsobem se dosahuje ještě většího intervalu optimálního působení na červíkovitý tvar grafitu. Nevýhodou při mírném předávkování je vznik cementitu v základní matici.

4. Modifikování Mg + lantanoidy - při tomto modifikování se využívá předností jednotlivých prvků.[1]



Obrázek 8: Etalony dělení červíkovitého grafitu [1]

Po modifikování je potřebné grafitizační očkování. Modifikování Mg, Mg + Ti má za následek kulatější tvar a menší rozvětvení červíkovitého grafitu při vyšší pevnosti a tažnosti oproti modifikování lantanoidy.

Pro lepší orientaci v litinách s červíkovitým grafitem byla vytvořena tabulka etalonu. Jemný červíkovitý grafit (IIIF) se od hrubého červíkovitého grafitu (IIIG) odlišuje pouze v tloušťce jednotlivých větví. Oba tyto typy grafitu jsou souvislé prostorové skelety. Přejímový červíkovitý grafit (IIIN) vyznačuje hraniční variantu, při které již začíná docházet k porušení celistvosti skeletu a vytváření izolovaných částic. Charakteristický znak nevyhovujícího modifikátoru je chunky grafit (CH).

Struktura matrice je závislá na:

1. chemickém složení tekutého kovu
2. druhu a množství modifikátoru
3. rychlosti ochlazování

Feriticko- perlitická matrice je typická pro optimálně modifikované odlitky. Množství feritu je závislé na obsahu kyslíku a síry v tekutém kovu, protože právě tyto prvky určují volbu modifikátoru. Podíl feritu a perlitu je ovlivněn i jinými druhy přísad.

Podkritické modifikování Mg má za následek vznik lupínkového a červíkovitého grafitu především ve feritické matrici. Při podkritickém modifikování lantanoidy vzniká typický velmi jemný (podchlazený) grafit s feritickou matricí. Nadkritické modifikování lantanoidy má za následek vyloučení volného cementitu ve struktuře matrice zatím co nadkritické modifikování Hg má za následek tvorbu velkého podílu zrnitého grafitu.

Vysoká rychlost ochlazování má podobný účinek jako nadkritické modifikování lantanoidy. Vytvoří se perliticko-feritická struktura s volným cementitem v matrici.

Jako reálně použitelné tepelné zpracování je považováno pouze perlitizační žíhání. U tohoto tepelného zpracování jako jediného nedochází k podstatnému zkřehnutí litiny. Při dosažení čistě feritické struktury matrice má litina relativně vysokou houževnatost i tažnost. Tvorba feritické struktury je ovšem podmíněna vysokou čistotou surovin.

Litina s červíkovitým grafitem má zvláštní postavení mezi šedou litinou a litinou s kuličkovým grafitem. Vyznačuje se výbornými slévárenskými vlastnostmi podobnými jako má šedá litina a zároveň vyššími mechanickými vlastnostmi podobnými jako má litina s kuličkovým grafitem. V ČR není litina s červíkovitým grafitem normována. [1]

2.5.2 Použití

Litina s červíkovitým grafitem má své místo při výrobě tvarově náročných odlitků, které jsou více namáhané a nemohou proto být vyrobené pouze z šedé litiny. Tento druh litin by mohli využívat slévárny pracující s šedou litinou, protože je možné používat stejné formy. Omezujícím faktorem, proč se litina s červíkovitým grafitem nerozšiřuje předpokládaným tempem je náročnost na čistotu surovin a technologických postupů. Tyto omezující faktory mají asi větší význam než nárůst mechanických vlastností. Litina s červíkovitým grafitem má velmi dobrou tepelnou vodivost. Hlavní oblastí, kde se litiny s červíkovitým grafitem využívají je automobilový průmysl. Používá se na odlitky hlav válců, ventilových pouzder, pístních kroužků a byla použita při výrobě bloku motoru na automobilu BMW 740d.[1]

2.6 Temperované litiny

Proces temperování je podstatou podobný dlouhotrvajícímu žhání součástek vyrobených z bílé litiny. Provádí se z důvodu grafitizace ledeburitického nebo perlitického cementitu. Odstranění cementitu se provádí:

1. oduhličením - výroba temperované litiny s bílým lomem
2. rozkladem v tuhém roztoku - cementit se rozpadá na příslušný tuhý roztok a grafit. Výroba temperované litiny s černým lomem[1]

2.6.1 Temperovaná litina s bílým lomem

Temperování na bílý lom se provádí v oxidačním prostředí o teplotách okolo 1000 °C. Při oduhličování povrchu součásti nastává koncentrační spád, který umožní difuzi uhlíku z jádra na povrch. Oduhličováním je snižován obsah uhlíku v austenitu. Nerovnováha mezi austenitem a cementitem je postupně vyrovnávána rozpouštěním karbidů. Tímto způsobem může být uhlík částečně nebo úplně odstraněn. Ochlazením litiny dochází k přeměně ochuzeného austenitu o uhlík na ferit. V méně oduhličených částech odlitku na ferit a perlit. Během temperování se v podpovrchových vrstvách tvoří ve struktuře z cementitu austenit a grafit. Jádro odlitku bude tvořeno perlitem a grafitem pavoučkovitého tvaru. Temperování na bílý lom je zdlouhavé a nákladné. Použití je na odlitky s tloušťkou stěny do 6 mm.[1]

2.6.2 Temperovaná litina s černým lomem

Tento druh litiny s feritickou matricí je vyráběn dvěma stupni grafitizace. První stupeň grafitizace probíhá při teplotě 950 °C, ve kterém probíhá rozpad ledeburitického nebo sekundárního cementitu na austenit a temperovaný uhlík. Následuje druhý stupeň, během kterého odlitek setrvává na teplotě potřebné pro rozpad cementitu na ferit a temperovaný uhlík. Po druhém stupni grafitizace následuje pomalé ochlazení z důvodu nepoškození stabilní rovnováhy. Po tomto zpracování bude struktura matrice tvořena feritem a grafitem.[1]

2.6.3 Temperovaná perlitická litina

Získání tohoto typu litiny je podobné jako temperované litiny s černým lomem. Rozdíl je ve vynechání druhého stupně grafitizace pro dosažení perlitické matrice. Následuje ochlazení proudem vzduchu nebo olejem. Po tomto ochlazení se provádí žihání nebo popouštění. Podle výšky teploty se vytvoří matrice s lamelárním nebo globulárním perlitem a částí feritu.

Temperované litiny se uplatňují ve výrobě středně namáhaných odlitků především pro automobilový průmysl, zemědělské stroje a části vagonů. [1]

2.6.4 Tvrzená litina

Správnou volbou chemického složení a rychlého ochlazování povrchu odlitku se dosáhne struktury bílé litiny na povrchu. Struktura bílé litiny se směrem k jádru mění na strukturu šedé litiny. Pro dosažení přesného ochlazování se odlévá do kovových kokil nebo se do forem vkládají chladítka.

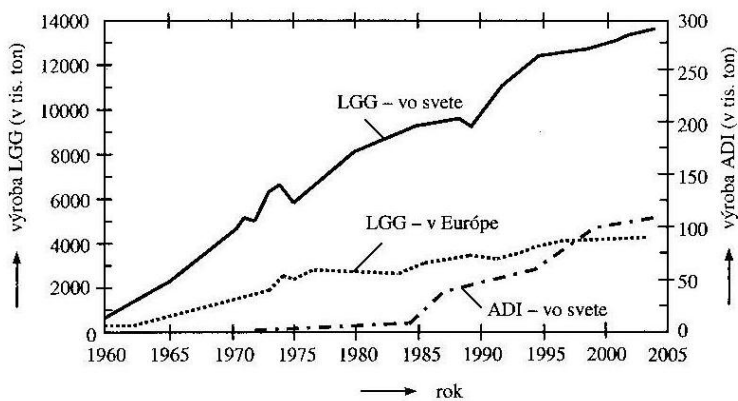
Odlitek vyrobený tímto způsobem má tvrdý povrch a houževnaté jádro. Vyrábí se z ní drtící stroje a válcovací stolice. V automobilovém průmyslu především se především používá na výrobu vačkových hřídelů, zdvihátka ventilů spalovacích motorů.[1]

3 Tendence dalšího vývoje

Výroba a význam slitin železa, tedy i litin v posledních desetiletích klesá. Litiny jsou ovšem velmi důležitou složkou kovových materiálů a tak se předpokládá jejich použití i v budoucnu. V tabulce 2 zobrazen objem výroby odlitků z roku 2003 v tisících tun. Oceli na odlitky se pro své slévárenské vlastnosti stávají pro výrobu odlitků méně vhodné. Klesá i spotřeba a význam šedé litiny, která přestává splňovat stále se zvyšující nároky na mechanické vlastnosti. Základem je zvyšování podílu litiny s červíkovitým grafitem, která v minulosti byla považována za nežádoucí. Významně roste spotřeba litiny s kuličkovým grafitem. Ovšem největším trendem vývoje jsou jakostní druhy litin, mezi které patří například ADI litiny. Uplatňují se nové technologie a zvětšuje se i spotřeba kvalitních surovin, modifikátorů a očkovaadel.

Typ zliatiny	Objem výroby [v tis. ton]
Sivá liatina	6595,044
Liatina s guľôčkovým grafitom	4106,490
Temperovaná liatina	152,737
Oceľové odliatky	734,734
Odliatky zo zliatin hliníka	2765,778
Odliatky zo zliatin medi	3160,555

Tabulka 2: Objem výroby odlitků v roce 2003 v tis.tun [1]



Obrázek 9: Vývoj ročního objemu výroby litin s kuličkovým grafitem a ADI litin [1]

ADI litiny jsou hodnoceny jako výjimečný konstrukční materiál s mimořádně výhodnou kombinací mechanických a technologických vlastností. Odlitek z ADI litin je lehčí, pevnější a odolnější proti opotřebení než konkurenční ocelové součásti. Je špičkovým výrobkem s vlastnostmi charakteristickými pro vysokopevnostní materiály, současně však s dostatečnou plasticitou a houževnatostí. „Může být vyráběn s výrazně nižšími náklady v porovnání s ocelovými součástmi, hlavně v porovnání s výkovky a odlitky ze slitin hliníku“ [1].

