



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## LEGOVANÉ LITINY A JEJICH UPLATNĚNÍ V PRAXI

ALLOYED CAST IRONS AND THEIR APPLICATION IN PRACTICE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Mokrý

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Václav Kaňa, Ph.D.

BRNO 2017

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Jan Mokrý**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Václav Kaňa, Ph.D.**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Legované litiny a jejich uplatnění v praxi

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Legované litiny jsou oproti legovaným ocelím poněkud méně známou a někdy trochu opomíjenou skupinou materiálů. Cílem práce tedy je na základě studia literatury shrnout jejich hlavní druhy, výhody, nevýhody a použití v praxi.

### Cíle bakalářské práce:

Literární rešerše shrnující druhy legovaných litin, jejich rozdělení, vlastnosti a použití v praxi.

### Seznam doporučené literatury:

ROUČKA, J. Metalurgie litin. Brno: PC-DIR REAL, 1998. 166 s. ISBN 80-214-1263-1.

ŠENBERGER, J., aj. Litiny pro speciální použití vyráběné ve slévárnách oceli. In: Sborník přednášek XVIII. celostátní konference "Výroba a vlastnosti oceli na odlitky a litiny s kuličkovým grafitem". Svratka, 2008.

ŠENBERGER, J., aj. Metalurgie oceli na odlitky. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Nakladatelství VUTIAM, 2008. 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

MOKRÝ Jan: Legované litiny a jejich uplatnění v praxi.

---

Práce pojednává o legovaných litinách, které se podstatně lépe odlévají než legované oceli hlavně díky nižší teplotě tavení. Píše se zde o vlivu jednotlivých prvků na vlastnosti litin, které tuhnou stabilně nebo metastabilně a také o jejich následném vhodném použití. Jelikož jsou legované litiny méně známé, mohou se touto prací obohatit studenti a pracovníci ve strojírenství, neboť je zde kladen důraz na vysoký a zatím ne zcela využitý potenciál legovaných litin. Tato práce shrnuje jejich hlavní druhy, výhody, nevýhody a použití v praxi.

Klíčová slova: Legované litiny, Pyroferal, Fersilit, SiMo, Ni-Hard, Ni-Resist, legování borem

## **ABSTRACT**

MOKRÝ Jan: Alloyed cast irons and their application in practice.

---

This thesis is dealing with alloyed cast irons. Cast irons are in principle casting better than the alloyed steels mainly due to their lower melting temperature. The thesis describes the influence of individual elements on the properties of cast iron, their ability to solidify stably or metastably and also about their subsequent suitable use. Since the alloy cast iron is less well known, therefore this thesis may be useful for students and engineers, especially because of the high and untapped potential of alloyed cast irons. This thesis, based on study of literature, summarizes their main types, advantages, disadvantages and the use in practice.

Keywords: Alloyed cast iron, Pyroferal, Fersilit, SiMo, Ni-Hard, Ni-Resist, alloying by boron

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MOKRÝ, Jan. *Legované litiny a jejich uplatnění v praxi*. Brno, 2017, 49 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, odbor Slévárenství. Vedoucí práce Ing. Václav Kaňa, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Václavu Kaňovi Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Děkuji také moc přátelům za psychickou podporu a rodině, že při mně stála a podporovala mne nejen finančně.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
ÚVOD .....	14
1 ROZDĚLENÍ LEGOVANÝCH LITIN .....	10
2 NÍZKOLEGOVANÉ LITINY .....	11
2.1 Legované litiny s lupínkovým grafitem .....	13
2.1.1 Legování pro zvýšení mechanických vlastností litin .....	13
2.1.2 Použití nízkolegovaných LLG s dobrými mechanickými vlastnostmi .....	17
2.1.3 Zlepšení vlastností za vyšších teplot .....	17
2.1.4 Zvýšení odolnosti proti tepelné únavě a korozi .....	18
2.2 Litiny s kuličkovým grafitem .....	19
2.2.1 Izotermicky zušlechťená litina.....	19
2.2.2 Legování LKG křemíkem pro zlepšení vlastností za zvýšených teplot.....	21
2.2.3 Litiny typu SiMo .....	21
3 STŘEDNĚ A VYSOKOLEGOVANÉ LITINY .....	23
3.1 Litiny legované křemíkem.....	23
3.1.1 Fersilit .....	24
3.1.2 Použití fersilitu .....	24
3.2 Litiny legované hliníkem.....	25
3.2.1 Pyroferal .....	26
3.2.2 Použití vysokolegovaných hliníkových litin.....	26
3.3 Litiny legované chromem.....	27
3.3.1 Rozdělení litin legovaných chromem.....	28
3.3.2 Tepelné zpracování litin legovaných chromem .....	29
3.3.3 Zlepšení vlastností pro otěruvzdorné bílé litiny.....	30
3.3.5 Použití chromových litin .....	32
3.4 Nikl-chromové litiny .....	32
3.4.1 Použití nikl-chromových litin .....	34
3.5 Litiny legované niklem.....	34
3.5.1 Použití niklových litin .....	39
4 ZÁVĚR .....	41
Seznam použitých zdrojů	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	



## ÚVOD

Začátek průmyslové výroby litin se datuje dříve než průmyslová výroba odlitků z oceli. Již v roce 1794 byla patentována kuplovna a až v roce 1855 Bessemerův konvertor. Litinové výrobky se odlévaly přímo z dřevouhelných vysokých pecí ještě před zavedením pudlování. V roce 2006 činila celosvětová výroba litin cca 6 % z výroby oceli. Celosvětová výroba litin tehdy dosahovala ročně přibližně 60 milionů tun, oceli přes 1100 mil. tun.

Nejčastěji vyráběnou slitinou železa na odlitky jsou však stále litiny [4]. Odlitková výroba ze slitin na bázi železa ve Spolkové republice Německo a České republice je uvedena v tabulce 1. Uvádí se zde výroba v tisících tun a v procentech z celkové výroby ze slitin na bázi železa v roce 2015 [6]. Z téměř 70 mil. tun světové litinové produkce za rok připadají skoro dvě třetiny na litinu s lupínkovým grafitem, která je převážně perlitická a nebo perliticko-feritická. Feritická základní kovová hmota má význam téměř výlučně jen u litiny s kuličkovým grafitem, kde připadá převážný podíl produkce cca 25 mil.t/rok na feritické druhy. Spolehlivé statistiky neexistují [32].

Tab. 1 Produkce litinových a ocelových odlitků v SRN a ČR v roce 2015 [6].