4 Prezentace vybraných typů litin

4.1 Příprava metalografických vzorků

Studium struktury materiálů vyžaduje mít ke zkoumání vzorek odpovídajících rozměrů z důvodu manipulovatelnosti nebo dostatečné vypovídací hodnoty. V mnoha případech nelze z důvodu velikosti vzorku prozkoumat celý objem předmětu. Ze zkoumaných předmětů je nutné vyhotovit reprezentativní vzorky. Postup přípravy takovýchto vzorků je možné rozdělit do:

1. odběr vzorku a preparace
2. broušení
3. leštění
4. zviditelnění struktury - leptání (3% Nital)

Na odběr vzorku má velký vliv to, za jakým cílem zkoumání je vzorek odebírán. Je nutné zvolit vhodné místo odebrání vzorku, potřebný počet vzorků a správný způsob oddělení vzorku od odlitku. Místo a plocha odebraného vzorku mají v mnoha případech rozhodující vliv na výsledek zkoumání. Dále je nutné, před odebráním vzorku vědět účel, rozměry, pracovní podmínky daného předmětu. U litin je možné hodnotit zkušební vzorky přilité k odlitku. Podmínkou pro vytvoření reprezentativního vzorku je v tomto případě vhodné umístění místa přilítí a velikost zkoumaného vzorku. Velikost vzorku by měla být alespoň 2 cm². Vzhledem k větší nehomogenitě litin oproti jiným materiálům je vhodné, aby vzorek měl plochu ke zkoumání alespoň 5 cm², pokud je to možné. Při odběru vzorku je nutné postupovat tak, aby nedošlo k vyvolání změny struktury materiálu, deformacím nebo ohřevu.

Preparaci vzorku se nejběžněji provádí úprava rozměrů vzorku. V případech, kdy je vzorek malých rozměrů je vhodné pro lepší manipulaci tento vzorek zalít do vytvrditelných živic (dentacryl) nebo zalisování do syntetických živic. Pro kvalitnější přípravu je možné vzorek pokovovat, čímž se zamezí zaoblení hran vzorku.

Broušení vzorku se provádí brusnými papíry o různé hrubosti za mokra. Broušení má rozhodující vliv na kvalitu vzorku. Leštění je mechanické, prováděné na rotujícím kotouči potaženým vhodnou tkaninou, na kterou se nanáší vhodné leštící přípravky. Na leštění je možné použít suspenze Al₂O₃, Fe₂O₃, diamantové pasty a mnoho dalších. Proces leštění musí probíhat u litin pomaleji než u jiných materiálů z důvodu obsahu grafitu, který je měkký a mohlo by dojít k jeho poškození nebo vytržení z kovové matrice.

Pro dostatečné rozlišení struktury je zapotřebí dosáhnout potřebný kontrast. Pro zviditelnění struktury se nejběžněji používá chemické nebo elektrolitické leptání. „Leptáním se na povrchu vzorku vytvoří mikrorelief, který má odlišné zobrazení fází a mezifázových rozhraní v odraženém světle“ [4]. Druh leptadla je volen podle zkoumaného materiálu. Nejpoužívanějšími leptadly jsou nital, kyselina pikrová, stead a další. Elektrolitické leptání se používá v návaznosti na elektrolitické leštění především u antikoročních materiálů. [4]

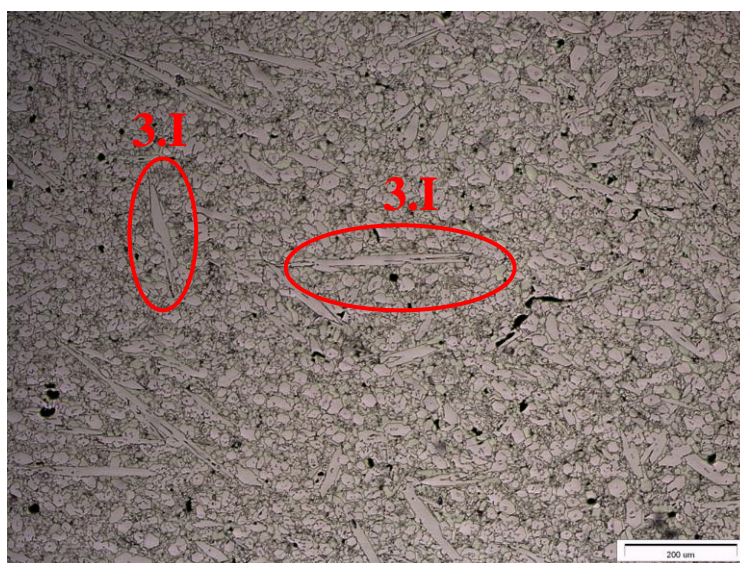
Fotodokumentace použitá u následujících vzorků je ve stavu:

- a) neleptaném (v souladu s normou pro hodnocení grafitu)
- b) leptaném (pro zviditelnění struktury matrice), pro leptání bylo použito leptadlo Nital

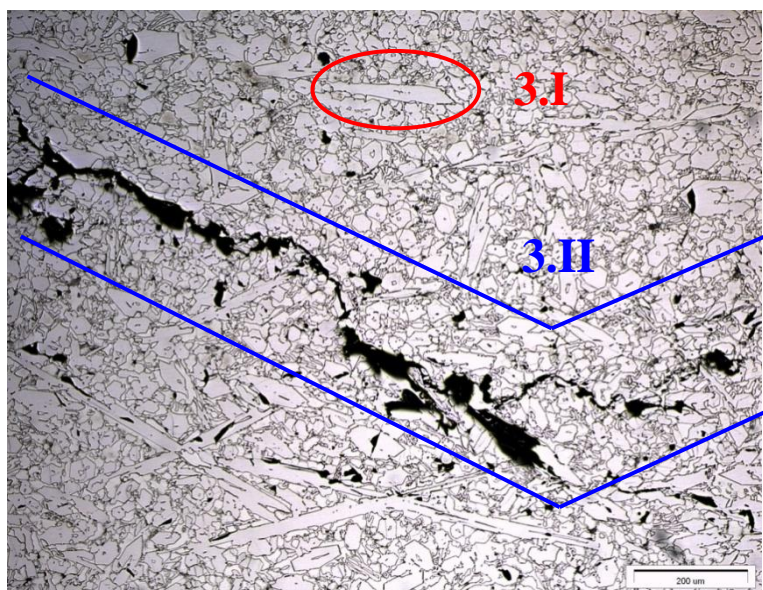
Zpracování a prezentace výsledků byla přizpůsobena konkrétnímu stavu litiny, tj. u jednotlivých typů je kladen důraz na konkrétní defekty, kterými jsou:

- rozdíly distribuce grafitu
- charakter znečištění
- vnitřní vady a trhliny

4.1.1 Vzorek č. 3 - Bílá litina



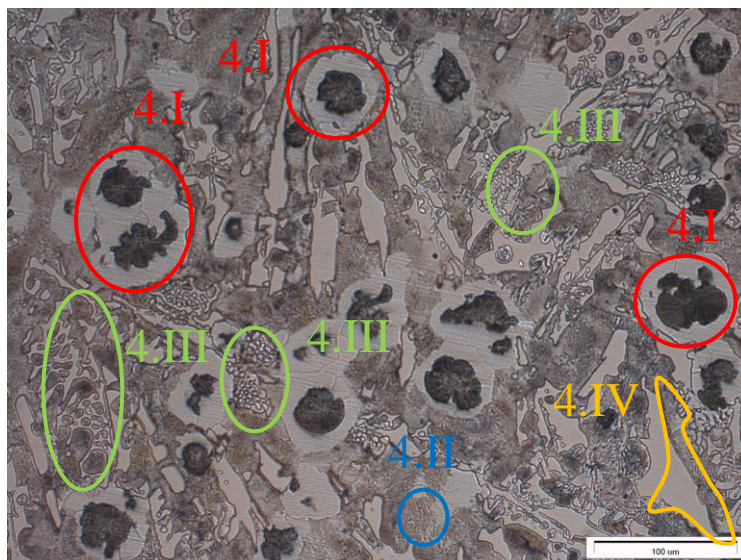
Obrázek 10: Mikrostruktura bílé litiny, lept. Nital, zv. 64 x



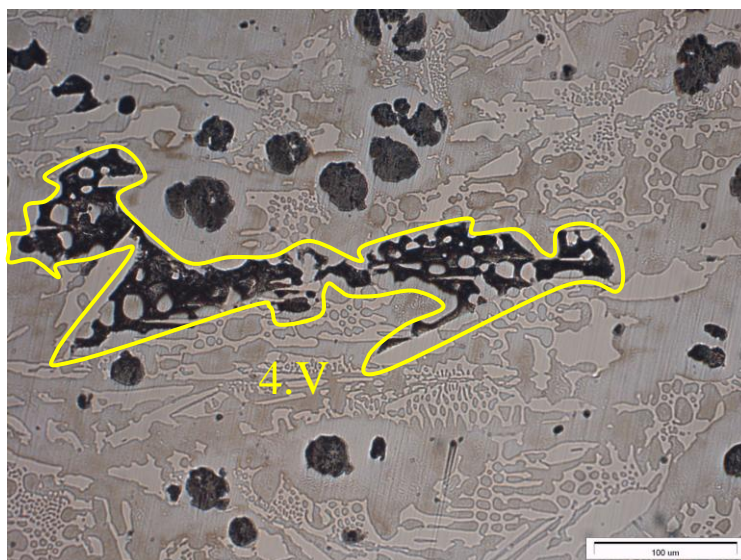
Obrázek 11: Trhlina v mikrostruktuře bílé litiny, lept. Nital, zv. 100 x

Obrázky 10 a 11 znázorňují mikrostrukturu bílé litiny v naleptaném stavu. Bílá litina nepatří mezi grafitické litiny. Struktura bílé litiny je tvořena perlitem a cementitem, z toho důvodu má bílý lom. Podrobněji jsou bílé litiny popsány v kapitole 1.3 a 2.1.1. Hrubé deskovité útvary zobrazené na pozici 3.I jsou tvořeny primárním cementitem. Cementit je velice tvrdý a křehký. Okolí cementitu je tvořeno perlitem. U černě zbarvených útvarů se nejedná o grafit, protože ten se u bílých litin samostatně nevyskytuje. Jedná se o porušení matrice vzniklé nadměrným namáháním součásti. Obrázek 11 je znázorňuje detail mikrostruktury bílé litiny porušené nežádoucí trhlinou, která je zvýrazněna pozicí 3.II. Zde je vidět, jak se spojením menších trhlin vytvořila rozměrnější trhlina. Využití bílých litin v automobilovém průmyslu je omezené. Z bílé litiny se vyrábějí drtící zařízení autovraků. Dále se bílé litiny využívají se při výrobě součástí z tvrzené litiny, které mají tvrdý povrch a měkčí jádro. Jsou to např. zdvihátka ventilů a vačkové hřídele.