Vyráběný materiál	SRN		ČR	
	[tis.t]	[%]	[tis.t]	[%]
Odlitky z LLG	2337,6	57,22	170	58,82
Odlitky z LKG	1520,6	37,22	55	19,03
Odlitky z temperované litiny	30,4	0,74	4	1,38
Ocelové odlitky	196,8	4,82	60	20,76
Celkem	4085,4	100,00	289	100,00

Výroba legovaných litin je méně rozšířena než výroba legovaných ocelí [4]. Přitom legované litiny obecně, se podstatně lépe odlévají než legované oceli. Výhodou je nižší teplota tavení, takže nezpůsobují, tak velké namáhání forem a nejsou náchylné ke vzniku povrchových vad odlitku tzv. zapečenin. Dále legované litiny nabízí nižší smrštění, takže se nemusí tolik nálitkovat, a tím pádem se nemusí tavit tolik kovu, což je značná úspora nejen za energie. Vyzdívka pecí a pánví vydrží déle než při tavně oceli. Pro výrobu forem se mohou klidně používat i levnější kyselá ostřiva ( $\text{SiO}_2$ ) a nevznikají tak často vady jako např. připečeniny. Odlitky z litiny mohou být složitější než z oceli a mohou mít menší tloušťku stěn, jelikož litina má lepší zabíhavost [44].

Pro výrobu legovaných litin, o nichž je tato práce je potřeba hlubších metalurgických znalostí a vyšší pracovní úroveň organizace, zvláště třídit důsledně vratný materiál. Je to i důvod proč se dosahuje při výrobě legovaných litin vyššího zisku než u běžných značek litin i ocelí.

U legovaných litin je možné pozorovat některé zvláštní vlastnosti. Jedná se zejména o korozivzdornost, otěruvzdornost, žáruvzdornost nízký součinitel tepelné roztažnosti, nemagnetičnost aj.

Legující prvky mají pomoci zlepšovat mechanické vlastnosti, tj. získání optimální kombinace pevnosti a houževnatosti nebo k dosažení výhodnějších chemických, fyzikálních nebo technologických vlastností [4].

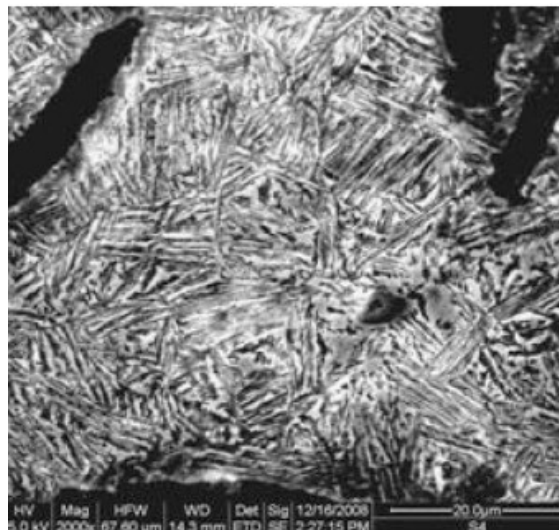
V databázi MatWeb je v kategorii legovaných litin k nalezení 93 známých slitin, které se můžou objednat u uvedeného dodavatele. U každé z nich jsou uvedeny chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti. Některé jsou popsány podrobněji, co se týče použití [33].

# 1 ROZDĚLENÍ LEGOVANÝCH LITIN

Litiny s lupínkovým grafitem (dále LLG) a litiny s kuličkovým grafitem (dále LKG) se legují za účelem:

- a) Ovlivnění mechanicko-technologických vlastností jako tvrdost, pevnost, odolnost proti opotřebení, dobrá obrobitelnost při zachování pevnosti, stejnoměrnost struktury atp. za použití přísad Cr, Ni, Mo, Cu. Grafitické litiny se často legují za účelem zvýšení prokalitelnosti např. ADI litiny (obr. 1). Výše zmíněné legování je omezeno na koncentraci, při které vznikají karbidy.
- b) Ovlivnění vlastností za zvýšených teplot jako mez pevnosti při tečení, objemová stálost, žárovzdornost, strukturní odolnost vůči změnám teploty přísadou prvků jako Al, Si, Ni, Cr, Mo, Sn.
- c) Zvýšení korozivzdornosti v zásaditém, neutrálním nebo kyselém prostředí přísadou Ni, Cr, Si, Cu.

Legování karbidických litin se provádí za účelem zvýšení korozivzdornosti, odolnosti proti opotřebení a získání speciálních vlastností přísadou prvků jako Cr, Ni, Mn, Mo, V [4].



Obr.1 Typická mikrostruktura izotermicky zušlechtnuté LLG [9]

Dle různých hledisek se litiny dělí:

- Podle množství legujících prvků na:
  - nelegované a nízkolegované litiny;
  - vysokolegované litiny.
- Podle hlavního legujícího prvku na:
  - litiny legované křemíkem (korozivzdorné, žáruvzdorné);
  - litiny legované hliníkem (žáruvzdorné);
  - litiny legované niklem (korozivzdorné, otěruvzdorné, žáruvzdorné);
  - litiny legované chromem (otěruvzdorné, žárovevné, korozivzdorné).
- Podle hlavního účelu použití na:
  - žáropevné, žáruvzdorné;
  - korozivzdorné;
  - otěruvzdorné [4].

V mé práci jsou litiny rozděleny na nízkolegované a vysokolegované, mezi které jsou zahrnuty i středně legované. Dále jsou nízkolegované litiny rozděleny podle účelu použití a vysokolegované podle hlavního legujícího prvku.

## 2 NÍZKOLEGOVANÉ LITINY

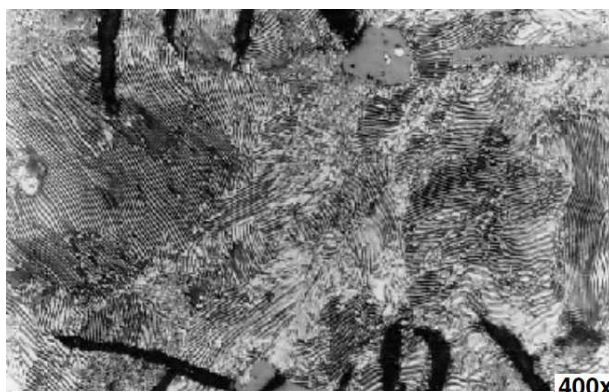
Cílem legování litin je získání takových vlastností, které u nelegovaných litin vůbec nejde dosáhnout případně jen obtížně. Do roku 1999 nízkolegované litiny nebyly vůbec vedeny dle ČSN. Přitom důležitost nízkolegovaných litin je významná [2]. Nyní jsou k dostání české verze evropské normy např. ČSN EN 1561, která stanovuje vlastnosti nelegovaných a nízkolegovaných litin s lupínkovým grafitem používaných na odlitky odlévané do pískových forem nebo do forem se srovnatelnou tepelnou vodivostí [11]. V dubnu 2002 vyšla norma ČSN EN 12513 zaměřená na oteřuvzdorné litiny, kde jsou uvedeny i nízkolegované litiny [34]. Pro české výrobce turbodmychadel a výfukových potrubí se prosinec 2012 stal významným, jelikož se vydala norma ČSN EN 16124, kde figuruje SiMo litina [35].

Smyslem legování je zejména:

- zajistit v celém průřezu odlitků perlitickou strukturu (obr. 2)
- zvýšení mechanických vlastností, tj. odolnosti proti oěru, tvrdosti, pevnosti
- zdokonalení vlastností při zvýšených teplotách - zejména stabilizace mechanických vlastností za vyšších teplot, zvýšení stability struktury, zvýšení odolnosti proti oxidaci a odolnosti proti tepelné únavě
- zlepšení odolnosti vůči korozi

Vedle příznivých účinků mohou mít legury i některé nepříznivé účinky a to je při legování nutné respektovat. Je důležité pamatovat i na ekonomickou stránku věci. Když je možnost výběru, tak je nutné zvolit co nejlevnější legury a dávkovat je v množství technicky nutném.

Leguje se hlavně chromem, vanadem, mědí, molybdenem, niklem a cínem, méně často se rovněž leguje hliníkem, antimonem, titanem příp. jinými prvky. V některých směrech jsou možnosti legování LLG a LKG odlišné. Přehled prvků, jejich účel a dávkování jsou v tabulce 2 [2].



Obr. 2 Perlitická LLG [11]

Tab. 2 Souhrn vlivů legujících prvků na vlastnosti litiny s lupínkovým grafitem [11].

Prvek	Obsah %	Vliv na strukturu	Vliv na vlastnosti	Poznámky
Hliník	do 2	Snižuje silně bílé tuhnutí 1 % Al odpovídá 0,8 % Si, působí silně feritizačně	Zvyšuje odolnost proti okoujení, zvyšuje pevnost u struktury bez vměstků	Nebezpečí vzniku struskoplynových vad a bodlin
Chrom	0,2 až 1,0	Podporuje bílé tuhnutí, 1 % Cr odpovídá snížení Si o 1%, stabilizuje perlit	Zvyšuje pevnost, tvrdost, odolnost proti růstu a opalu, zvyšuje pevnost za vyšších teplot	Zhoršená obrobitelnost v důsledku volných karbidů, a zákalek, sklon k mikroporozitě
Měď	0,4 až 2,0	Snižuje sklon k zákalkám: 1 % Cu odpovídá 0,3 % Si, potlačuje tvorbu feritu	Zvyšuje pevnost, tvrdost a odolnost proti korozi, snižuje citlivost různých tlouštěk stěn, zvyšuje kalitelnost	

Mangan	0,3 až 1,3	Váže síru, mírně perlitotvorný	Lehce zvyšuje pevnost a tvrdost, zvyšuje kalitelnost	Nebezpečí struskových vad při nevyváženém obsahu křemíku
Molybden	0,2 až 1,0	Při bílém tuhnutí neutrální, může působit mírně perlitizačně nebo feritizačně, při vysokém obsahu podporuje tvorbu ausferitu a martenzitu	Zvyšuje pevnost za normálních i vysokých teplot a odolnost proti změnám teploty, zvyšuje kalitelnost	Při vysokém obsahu sklon k tvorbě bainitické struktury v tenkých průřezech
Nikl	0,5 až 3,0	Mírně snižuje sklon k bílému tuhnutí, 1 % Ni odpovídá 0,25 % Si, mírně perlitizačně, podporuje tvorbu bainitu a martenzitu	Zvyšuje pevnost, tvrdost a houževnatost, používá se ve většině kombinací s Cr a Mo zvyšuje korozivzdornost v alkáliích, zvyšuje kalitelnost	Při vysokém obsahu sklon k tvorbě bainitické struktury v tenkých průřezech
Křemík	1,0 až 6,0	Silně snižuje bílé tuhnutí, působí feritizačně	U stejné struktury zvyšuje pevnost, při vysokém obsahu působí silně žáruvzdorně	Při vysokém obsahu zvyšuje silně křehkost, pokles tepelné vodivosti
Dusík	do 0,016	Působí perlitizačně	Zvyšuje silně pevnost a tvrdost	Při překročení rozpustnosti vytváří bubliny
Titan	do 0,1	Snižuje sklon k bílému tuhnutí, působí feritizačně	Zvyšuje odolnost proti opotřebení přítomností TiC	Nebezpečí struskových vad a bodlin
Vanad	0,1 až 0,6	Silně podporuje bílé tuhnutí 1 % V odpovídá snížení o 2 % Si, vylučuje karbidy vanadu	Zvyšuje pevnost, tvrdost a silně odolnost proti opotřebení přítomností V-karbidů	Zhoršuje opracovatelnost přítomností karbidů vanadu naproti tomu tyto karbidy zvyšují životnost nástrojů
Cín	do 0,3	Silně potlačuje tvorbu feritu i vylučování D grafitu	Zvyšuje tvrdost a odolnost proti opotřebení	Při překročení nezbytně nutného obsahu k tvorbě perlitické struktury, vede k silnému zkřehnutí
Prvek	Obsah %	Vliv na strukturu	Vliv na vlastnosti	Poznámky

## 2.1 Legované litiny s lupínkovým grafitem

### 2.1.1 Legování pro zvýšení mechanických vlastností litin

Mechanické vlastnosti litin se odvíjí především od obsahu perlitu ve struktuře, dispersity perlitu a na hrubozrnnosti struktury.

U nelegovaných litin lze nejnázne zvýšit podíl perlitu snížením stupně eutektičnosti (déle  $S_E$ ). V oblasti s nízkým  $S_E$  dochází ke značnému rozptylu dosahovaných mechanických vlastností, nebezpečí zákalky (obr. 3) se zvětšuje a stahování litin se zvyšuje, proto je tato možnost značně nespolehlivá.

Dispersita a množství perlitu ovlivňuje vlastnosti litiny nejvýznamněji. Nejlepší mechanické vlastnosti dávají litiny s hustým jemnozrnným perlitem. Obsah perlitu a jeho dispersita je závislá v první řadě na rychlosti ochlazování při perlitické transformaci. Hustší struktura a podíl perlitu je tím větší, čím vyšší je rychlost ochlazování. Tuto tendenci legování podporuje.

Další cestou ke zvýšení mechanických vlastností je zjemnění struktury. Zvýšením počtu eutektických buněk se homogenita struktury zvyšuje, zvyšuje se tvrdost, pevnost a dynamické vlastnosti litin.