4.1.2 Vzorek č. 4 – Tvárná litina s matricí perliticko-feritickou I.



Obrázek 12: Mikrostruktura litiny s kuličkovým grafitem, lept Nital, zv. 250 x

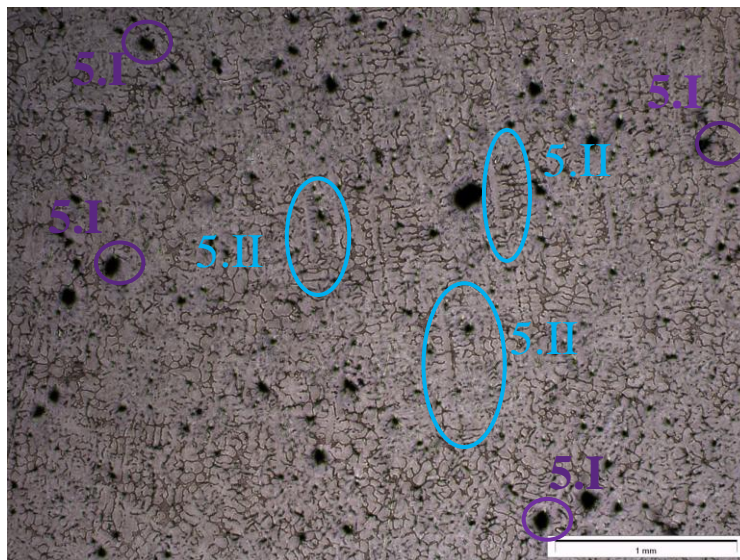


Obrázek 13: Licí vada, lept. Nital, zv. 250 x

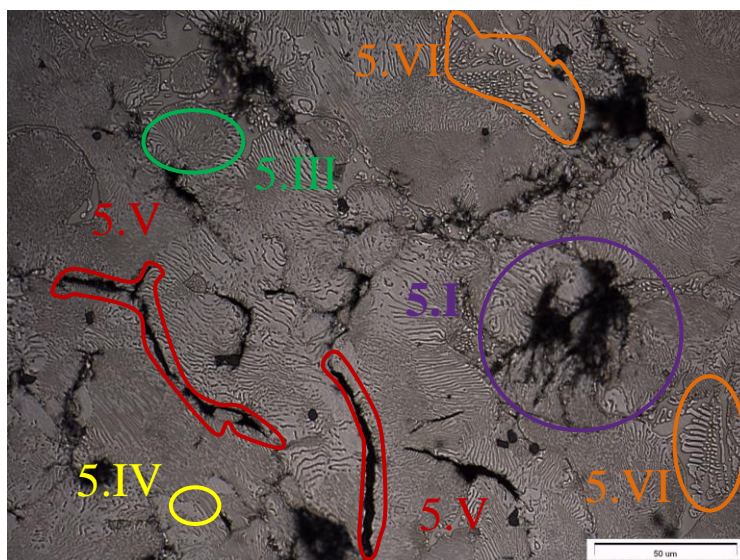
Na obrázku 12 a 13 je znázorněna mikrostruktura litiny s kuličkovým grafitem pocházející z víka tlakové nádoby. Litina s kuličkovým grafitem je podrobněji popsána v kapitole 2.3. Tvar grafitu (pozice 4.I) není v celé struktuře ideálně kuličkovitý, což má vliv na mechanické vlastnosti. Ani rozložení grafitu ve struktuře pozorovatelné na obrázku 13 není rovnoměrné. Okolo kuličkových zrn je viditelné oduhličení jehož výsledkem je ferit. Ferit je znázorněn pozicí 4.IV. Ve struktuře se vyskytuje i perlit (pozice 4.II). Na pozici 4.III je zvýrazněn ledeburit, který je popsán v kapitole 1.4 a 2.1.1. Ve struktuře se vyskytuje velké množství karbidů, které jsou nežádanou složkou struktury způsobující křehkost litiny. Následkem výskytu karbidů došlo i k porušení. Na obrázku 13 je detail na

licí vadu - mikroředinu (pozice 4.V). Vznik mikroředin je způsoben nedostatečným dosazováním tekutého kovu během tuhnutí. Litiny s kuličkovým grafitem jsou díky svým mechanickým a slévarenským vlastnostem velice využívány při výrobě automobilových součástí, např. klikové hřídele, vložky válců nebo ozubená kola.

4.1.3 Vzorek č. 5 – Šedá litina s matricí perlitickou I.



Obrázek 14: Dendritické uspořádání základní matrice šedé litiny, lept. Nital, zv. 32 x



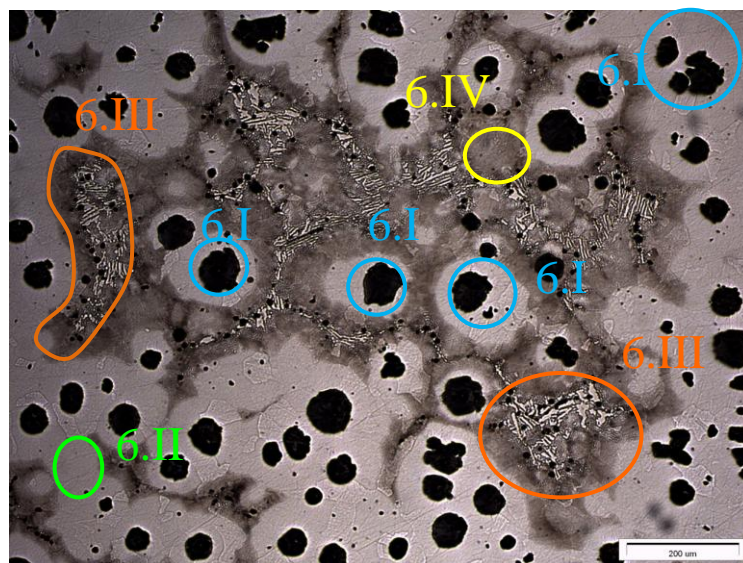
Obrázek 15: Perlitická matrice litiny s lupinkovým grafitem, lept. Nital, zv. 500 x

Obrázek 14 znázorňuje výrazné dendritické uspořádání struktury základní matrice (pozice 5.II). Na dendritické uspořádání má velký vliv rychlost ochlazování (popsáno v kapitole 2.2.1). Toto hrubé dendritické uspořádání mělo vliv na tvar grafitu. Z detailnějšího obrázku 15 je patrná převážně perlitická struktura. Lamelární perlit je znázorněn pozicí 5.III. Pozice 5.IV znázorňuje ferit. Vyskytuje se zde grafit ve formě

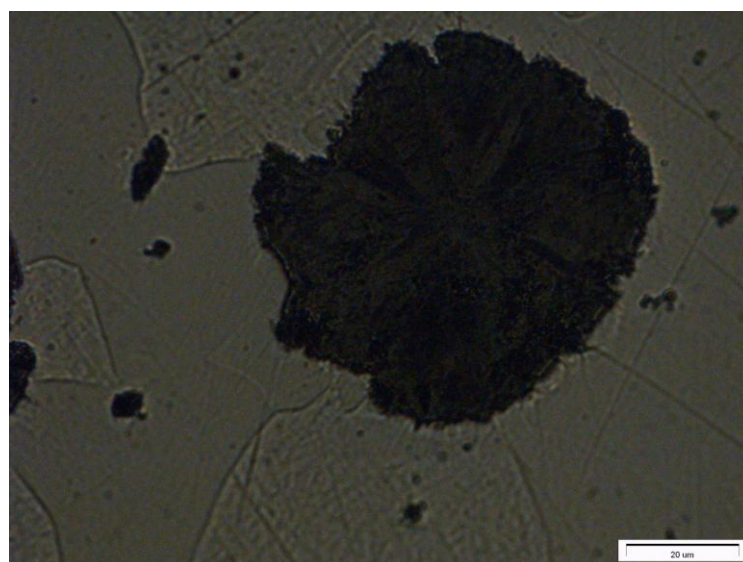
lupínků (pozice 5.V a 5.I). Na pozici 5.I je lupínkový grafit v kolmé rovině na lupínkový grafit na pozici 5.V. Ve struktuře se vyskytují i ledeburitické kolonie znázorněné pozicí 5.VI. Tento typ litiny má velkou přednost v útlumu vibrací a tepelné vodivosti. Vlastnosti litiny s lupínkovým grafitem jsou popsány v kapitole 2.2.

Šedá litina se používá při výrobě součástí, od kterých nejsou vyžadovány vysoké mechanické vlastnosti. Vyrábějí se z nich bloky motorů, hlavy válců, převodové skříně.

4.1.4 Vzorek č. 6 - Tvárná litina s matricí feritickou



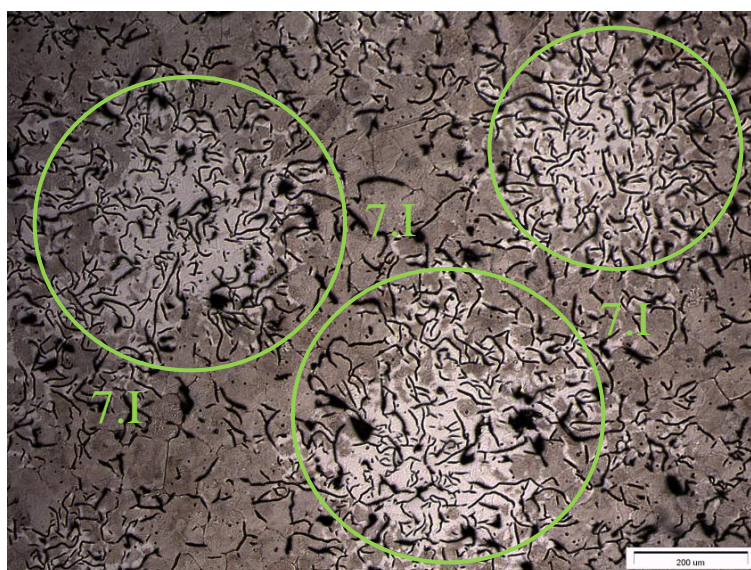
Obrázek 16: Litina s kuličkovým grafitem, lept. Nital, zv. 100 x



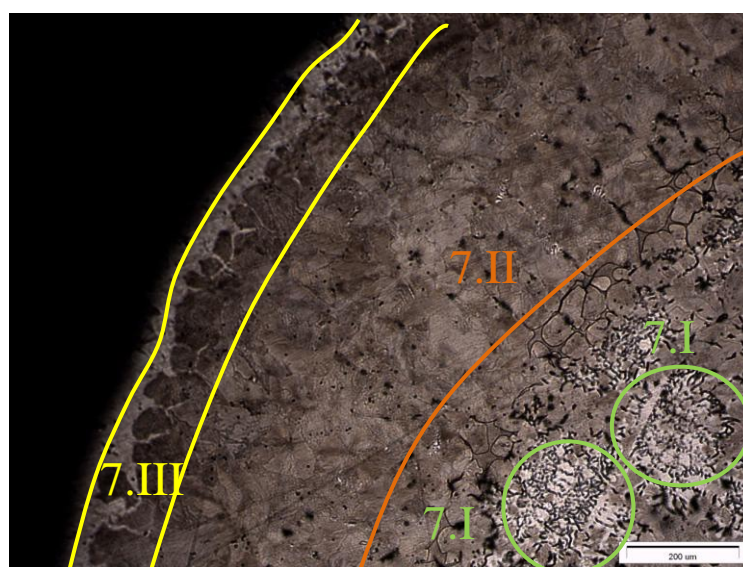
Obrázek 17: Detail kuličkového grafitu, lept. Nital, zv. 1000 x

Vzorek pochází z vodítka ventilu v hlavě válců. Jedná se o litinu s kuličkovým grafitem. Rozložení grafitu je možné považovat za rovnoměrné. Tvar grafitu není dokonale zrnitý (Pozice 6.I). Převážná část struktury matrice je tvořena feritem (pozice 6.II). Při výrobě byla cílem čistě feritická matrice. Vadou odlévání v podobě rychlého ochlazení se ve struktuře vytvořila místa, která ve struktuře obsahují perlit (pozice 6.IV) a někde i dokonce karbidy (pozice 6.III). Primární cementit, který se místy vytvořil je v tomto případě nežádoucí složkou (pozice 6.III) způsobující zkřehnutí litiny. Na obrázku 17 je znázorněn detail kuličkového grafitu.