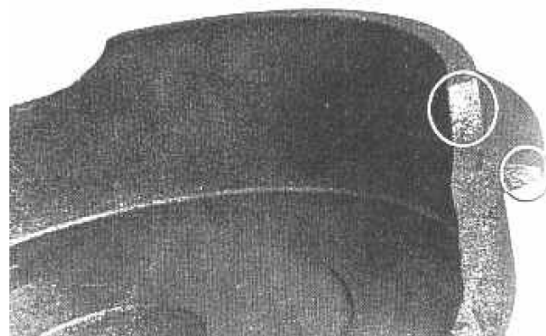
Mechanické vlastnosti strukturních složek legury obvykle zvyšují. Vanad a molybden mají silný vliv. Účinek legur na mechanické vlastnosti spočívá ve zvýšení dispersity struktury – ve zpevnění feritu a zjemnění zrn. Atomy legur v mřížce feritu nahrazují atomy železa a vzhledem k jejich rozdílné velikosti deformují mřížku feritu a tím dochází ke zpevnění [2].

Doporučuje se 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 [36].

Cílem ovlivňování struktury legováním je obvykle homogenizace struktury, zejména zajištění perlitické struktury v celém průřezu odlitku a zvýšení mechanických vlastností.

Většina z používaných legur mají za úkol stabilizovat ve struktuře perlit. Stabilizační účinek se jednak projevuje při ochlazování litiny z oblasti austenitu, kdy legury při eutektoidní transformaci podporují vznik perlitu, jednak při zvýšených teplotách zabraňují rozpadu perlitu. U jednotlivých prvků je mechanismus tohoto působení rozdílný. Chrom, molybden a vanad ovlivňují transformační teploty a velikost přechlazení při transformaci austenitu na ferit. Měď, cín a některé další prvky snižují kinetiku transformace austenitu zpomalením difusních pochodů na mezifázovém rozhraní.

U LLG se často používá kombinace prvků karbidotvorných a grafitotvorných. Prvky jako vanad a chrom zvyšují sklon k metastabilnímu tunutí a jsou tedy silně karbidotvorné, jejich obsah proto musí být buď velmi omezen nebo grafitotvornými prvky kompenzován, hlavně niklem a mědí. Pro zabránění vzniku zákalky (obr. 4) by účinek



Obr. 3 Zákalky v celém průřezu odlitku z litiny s lupínkovým grafitem [12]



Obr. 4 Příklady zlomených zkušebních vzorků (vlevo: kompletní zákalka, vpravo: téměř kompletní šedé ztuhnutí) [13]

běžného očkovaní nebyl dostatečný. Molybden má tendenci tvořit karbidy, ale do obsahu asi 0,5 % Mo se považuje za prvek neutrální.

Počet eutektických buněk zvyšují karbidotvorné prvky, což má za následek zvýšení mechanických vlastností, na druhé straně se však sklon ke vzniku porezity zvyšuje. Očkovaním litiny se nebezpečí pórovitosti odlitků dále zvyšuje. Doporučuje se odlévat do co nejtvrděších forem, které omezují deformace formy při grafitické expanzi a taky snížit obsah fosforu pod 0,08 % [2].

- Stabilizace perlitu se vyžaduje v celém průřezu odlitku, obvykle z důvodu požadavku na ořezuvzdornost, odolnosti proti korozi nebo zajištění stejnoměrnosti mechanických vlastností. Díky přítomnému grafitu, který působí jako mazadlo má litina s lupínkovým grafitem dobrou odolnost proti otěru. Základní kovová hmota musí být perlitická. Ferit má malou tvrdost a tak je jeho přítomnost nežádoucí. Ferit se deformuje a dochází k lokálnímu zadírání. Příčinou selektivní koroze je rovněž ferit. Čistě perlitická struktura se vyžaduje pro podmínky abrazivního namáhání, přičemž odolnost proti opotřebení je tím větší, čím jemnější je perlit a čím větší je jeho tvrdost.

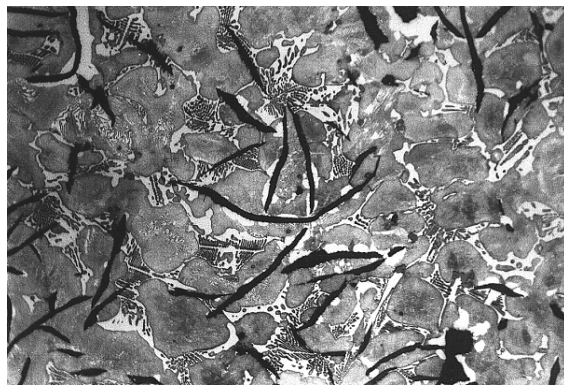
U silnostěnných odlitků z nelegovaných litin bývá zejména problémem zajistit perlitickou strukturu v celém průřezu stěn. V tomto případě není vhodným řešením snižování stupně eutektičnosti, neboť se zmenšuje množství volného grafitu a v tomto důsledku se zvětšuje otěr.

Pokud se vyžaduje u litiny pouze zamezení vzniku feritu a získání perlitické struktury s tvrdostí kolem 200 až 220 HB, je často používaným a nejjednodušším způsobem legování cínem v množství od 0,1 až max. 0,15 % Sn. Antimon má podobný účinek jako cín a to už v množství kolem 0,03 – 0,06 % Sb. Kladný účinek obou prvků se projevuje výhradně potud, pokud stoupá množství perlitu ve struktuře. Mechanické vlastnosti litiny se však při překročení optimálního množství těchto legur, zejména při legování antimonem, divoce zhoršují. Z této příčiny se antimon používá jen zcela mimořádně. Je nutno brát v úvahu jejich obsah ve vratném materiálu, jelikož cín a antimon nemají propal.

Podobný účinek jako 0,1 % Sn má legování 1 % Cu. Přínosem mědi je, že rovněž zmírňuje sklon k zákalce a zvyšuje se pevnost a tvrdost perlitu. K legování se používá výhradně čistá měď. Je důležité se vyhnout používání mědi, v níž je pravděpodobný výskyt obsahu olova [2]. Olovo, pokud není v těkavém stavu má tendenci usazovat se na dně taveniny, penetrovat do žáruvzdorných materiálů, hlavně v místech spojů a předcházejících oprav a může způsobit průnik taveniny až havárii pecí a pánví. Jeho vliv způsobuje prudký pokles všech mechanických hodnot litiny, již v nepatrném množství cca 0,002% Pb působí špatně na vlastnosti litiny, jelikož způsobuje vysokou destrukci grafitu. Vliv olova je nejnebezpečnější v silnostěnných odlitcích a jeho obsah je omezen pod 0,0005% [11]. Na stabilizaci perlitu má stejný účinek jako měď i nikl, je však dražší, tím pádem se pro tento účel prakticky nepoužívá.

Pro dosažení jemné perlitické struktury u velkých odlitků, např. loží obráběcích strojů je potřeba legovat kombinací kolem 0,3 % Cr a do 1,5 % Cu. Molybden v obsahu do 0,4 % dále zvyšuje hustotu a stabilitu perlitu. Touto kombinací legur se zvýší ořezuvzdornost.

Zvýšením obsahu fosforu lze dosáhnout rovněž zvýšení ořezuvzdornosti. Okolo relativně měkkých eutektických zrn se vytváří tvrdé fosfidické eutektikum jako síťoví (obr. 5). K otěru zrn dochází při abrazivním namáhání a funkci nosné vrstvy přebírá fosfidické síťoví. Mazadlo se pak může lépe zachycovat

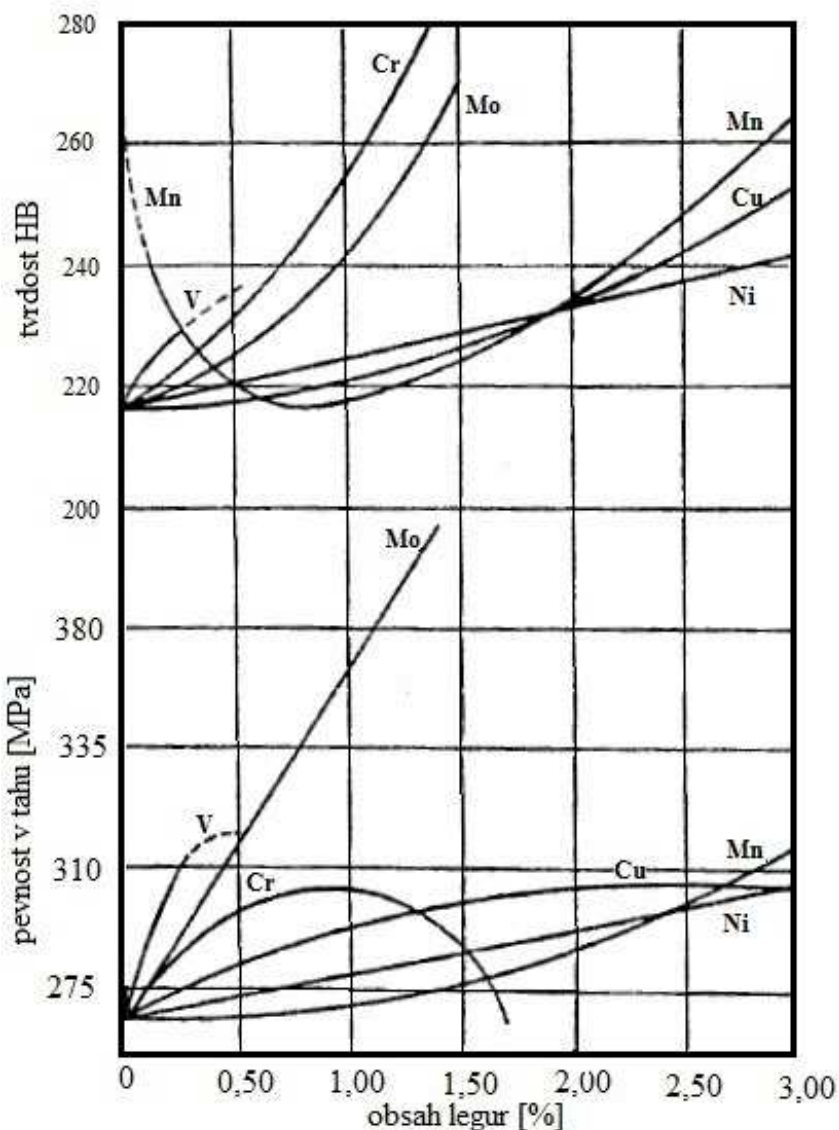


Obr. 5 Fosfidické síťoví s 0,5 % P (100x zvětšeno) [15]

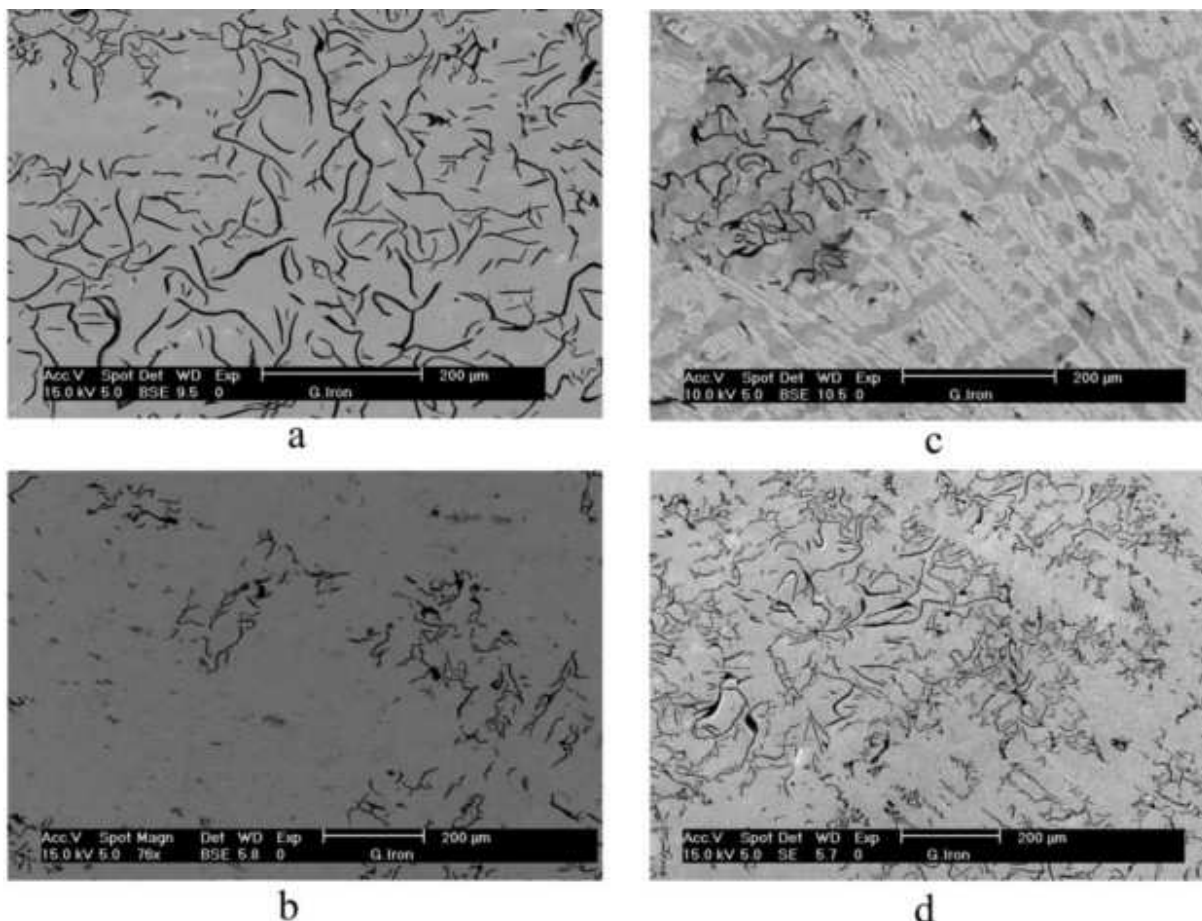
v prohlubeninách. Nevýhodami u tohoto typu litin jsou značná křehkost, sklon k pórovitosti a také skutečnost, že otěrem fosfidového eutektika se vytváří velmi tvrdý a abrazivně působící prach [2]. Fosfor velmi významně zvyšuje zabíhavost litiny [11].