4.1.5 Vzorek č. 7 - Šedá litina s matricí perliticko-feritickou I.



Obrázek 18: Růžicové uspořádání šedé litiny, lept. Nital, zv. 100 x

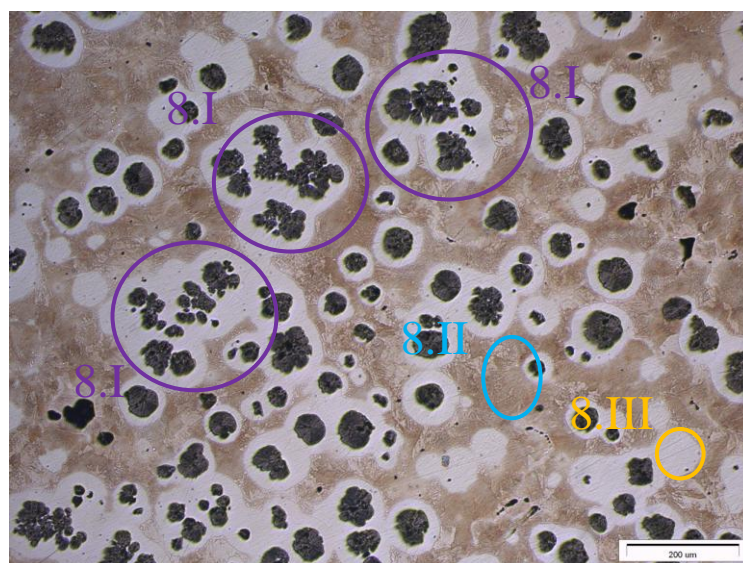


Obrázek 19: Tepelně ovlivněná vrstva, lept. Nital, zv. 100 x

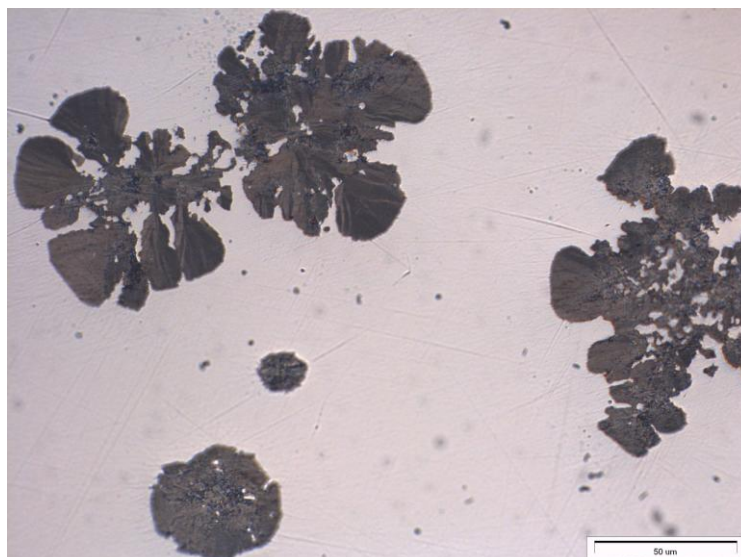
Vzorek č. 7 pochází z roštu namáhaného vysokými teplotami. Jedná se o litinu s lupínkovým grafitem. Z obrázku 18 je patrné velké množství grafitových lupínků s tendencí růžicového uspořádání. Struktura je perliticko-feritická. Ferit se vyskytuje převážně v růžicovém uspořádání grafitu. Grafit v mnoha případech tvoří větší souvislé útvary, které jsou ovšem nebezpečné z důvodu porušení materiálu právě podél těchto útvarů. Obrázek 19 je zaměřen na povrchové vrstvy součásti. Směrem k povrchu součásti docházelo k rychlejšímu ochlazování a tím i tunutí podle metastabilní soustavy (podobně jako perlitická ocel), ubývalo feritu i samostatně vyloučeného lupínkového grafitu až postupně téměř úplně vymizeli (pozice 7.II). Podpovrchovou vrstvu součásti tvoří perlitická vrstva, která byla vlivem vysokých teplot oduhličena. S dlouhodobějším tepelným působením nedocházelo pouze k oduhličení povrchu ale i k objemovému rozpadu perlitu a hrubnutí grafitických zrn. Oduhličená povrchová vrstva (pozice 7.III) tvořená čistě feritem ještě zasahuje po hranicích zrna do hloubky perlitické vrstvy, ve které způsobuje zvýšené opotřebení z důvodu zmenšení pevnosti povrchové vrstvy. Postupně docházelo k zeslabování materiálu, až se materiál porušil.

Šedá litina se vyznačuje vhodnou tepelnou vodivostí, tlumícím účinkem a má také dobré slévárenské vlastnosti. Používá se při výrobě součástí, od kterých nejsou vyžadovány vysoké mechanické vlastnosti. Vyrábějí se z nich bloky motorů, hlavy válců, převodové skříně.

4.1.6 Vzorek č. 8 - Tvárná litina s matricí perliticko-feritickou II.



Obrázek 20: litina s kuličkovým grafitem, lept. Nital, zv. 100 x

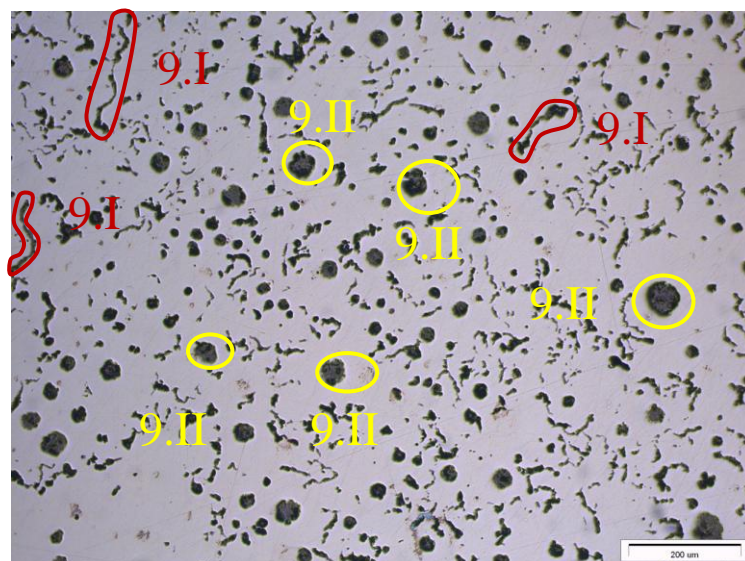


Obrázek 21: Detail grafitu, neleptáno, zv. 500 x

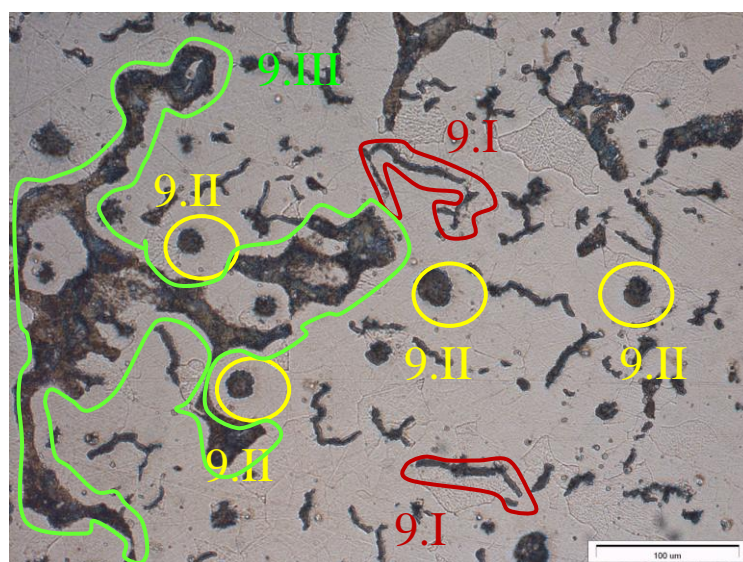
Vzorek č. 8 je tvárná litina. Rozložení grafitu je možno považovat za rovnoměrné. Na pozici 8.I je znázorněn grafit, který se svým tvarem liší od ideálního kuličkového. Jedná se o typický příklad odchylky tvaru grafitu od kuličkového. Tvar tohoto grafitu je možné hodnotit jako rozpadnutý, explodovaný grafit popsáný v kapitole 2.3.1. Této odchylky tvaru grafitu bylo s největší pravděpodobností dosaženo nevhodným modifikováním. Struktura této litiny je perliticko-feritická. Pozice 8.II znázorňuje lamelární perlit s malou disperzitou lamel. Na pozici 8.III je znázorněn ferit. Obrázek 21 znázorňuje detail rozpadnutého (explodovaného) grafitu.

Tvárná litina se používá na výrobu součástí, od kterých je požadována záruka vyšších mechanických vlastností. Často je používána při výrobě odlitků pro automobilový průmysl. Vyrábějí se z ní součásti převodových skříní, ozubená kola, vložky válců, vačkové a klikové hřídele.

4.1.7 Vzorek č. 9 - Litina s červíkovitým grafitem



Obrázek 22: Litina s červíkovitým grafitem, nelept, zv. 100 x

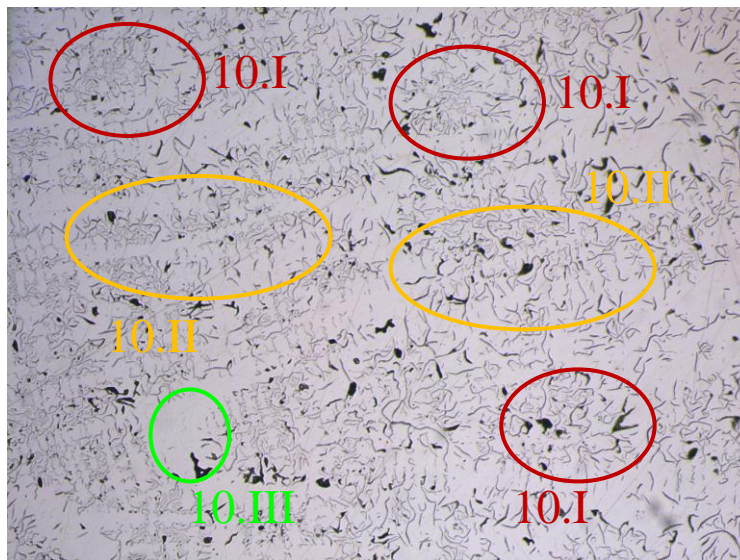


Obrázek 23: Litina s červíkovitým grafitem, lept. Nital, zv. 250 x

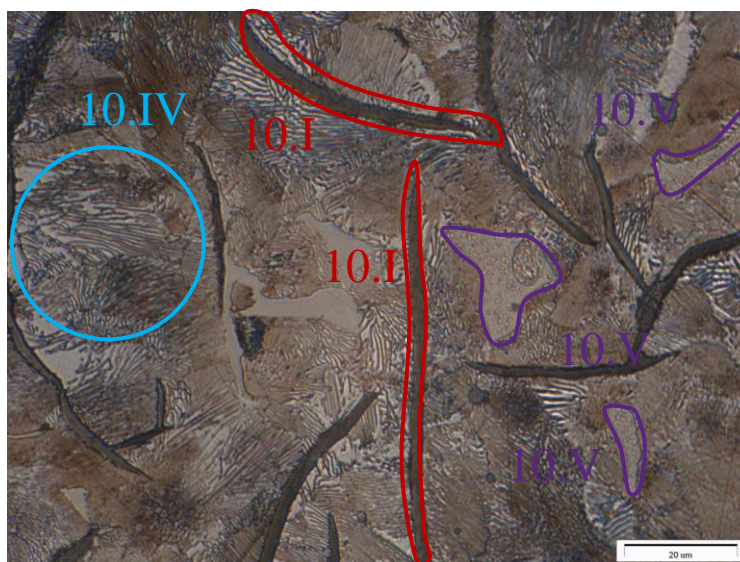
Vzorek č. 9 zobrazuje na obrázku 22 a 23 litinu s červíkovitým grafitem (pozice 9.I). Rozložení grafitu je možno považovat za rovnoměrné. U litin s červíkovitým grafitem je povoleno určité množství kuličkovitého grafitu (popsáno v kapitole 2.5.1), v tomto případě je však již množství kuličkovitého grafitu velké (pozice 9.II), což má vliv na tlumící účinky ale i tepelnou vodivost. Příčinou je nevhodné modifikování. Struktura matrice je převážně feritická. Ve struktuře se objevuje i perlit, který je rozložen v nesouvislém síťoví (pozice 9.III).

Litina s červíkovitým grafitem je svými vlastnostmi řazena mezi litinu s lupínkovým grafitem a litinu s kuličkovým grafitem. Má vhodné slévarenské i mechanické vlastnosti. V automobilovém průmyslu má možnost velkého uplatnění. Vyrábějí se z ní bloky motorů, hlavy válců, ventilová pouzdra.

4.1.8 Vzorek č. 10 - Šedá litina s matricí perlitickou II.



Obrázek 24: Litina s lupínkovým grafitem, nelept., zv. 100 x



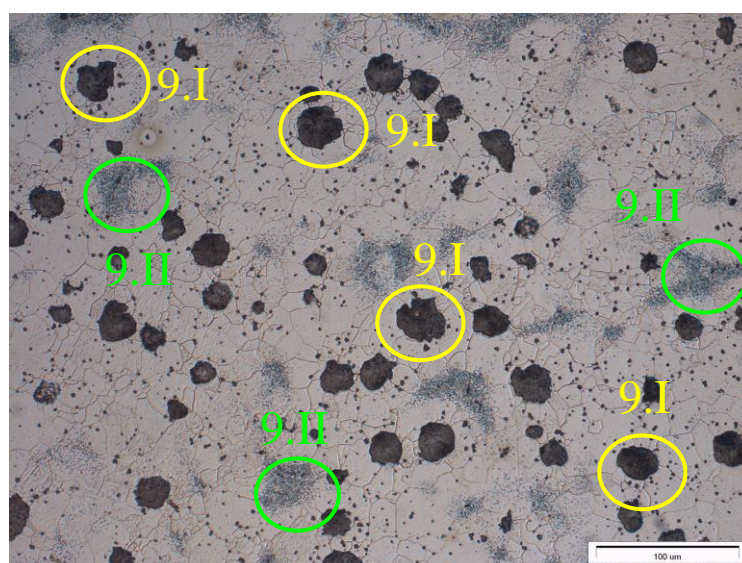
Obrázek 25: Šedá litina s plně perlitickou matricí, lept. Nital, zv. 1000 x

Vzorek č. 10 je litina s lupínkovým grafitem. Na obrázku 24 pod pozicí 10.II je viditelné nápadné dendritické uspořádání. Na místech s hustým rozložením grafitu je názorně vidět snaha tvořit růžicové uspořádání (pozice 10.I). Ve struktuře se vyskytují i místa s menší hustotou rozložení grafitu, která způsobují lokální nehomogenitu

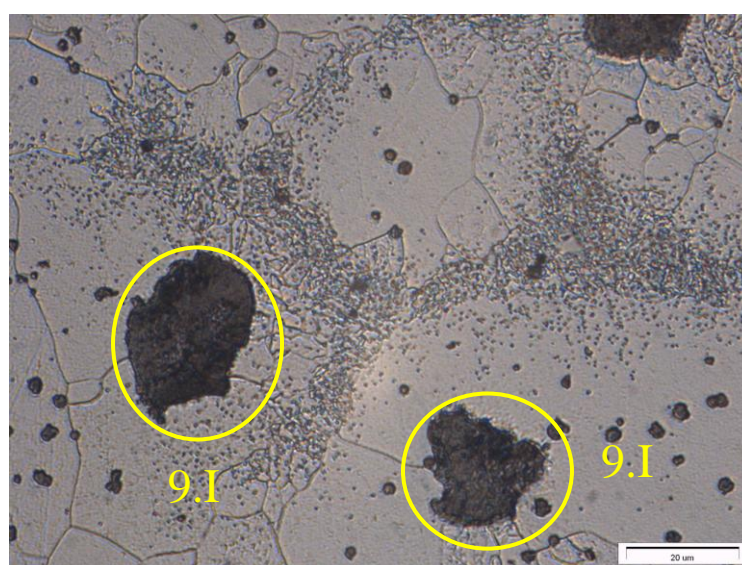
(pozice 10.III). Nehomogenita má nepříznivý vliv na vlastnosti litiny. Na obrázku 25 je detail lupínkového grafitu (pozice 10.I). Struktura matrice je plně perlitická. Pozice 10.IV znázorňuje lamelární perlit. Ve struktuře se vyskytuje fosfidické eutektikum (pozice 10.V), které má negativní vliv na rázovou houževnatost.

Litina s lupínkovým grafitem vyniká především svými slévárenskými vlastnostmi. Vyrábějí se z ní součásti automobilů, na které nejsou kladeny vysoké nároky na mechanické vlastnosti. Používají se např. při výrobě válců vzduchem chlazených motorů, bloků motorů a převodových skříní.

4.1.9 Vzorek č. 11 - Tvárná litina s matricí feriticko-perlitickou I.



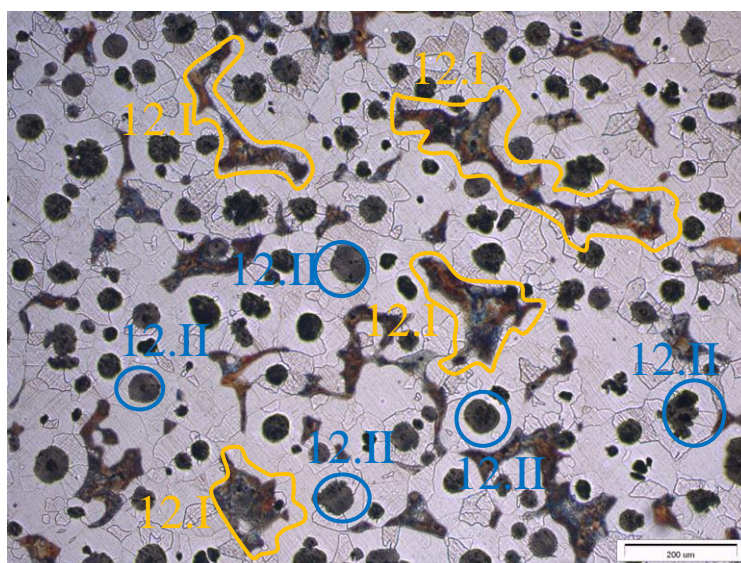
Obrázek 26: Litina s kuličkovým grafitem, lept. Nital, zv. 250 x



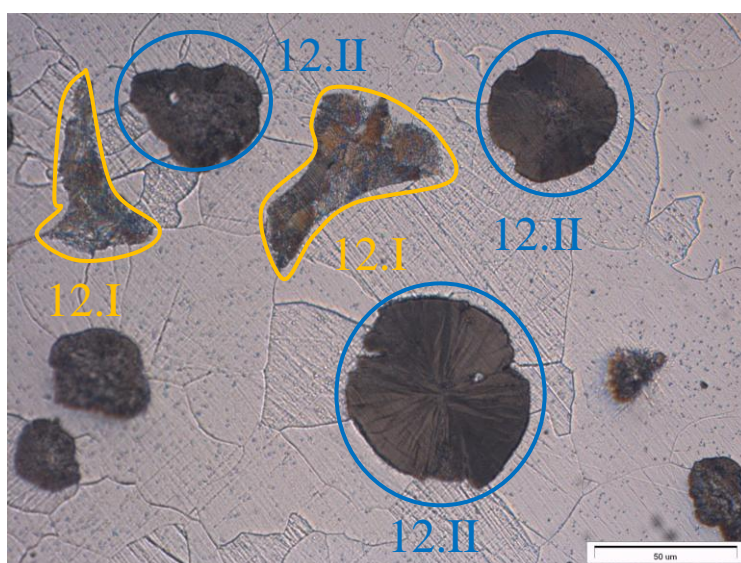
Obrázek 27: Detail perlitu u litiny s kuličkovým grafitem, lept. Nital, zv. 500 x

Vzorek 11 pochází z formy na tavení skla. Jedná se o litinu s kuličkovým grafitem. Na pozicích 9.I je znázorněn kuličkový grafit. Tvar grafitu není ideálně kuličkovitý. Struktura matrice je feriticko-perlitická. Na obrázku 26 je možné pozorovat nerovnoměrné rozložení grafitu. Pozice 9.II označuje ostrůvky perlitu. Obrázek 27 znázorňuje detail perlitu, na kterém je vidět tepelné ovlivnění. Došlo zde ke koagulaci lamelárního perlitu. Lamelární perlit se teplem rozpadl a vytvořil menší kulovité útvary. Rozpad perlitu má vliv na odpevnění litiny. Ovšem u tohoto vzorku nebude odpevnění tak velké, jako by například bylo u litiny s čistě perlitickou matricí.