- Pro zvýšení mechanických vlastností je nutno dosáhnout čistě perlitické jemnozrné struktury s vysokou dispersitou perlitu. K legování se používá obvykle kombinace karbidotvorných prvků Cr, Mo a V s grafitotvornými Cu a Ni a to v takovém poměru, aby byla struktura homogenní, bez volných karbidů a bez výskytu feritu. Tyto legury omezují kritické rychlosti transformace a tím umožňují dosáhnout čistě perlitickou strukturu i při pomalejším ochlazování, resp. ve větších tloušťkách stěn. Zlepšují možnost tepelného zpracování a současně zvyšují prokalitelnost [2]. Vliv molybdenu, chromu a niklu na vyloučení grafitu v LLG lze vidět porovnáním mikrostruktur uvedených na obr. 7. Přidání buď molybdenu, nebo chromu snížilo grafitový obsah, nicméně přidání niklu zvýšilo a zjemnilo vyloučení grafitu [10].

- Chrom do obsahu asi 0,4-0,5 % intenzivně zvyšuje pevnost a tvrdost, stabilizuje perlit za vyšších teplot a zamezuje vznik volného perlitu. Nevýhodou je, že podporuje silně metastabilní tuhnutí a tím rozsah zákalky. Jeho mikrostruktura je na obrázku 7 c). Ještě intenzivnější, ale velmi podobný je účinek vanadu, takže nelze překročit obsah 0,2-0,3 % V.
- Molybden je významným prvkem, který vede ke zvýšení mechanických vlastností litin. Na obrázku 7 b) je vidět jeho vliv na mikrostrukturu [2]. Předpokládá se, že množství molybdenu má optimální obsah (přibližně) 0,8% Mo [10]. Molybden je většinou použit v kombinaci s karbidotvornými prvky Cr a V. Vzhledem k jeho vysoké ceně se používá výjimečně.

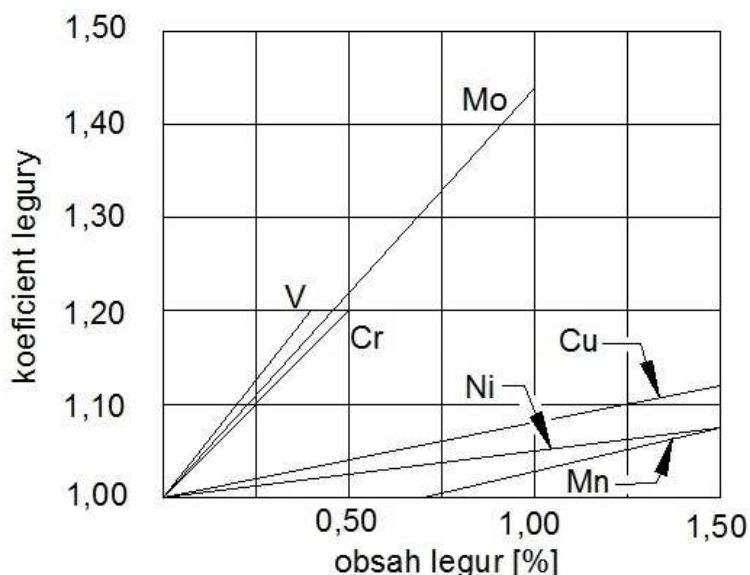


Obr. 6 Vliv legur na pevnost v tahu perlitické LLG dle Crosbyho (3,2 % C, 1,9 % Si, 0,7 % Mn, 0,14 % P)[2]



Obr. 7 Struktura vzorků z LLG: a) nelegovaná; b) 0,5% Mo; c) 0,5 % Cr; d) 1,5 % Ni [10]

- Měď společně s chromem patří mezi nejobvyklejší a přitom cenově přijatelné prvky pro legované litiny. Vzájemný poměr těchto dvou prvků se udržuje v rozmezí Cr:Cu = 1:(2,5-4). Obsah chromu bývá 0,25-0,5 %, obsah mědi 1,0-1,5 %.



Obr. 8 Koeficienty vlivu legur na mechanické vlastnosti [2]

- Dusíkem lze dosáhnout perlitickou strukturu a tím také zvýšení mechanických vlastností. Obsah mezi 70-100 ppm dusíku se považuje za optimální. Dusík se do litiny dostává z dusíkatého feromanganu nebo z ocelového odpadu. Při překročení meze rozpustnosti v litině vznikají bodliny. Praktický význam u tohoto způsobu ovlivňování struktury je ale malý. Míru zvýšení vlastností oproti nelegované litině lze posoudit pomocí koeficientu účinku legur na mechanické vlastnosti na obr. 8. Jejich multiplikační účinek se projevuje u většiny prvků než při legování jediným prvkem to



znamená, že jejich kombinací se dosáhne lepších vlastností. Zpravidla se leguje kombinací dvou prvků, a to ze skupiny Cr, V, na jedné straně, na druhé straně Cu, Ni, Mn, eventuálně kombinací 3 prvků, když tímto třetím prvkem často bývá Mo.