4.1.10 Vzorek č. 12 - Tvárná litina s matricí feriticko-perlitickou II.



Obrázek 28: Litina s kuličkovým grafitem, lept. Nital, zv 100 x

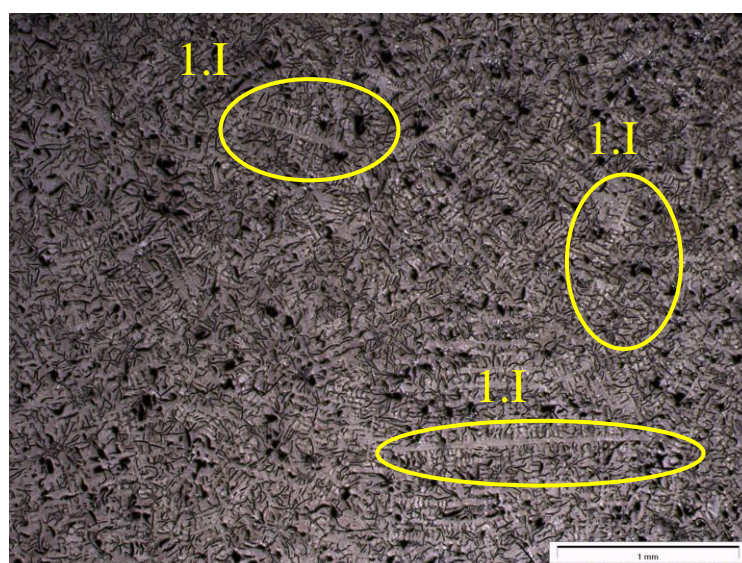


Obrázek 29: Kuličkový grafit a ostrůvky perlitu, lept. Nital, zv. 500 x

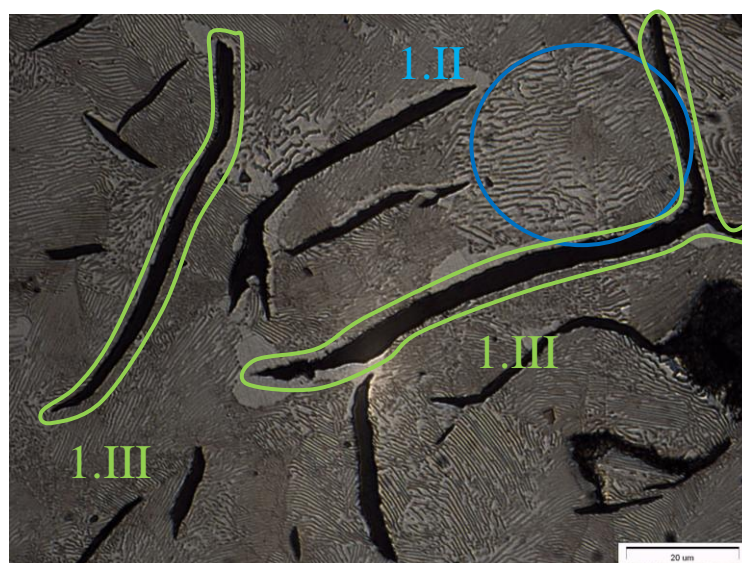
Vzorek 12 je svým strukturním složením velice podobný vzorku 11 s tím rozdílem, že u tohoto vzorku nedošlo k tepelnému ovlivnění perlitu. Perlit zde tvoří ohraničené ostrůvky tvořeny lamelami (pozice 12.I). Obrázek 28 znázorňuje rozložení grafitu ve feriticko-perlitické matrici. Tvar grafitu je kuličkový. Detail grafitu je znázorněn na obrázku 28. Zde je viditelná detailní struktura grafitu. Ve struktuře se vyskytuje i grafit, který není ideálně kuličkovitý.

5 Příklad normativního hodnocení jakosti vybrané litiny

5.1.1 Vzorek č. 1 - Šedá litina s matricí perliticko-feritickou II.

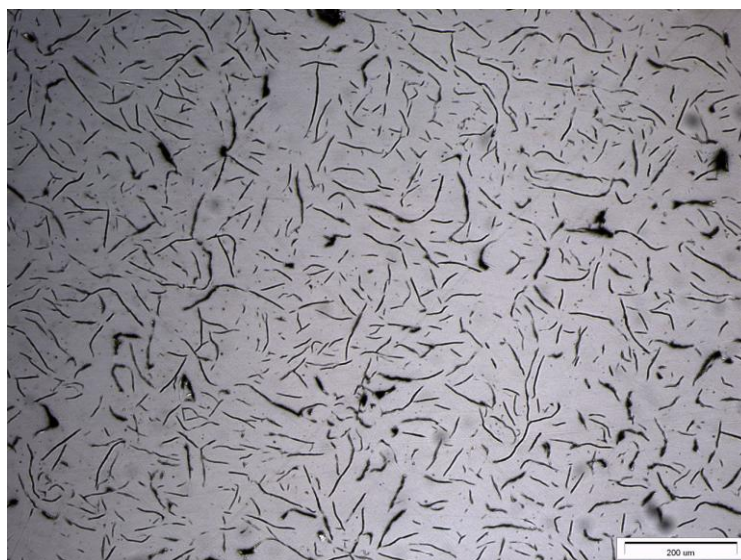


Obrázek 30: Dendritické uspořádání šedé litiny, lept. Nital, zv. 32 x

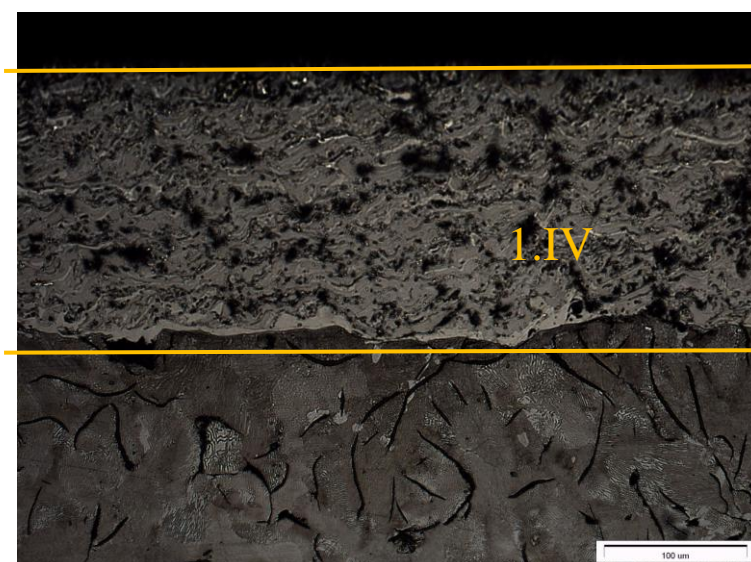


Obrázek 31: Lupínkový grafit, lept. Nital, 100 x

Vzorek 1 představuje zástupce šedých litin. Vzorek pochází z vložky válce. Na pozici 1.I je znázorněno dendritické uspořádání základní matrice. Na obrázku 31 je vidět složení matrice převážně perlitické (pozice 1.II). Tvar grafitu (pozice 1.III) je lupínkový. Rozložení grafitu je názorné na neleptaném vzorku obrázek 32. Jedná se o rovnoměrné rozložení. Zvláštností tohoto vzorku je povrchová vrstva (pozice 1.IV). Na povrchu vzorku byl žárově nanesen povlak nitridu chromu.



Obrázek 32: Rozložení lupínkového grafitu, nelept., zv 100 x



Obrázek 33: Povrchová vrstva, lept. Nital, zv. 250 x

5.1.2 Základní strukturní fáze hodnocené podle norem u vzorku č.1 a č. 2

Metalografické hodnocení struktury vybrané litiny bylo prováděno podle normy ČSN 42 0461 A ČSN EN ISO 945. Tyto normy stanovují porovnávací etalony a způsob hodnocení metalografické struktury litin. V tabulce 99 jsou uvedeny všechny parametry strukturních fází a součástí, které se podle této normy hodnotí.

Norma dále stanovuje:

1. Způsob odběru a přípravy vzorku: Vzorky je možné odebírat buď z vhodného místa odlitku, ze zkušebních těles přilítých k odlitku nebo z odděleně litých těles určených pro zjišťování vlastností dané litiny.
2. Je-li odlitek tepelně zpracováván, odebírá se zkušební vzorek až po tepelném zpracování.
3. Při odebírání vzorku nesmí dojít ke změně ve struktuře zkušebního vzorku.
4. Velikost výbrusu musí mít dostatečnou velikost, která záleží na původních rozměrech odlitku.
5. Výbrus musí být dokonale připraven, označen a evidován.
6. Místo hodnocení struktury.
7. Doporučená leptadla.

Hodnocení grafitu podle normy ČSN EN ISO 945

Typ grafitu se hodnotí podle tří etalonových řad. Tvar, velikost a rozložení grafitu se přiřazují k nejvhodnějším etalonům.

Hodnocení touto metodou je rychlé ale subjektivní, což může mít negativní vliv na výsledky hodnocení.

Tvar grafitu

Etalonová řada pro tvar grafitu obsahuje 6 charakteristických tvarů grafitu, které jsou označeny římskými číslicemi I až VI. Může se vyskytnout i jiný tvar grafitu, než je uveden v etalonech.

Rozložení grafitu

Etalonová řada pro rozložení grafitu obsahuje 5 příkladů rozložení grafitu označených písmeny A až E. Není vyloučen ani výskyt jiného rozložení.

Velikost grafitu

Určuje se při stonásobném zvětšení. Tříde velikostí jsou určeny v rozsahu tříd 1 až 8.

Hodnocení perlitu nebo cementitu se provádí podle normy ČSN 42 0461

Perlit se může ve struktuře vyskytovat ve dvou tvarech. Ve tvaru lamelárního perlitu označovaného P1 nebo ve tvaru zrnitého perlitu označovaného P2. Tvar se určuje podle etalonové řady 4.

Obsah perlitu nebo feritu se zjišťuje při stonásobném zvětšení na třech různých místech vzorku. Z těchto tří hodnot se potom udělá průměrná hodnota. Při výskytu obou druhů perlitu se jejich obsah stanovuje odděleně. Hodnoty se vyjadřují v procentech celkové plochy zmenšené o plochu zabírající grafitem. Hodnocení se provádí podle etalonové řady 5.

Disperzita lamelárního perlitu, což je vzdálenost dvou sousedních lamel cementitu. Tato hodnota se určuje při tisícínásobném zvětšení, jako průměr tří hodnot zjištěných na třech různých místech vzorku. Disperzita se určuje podle etalonové řady 6 a určuje se u zrna s největší disperzitou.

Hodnocení cementitu

Obsah cementitu se také určuje na třech různých místech při stonásobném zvětšení. Stanovení se provádí podle etalonové řady 7. Obsah se určuje v procentech vztažených na celkovou plochu výbrusu.

Velikost útvarů cementitu

Určuje se také jako průměrná hodnota ze tří největších útvarů na třech různých místech vzorku. Hodnocení se provádí podle etalonové řady 8.

Typy fosfidového eutektika

Typy fosfidového eutektika se určují při pětisetnásobném zvětšení podle etalonové řady 9.

Rozložení fosfidového eutektika

Rozložení se hodnotí při dvacetinásobném až padesátinásobném zvětšení podle etalonové řady podle etalonové řady 10.

Velikost síťoví fosfidového eutektika

Určuje se při dvacetinásobném zvětšení podle etalonové řady 11.

Velikost útvarů fosfidového eutektika

Určuje se jako průměrná hodnota plochy tří největších útvarů na třech místech výbrusu při stonásobném zvětšení podle etalonové řady 12. [12,13]

Strukturní fáze nebo součást	Parametr	Číslo etalonové řady
grafit	tvar	1
	rozložení	2
	velikost	3
perlit	tvar	4
	obsah	5
	dispersita	6
ferit ¹⁾	obsah	5
cementit (eutektický cementit)	obsah	7
	velikost útvarů	8
fosfidové eutektikum	typ	9
	rozložení	10
	velikost síťoví	11
	velikost útvarů	12
bainit ¹⁾	obsah ²⁾	—
martensit ¹⁾	obsah ²⁾	—

Tabulka 3: Základní strukturní fáze hodnocené podle norem [12]

5.1.3 Normativní hodnocení vzorku č.1

Hodnocení grafitu

Tvar grafitu vzorku č. 1 odpovídá etalonu označeného I. Jedná se o lupínkový grafit. Rozložení grafitu ve vzorku č. 1 odpovídá etalonu označeného písmenem A, což je rovnoměrné rozložení lupínkového grafitu. Velikost lupínkového grafitu odpovídá etalonu označeného číslicí 4. Toto označení třídy velikosti převážně obsahuje grafit o velikosti od 120 do 250 μm .

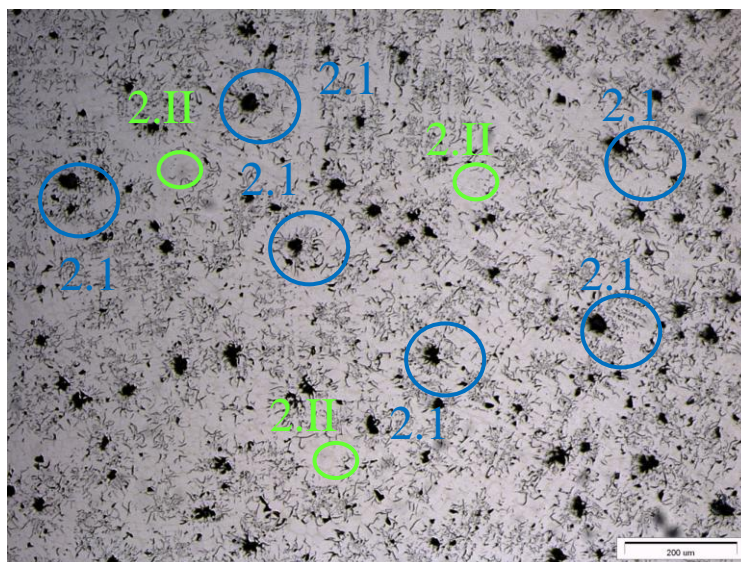
Hodnocení perlitu nebo cementitu

Ve struktuře zkoumaného vzorku se vyskytuje pouze perlit typu P1. Možné typy perlitu jsou uvedeny v kapitole 99. Obsah perlitu P1 96, obsah feritu Fe 4. Dispersita lamelárního perlitu porovnávána při tisícinásobném zvětšení odpovídá etalonu označeného Pd 1,6. Eutektický cementit se ve struktuře nevyskytuje, proto není dále hodnocen.

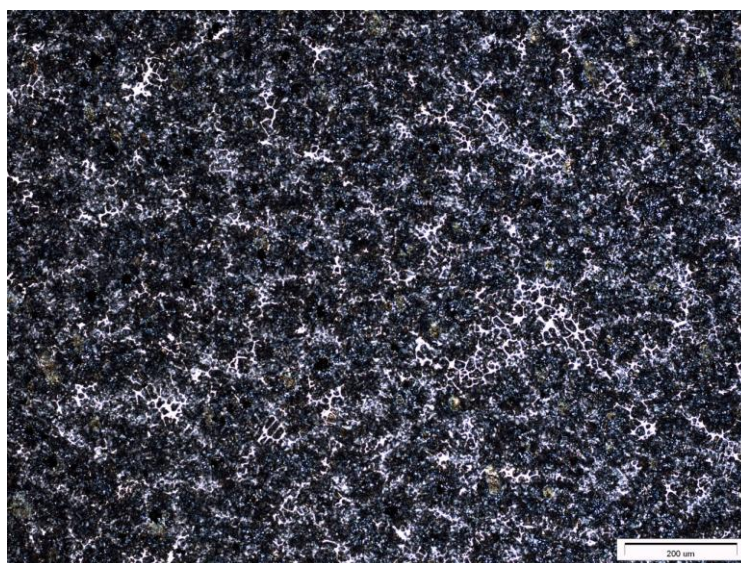
Hodnocení fosfidového eutektika

Fosfidové eutektikum je ve struktuře obsaženo v tak malém množství, že není třeba ho dále hodnotit.

5.1.4 Vzorek č. 2 - Šedá litina s matricí perlitickou III.



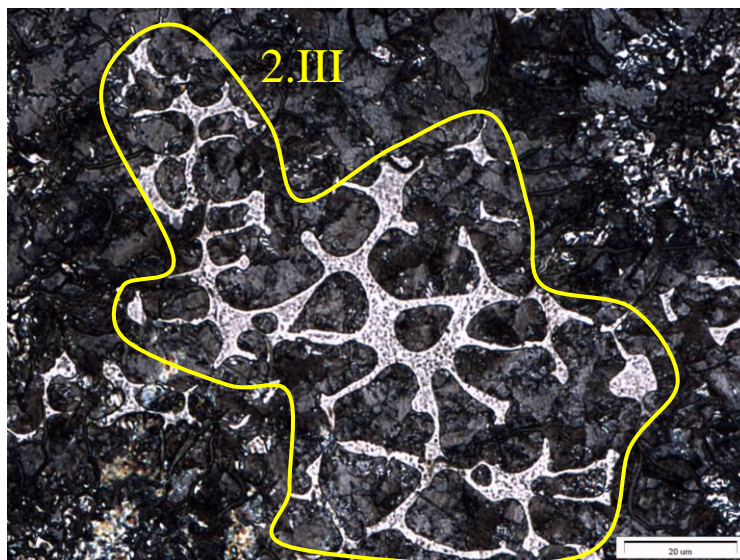
Obrázek 34: Růžicové uspořádání litiny s lupínkovým grafitem, nelept., 100 x



Obrázek 35: Rozložení steaditu v šedé litině, lept. Nital, zv. 100 x

Vzorek č. 2 pochází z pístitního kroužku. Jedná se o litinu s lupínkovým grafitem, který má tendenci růžicového uspořádání znázorněné na pozici 2.I. Mezi shluky grafitu se nachází místa bez grafitu (pozice 2.II), která způsobují nehomogenitu. Struktura matrice je perlitická. Na obrázku 35 je vidět nesouvislé síťový steaditu. Detail steaditu je na obrázku 36 pozice 2.III. Steadit je ve struktuře obecně považován za nežádoucí, ovšem v tomto

případě se ve struktuře vyskytuje cíleně. U pístních kroužků napomáhá menšímu otěru a tak i opotřebení. Dále zlepšuje tepelnou odolnost kroužku.



Obrázek 36: Detail steaditu, lept. Nital, zv. 1000 x

5.1.5 Základní strukturní fáze hodnocené podle norem u vzorku č. 2

Norma ČSN 02 7003 je norma určená k posuzování strukturních složek pístních kroužků litých ze speciální šedé litiny.

Vzorek z pístních kroužků se podle normy odebírá v příčném řezu kroužku, v místě, které je vzdálené od místa vtoku (zámku) o 90°. Rozhodující pro způsobilost struktury pístních kroužků je první třetina průřezu od pracovní plochy. Výsledky jsou průměrem nejméně pěti pozorování na různých místech.

Hodnocení grafitu podle ČSN 02 7003

U grafitu se určuje druh a způsob vyloučení při stonásobném zvětšení. Dále se hodnotí velikost a množství vyloučeného grafitu. *Velikost vyloučeného grafitu*

Pro posouzení se využívá etalonová řady pro velikost grafitu popsána v kapitole 5.1.2.

Množství vyloučeného grafitu

Množství se uvádí bohatostí grafitizace. Při běžném pozorování jsou pro hodnocení na výběr tři skupiny označené římskými číslicemi I až III (I.- bohatá nad 20 %, II. - přiměřená od 10 do 20 % a III. - chudá pod 10 %).

Hodnocení feritu

Ferit se hodnotí na naleptaném vzorku. Stanovuje se množství a způsob vyloučení vyloučeného feritu podle tabulky. Hodnocení se provádí při dvousetnásobném zvětšení.

Hodnocení cementitu

Cementit se hodnotí podle normy ČSN 42 0461, která je uvedena v kapitole 5.1.1.