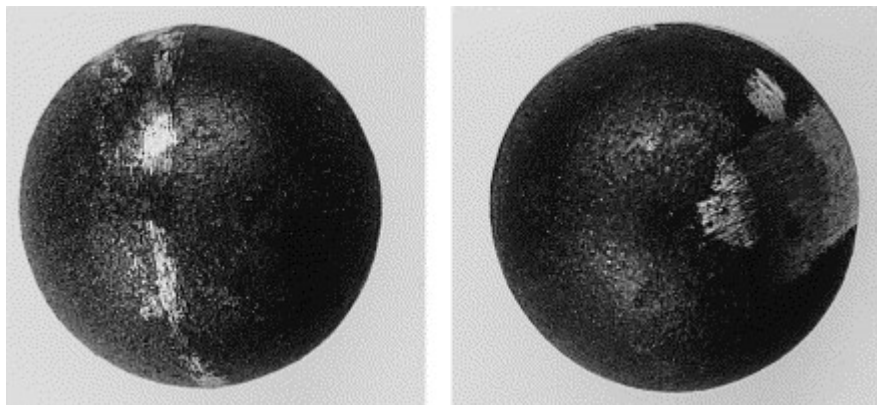
Pevnost legované litiny se určí ze vztahu:

$$Rm_{leg} = Rm_{neleg} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (2.1)$$

Kde součinitele  $f_i$  jsou hodnoty odečtené z obr. 8 [2], [11].

### 2.1.2 Použití nízkolegovaných LLG s dobrými mechanickými vlastnostmi

Litina EN-GJN-HV350 patří mezi nízkolegované litiny (viz tab. 3). Struktura je tvořena perlitem vzniklým transformací primárního a eutektického austenitu a eutektickými karbidy. Přísadou chromu a nízkým obsahem křemíku se dosahuje metastabilního tuhnutí. Litina za



Obr. 9 Mlecí koule [8]

podmínek abrazivního opotřebení vyhovuje a používá se tedy v tomto směru jako levný materiál. Litina je dodávána obvykle bez tepelného zpracování. Z této litiny se ve velkých objemech vyrábí mlecí koule (obr. 9) a jiné součásti zařízení pro zpracování primárních surovin [4].

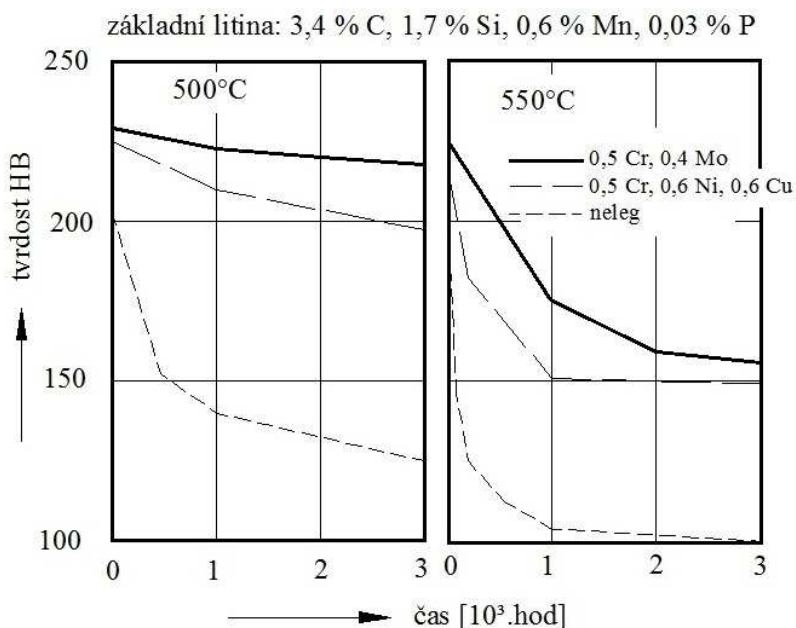
Tab. 3 Nízkolegovaná chromová litina podle ČSN EN 12513 [4].

Označení materiálu		Tvrdość podle Vickerse HV min.	Chemické složení v % hmotnosti			
značkou	číselně		C	Si	Mn	Cr
EN-GJN-HV350	EN-JN2019	350	2,4 až 3,9	0,4 až 1,5	0,2 až 1,0	max. 2,0

POZNÁMKA Označení materiálu je ve shodě s EN 1560.

### 2.1.3 Zlepšení vlastností za vyšších teplot

U legování je cílem zachovat dobré mechanické vlastnosti i při teplotách, při nichž u litin nelegovaných dochází již k jejich poklesu, dále omezení creepu, zvýšení odolnosti proti oxidaci a tepelné úpravě. Pro použití za vyšších teplot je důležitým faktorem zajištění strukturní stability perlitu. K rozpadu perlitu na ferit a grafit u nelegovaných litin začíná při dlouhodobém působení docházet již nad teplotou 400°C, v rozmezí 450-500°C je již významný a vede ke



Obr. 10 Pokles tvrdosti legovaných litin po žhánání na 500 a 550°C [2]

snížení tvrdosti a pevnosti a k růstu litiny. V nízkolegovaných litinách je možno stabilitu perlitu zvýšit do oblasti 500 - max. 550°C. Chrom je hlavní legurou asi do obsahu 0,7 % Cr, v kombinaci případně s Ni nebo Cu. Velmi příznivě se projevuje rovněž účinek molybdenu. Zmenšuje se rovněž creep současně se zvýšením mechanických vlastností za vyšších teplot. Na obr. 10 je porovnán pokles tvrdosti různě legovaných litin po žhání při teplotách 500 a 550°C [2].



Obr. 11 Pístní kroužky [18]

Dalším typem litiny pro zvýšené teploty je nízkolegovaná hliníková LLG u které je z části nebo zcela křemík nahrazen hliníkem. Struktura je s krátkými lupínky grafitu zcela perlitická. Litina je málo citlivá na tloušťku stěny a je houževnatá. Očkuje se hlavně SiCa. Chemické složení je 2 – 4 % C, 0 – 1 % Si, 1 – 3 % Al. Mechanické vlastnosti jako mez pevnosti  $R_m$  je 450 – 600 MPa a tvrdost 200 – 220 HB [2].

Použití je hlavně na odlitky motorů, pístní kroužky (obr. 11), brzdové bubny, sklářské formy [1]. Na odlitky výfuků a výfukových vedení dieselmotorů se používají litiny s 2 % Al. Na rošty koksárenských topenišť se používají litiny se 4 % Al a 1 % Cr. Na zařízení pro rafinaci síry je vhodná litina se 4 % Al a 2 % Cr [3]. Tato litina je obtížně slévateľná, jelikož tvoří vměstky  $Al_2O_3$  [2].

#### 2.1.4 Zvýšení odolnosti proti tepelné únavě a korozi

Při cyklickém tepelném namáhání dochází k tepelné únavě odlitků. Postupným vznikem prasklin se tepelná únava ukazuje tzv. „mapování“ na povrchu odlitků. K cyklickým tahovým a tlakovým plastickým deformacím dochází v důsledku opakovaného kolísání teplot. Také dochází k hloubkové oxidaci litiny a rozpadu základní kovové hmoty.