Hodnocení perlitu

U perlitu se hodnotí tvar a hustota lamel na naleptaném vzorku podle tabulky. Hustota lamel se hodnotí podle normy ČSN 42 0461

Hodnocení steaditu

Steadit se hodnotí na naleptaném vzorku. Leptání se provádí tak dlouho, dokud perlit úplně neztmavne. Rozložení steaditu se provádí při stonásobném zvětšení podle tabulky. Plocha a množství steaditu se se hodnotí podle normy ČSN 42 0461.[11]

5.1.6 Normativní hodnocení vzorku č.2

Hodnocení grafitu

Podle etalonu přiloženého k normě se jedná o mírně přechlazený lupínkový grafit pavoučkovitého tvaru, který je označován G 23. Velikost vyloučeného grafitu odpovídá třídě 7, která obsahuje grafit o velikosti 15 až 30 μm . Množství vyloučeného grafitu bylo posouzeno jako přiměřené.

Hodnocení perlitu nebo cementitu

Poměrné množství a způsob vyloučení feritu odpovídá označení F 005. Eutektický cementit se ve struktuře nevyskytuje. Ve struktuře se vyskytuje lamelární perlit, u kterého není možné ze získaných snímků dále určit disperzitu perlitu. Pro přesnější hodnocení perlitu světelná mikroskopie nestačí a bylo by zapotřebí vzorek zkoumat na elektronovém mikroskopu.

Hodnocení steaditu

Rozložení steaditu odpovídá označení S 03, jenž je nazýváno souvislé síťovi. Plocha a množství steaditu odpovídají označení Fr 2.

Závěr

Výroba a význam slitin železa, tedy i litin v posledních desetiletích klesá. Litiny jsou ovšem velmi důležitou složkou kovových materiálů a tak se předpokládá jejich použití i v budoucnu. Trendem vývoje se ovšem stávají jakostní druhy litin, mezi které patří například ADI litiny, které svými vlastnostmi a výrobní cenou překonávají ostatní konkurenční materiály. Uplatňují se i nové technologie a zvětšuje se spotřeba kvalitních surovin, modifikátorů a očkovaadel.

Cílem této bakalářské práce bylo na základě vlastního vyhodnocení sady vzorků vytvořit prezentační materiál základních a nepoužívanějších typů litin využívaných v dopravní technice, který by napomohl studentům dopravní fakulty Jana Pernera zdokonalit své znalosti a orientaci v této problematice.

V teoretické části jsou vypsány základní všeobecné vlastnosti litin, vznik struktury, tvorba grafitu a základní dělení grafitických litin. Dále jsou zde jednotlivé druhy litin podrobněji rozebírány se zaměřením na činitele, které mají zásadní vliv na tvorbu struktury grafitu i matrice a tím i na mechanické vlastnosti jednotlivých druhů litin. U každého typu litiny je uveden příklad aplikace především v dopravní technice.

V praktické části je uveden postup přípravy jednotlivých vzorků, podle kterého je možno dosáhnout uspokojujících výsledků při detailnějším zkoumání světelnou mikroskopií. Je zde znázorněno 12 vzorků, které byly vybrány tak, aby v nich byly obsaženy téměř všechny základní druhy litin. U každého vzorku jsou vyznačeny jednotlivé strukturní složky, z nichž se struktura daného typu litiny skládá se zdůrazněním složek majících negativní vliv na mechanické vlastnosti. Většina vzorků vybraných pro tuto práci prezentuje určitou degradaci během výroby odlitku nebo provozní poškození. Jednotlivé vzorky tak vytvářejí možnost detailního studia a výuky procesu jednotlivých poškození.

V práci byla využívána pouze světelná mikroskopie, která byla svými vlastnostmi v daném případě dostačující, ovšem detailnější zkoumání poškození by bylo nutné provést například na elektronovém mikroskopu s větším rozlišením a za pomoci obrazové analýzy.

Příprava jednotlivých vzorků spočívala v odebrání vzorku potřebné velikosti ze součásti, jeho zalití do dentacrylu pro lepší manipulovatelnost, postupné broušení na rotační brusce o různých zrnitostech a leštění na leštícím kotouči potaženým vhodnou tkaninou na které byla nanesena brusná pasta. Dále byl vzorek označen a zalakován z důvodu ochrany vzorku proti korozi. Z každého vzorku byly pomocí světelného mikroskopu napojeného na počítač s vhodným softwarem pořízeny obrázky mikrostruktury.

Hotové vzorky byly pro lepší přehlednost a manipulovatelnost uloženy do vzorkovnice. Ke každému vzorku ve vzorkovnici byl ještě vyroben prezentační materiál. Pro přehlednost a názornost při výuce byl k této práci vyhotoven plakát obsahující základní rozdělení litin doplněné o názorné fotografie.

V závěru praktické části jsou uvedeny dva příklady hodnocení grafických litin podle daných norem.

Použité literatura

- [1] SKOČOVSKÝ, Petr; PODRÁBSKÝ, Tomáš . *Grafitické liatiny*. 1.vydanie. Žilina : Edis, 2005. 168 s. ISBN 80-8070-390-6.
- [2] SKOČOVSKÝ, Petr , et al. *Náuka o materiáli pre odbory strojnícke*. 1.vydanie. Žilina : Edis, 2001. 379 s. ISBN 80-7100-831-1.
- [3] PTÁČEK, Luděk , et al. *Nauka o materiálu II.* Brno : Akademické nakladatelství CERM.s.r.o., 1999. 349 s. ISBN 80-7204-130-4.
- [4] SKOČOVSKÝ, P.; ŠIMAN, I. *Štruktúrna analýza liatin*. 1.vydanie. Bratislava : Alfa, 1989. 249 s. ISBN 80-05-00092-8.
- [5] KARSAYA, I. *Tvárna liatina i výroba*. Trenčín : Fompex, s.r.o., 1996. 198 s. ISBN 80-967498-8-9.
- [6] OTÁHAL, Vlastislav. *Šedá litina*. Brno : [s.n.], 2006. 311 s.
- [7] OTÁHAL, Vlastislav. *Tvárná litina*. Brno : [s.n.], 2006. 562 s.
- [8] KOUDELKA, Tomáš . *Aplikace žárového nástříku na spalovací motor automobilu*. Pardubice, 2009. 58 s. Diplomová práce. Univerzita pardubice.
- [9] KALOUSEK, Lukáš. *Strukturální změny ve vlivu na pevnost odlitků z tvárné litiny*. Pardubice, 2010. 62 s. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.
- [10] *Ústav materiálových věd a inženýrství* [online]. 2006 [cit. 2011-11-06]. Struktura a vlastnosti grafitických litin. Dostupné z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/>>.
- [11] ČSN 02 7003. *Strukturální složky pístních kroužků*. Praha : Český normalizační institut, Únor 1960. 82 s.
- [12] ČSN 42 0461. *Hodnocení metalografické struktury litin*. Praha : Český normalizační institut, 1978. 34 s.
- [13] ČSN EN ISO 945. *Určení mikrostruktury grafitu*. Praha : Český normalizační institut, 1996. 16 s.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Řez kupolovou pecí [6].....	11
Obrázek 2: Rovnovážný diagram Fe-C [1]	14
Obrázek 3:Schéma růstu různých tvarů grafitu [1].	15
Obrázek 4: Etalon základních tvarů grafitu podle normy[1].....	15
Obrázek 5: Příklad ARA diagramu [3]	16
Obrázek 6: Zkladní druhy grafitických litin [10]	18
Obrázek 7: Řez ternární soustavou [1].....	20
Obrázek 8: Etalony dělení červíkovitého grafitu [1].....	35
Obrázek 9: Vývoj ročního objemu výroby litin s kuličkovým grafitem a ADI litin [1]	39
Obrázek 10: Mikrostruktura bílé litiny, lept. Nital, zv. 64 x	41
Obrázek 11: Trhlina v mikrostruktuře bílé litiny, lept. Nital, zv. 100 x.....	42
Obrázek 12: Mikrostruktura litiny s kuličkovým grafitem, lept Nital, zv. 250 x.....	43
Obrázek 13: Licí vada, lept. Nital, zv. 250 x.....	43
Obrázek 14: Dendritické uspořádání základní matrice šedé litiny, lept. Nital, zv. 32 x	44
Obrázek 15: Perlitická matrice litiny s lupínkovým grafitem, lept. Nital, zv. 500 x.....	44
Obrázek 16: Litina s kuličkovým grafitem, lept. Nital, zv. 100 x.....	45
Obrázek 17: Detail kuličkového grafitu, lept. Nital, zv. 1000 x	45
Obrázek 18: Růžicové uspořádání šedé litiny, lept. Nital, zv. 100 x	46
Obrázek 19: Tepelně ovlivněná vrstva, lept. Nital, zv. 100 x	46
Obrázek 20: litina s kuličkovým grafitem, lept. Nital, zv. 100 x	47
Obrázek 21: Detail grafitu, neleptáno, zv. 500 x.....	48
Obrázek 22: Litina s červíkovitým grafitem, nelept, zv. 100 x	49
Obrázek 23: Litina s červíkovitým grafitem, lept. Nital, zv. 250 x.....	49
Obrázek 24: Litina s lupínkovým grafitem, nelept., zv. 100 x.....	50
Obrázek 25:Šedá litina s plně perlitickou matricí, lept. Nital, zv. 1000 x.....	50
Obrázek 26: Litina s kuličkovým grafitem, lept. Nital, zv. 250 x.....	51
Obrázek 27: Detail perlitu u litiny s kuličkovitým grafitem, lept. Nital, zv. 500 x.....	51
Obrázek 28: Litina s kuličkovým grafitem, lept. Nital, zv 100 x.....	52
Obrázek 29: Kuličkový grafit a ostrůvky perlitu, lept. Nital, zv. 500 x	52
Obrázek 30: Dendritické uspořádání šedé litiny, lept. Nital, zv. 32 x.....	53
Obrázek 31: Lupínkový grafit, lept. Nital, 100 x	53
Obrázek 32: Rozložení lupínkového grafitu, nelept., zv 100 x.....	54
Obrázek 33: Povrchová vrstva, lept. Nital, zv. 250 x.....	54
Obrázek 34: Růžicové uspořádání litiny s lupínkovým grafitem, nelept., 100 x	58
Obrázek 35: Rozložení steaditu v šedé litině, lept. Nital, zv. 100 x.....	58
Obrázek 36: Detail steaditu, lept. Nital, zv. 1000 x	59

Obrázky, u kterých není uveden zdroj, jsou zhotoveny autorem.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Doporučené složení litiny s kuličkovým grafitem [1].....	25
Tabulka 2: Objem výroby odlitků v roce 2003 v tis.tun [1].....	39
Tabulka 3: Základní strukturální fáze hodnocené podle norem [12]	57