Pronikáním kyslíku podél lamel grafitu do hloubky litiny je způsobena hloubková oxidace, při níž dochází k oxidaci hlavně feritu. Způsobuje tzv. „růst litiny“, jelikož produkty oxidace zvětšují objem. Do asi 500°C je rozsah oxidace zanedbatelný, prudce se však zvyšuje při vyšších teplotách. Jemně vyloučený grafit hloubkovou oxidací omezuje. Rozsah oxidace zvětšuje naopak hrubý lamelární grafit. K degradaci mechanických vlastností dochází postupně vlivem oxidace až na velmi nízké hodnoty.



Obr. 12 Brzdový buben [16]

Všechny prvky stabilizující perlit zvyšují odolnost proti tepelné únavě za vyšších teplot a prvky, které podporují vznik jemného (hustého) perlitu. Mimořádně příznivý je vliv molybdenu v takto namáhaných litinách, obvykle v kombinaci s Cr a Ni. Zvýšením odolnosti vůči tepelné únavě se dosáhne zvýšení počtu teplotních cyklů do porušení a prodloužení životnosti odlitků.

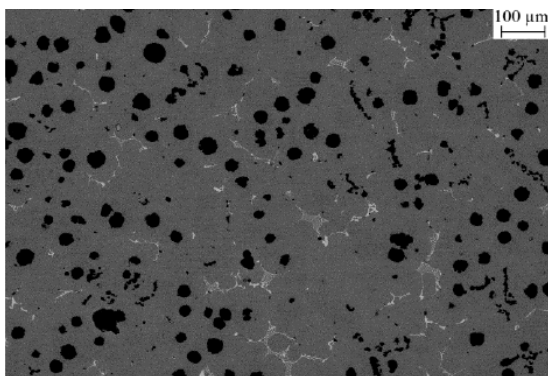
Při rychlých změnách teplot je porušení litin způsobeno vznikem napěťových špiček v oblastech s velkým teplotním gradientem např. brzdové bubny (obr. 12), kovové formy apod. Tepelná vodivost materiálu je nepřímě úměrná velikosti teplotního gradientu. Zde se osvědčují litiny, které mají dobrou tepelnou vodivost zejména litiny s vysokým obsahem uhlíku ve formě grafitu [2].

Zvýšení odolnosti litin vůči korozi nízkým legováním nelze příliš zvýšit. Životnost součástek však přesto lze v řadě případů prodloužit. Účinek legur se zakládá na tom, že korozní zplodiny vytvoří jemnozrnnou hutnou povrchovou vrstvu, která dalšímu postupu koroze do hloubky odlitku brání. (Je nutno vyzvednout, že odolnost nelegovaných litin vůči korozi je významně vyšší, než u nelegované oceli.) Jednotlivé

strukturní složky se odolností proti korozi zvyšují v pořadí: ferit – perlit – cementit – grafit. Struktura jemnozrného perlitu je proto výhodná pro použití v korozním prostředí. Korozivzdornost, především odolnost proti anodické korozi, se zvyšuje legováním Ni, Cu a Cr:

- ✓ Cu – do 2 % - zmírňuje atmosférickou a korozi ve zředěných kyselinách
- ✓ Ni – do 3 % - zmírňuje korozi ve slabých alkáliích a neoxidačních kyselinách
- ✓ Cr – do 0,8 % - má vliv na zjemnění perlitu [2]

## 2.2 Litiny s kuličkovým grafitem



Obr. 13 Mikrostruktura nízkolegované SiMo litiny [19]

Vlastnosti u litiny s kuličkovým grafitem (obr. 13) závisí především na druhu základní kovové hmoty. Legování obvykle slouží k tomu, aby bylo spolehlivě dosaženo požadované struktury. Karbidotvorné prvky se kromě ořezavzdorných litin obvykle nepoužívají, neboť segregují na hranicích zrn a tím způsobují, že se nedosahuje požadovaných tažností. Téměř nikdy se feritická LKG neleguje. Výjimku může tvořit náhrada části křemíku niklem, při níž lze dosáhnout zvýšení meze kluzu při zachování rázové houževnatosti [2].

Pro zvýšení pevnosti litiny s kuličkovým grafitem je nutné dosáhnout čistě perlitické nebo jehlicovité struktury. (Struktura ausferitická, martenzitická nebo sorbitická se považuje za jehlicovité struktury.)

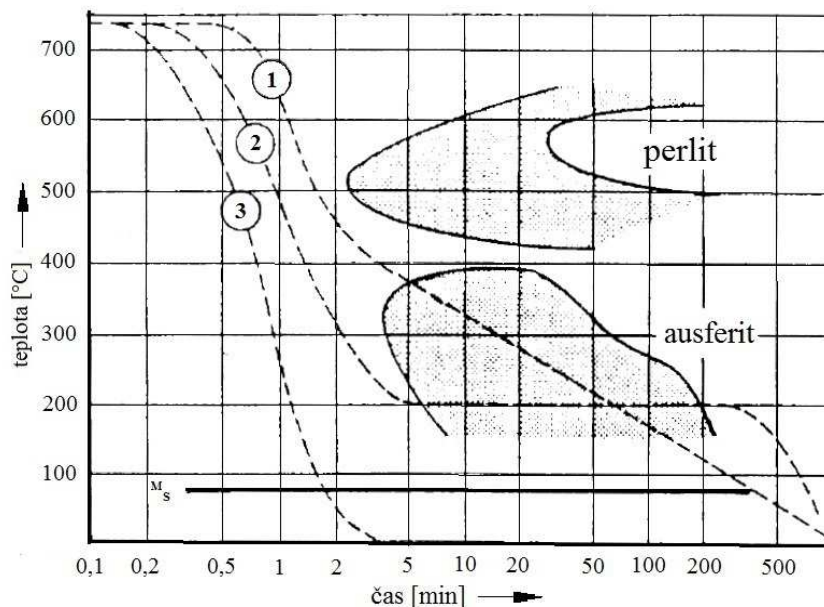
Obvykle pro dosažení perlitické struktury se používá legování mědi do 1 až 1,5 %, méně často cín do 0,1 %. Měď má přednost, protože při předávkování nemá negativní účinky na mechanické vlastnosti.

Kombinace 0,8-1,5 % mědi nebo niklu s 0,2-0,4 % Mo se používá u velmi silnostěnných odlitků. Zřetelného zvýšení mechanických vlastností lze docílit v litinách s ausferitickou strukturou [2].

### 2.2.1 Izotermicky zušlechťená litina

V této litině má být struktura ausferitu tvořena jehlicovitým feritem a stabilizovaným vysokouhlíkatým austenitem. Perlit a martenzit je nežádoucí. U druhů litiny s nejvyšší pevností se martenzit někdy vyskytuje místně. Tento vysokouhlíkatý martenzit prakticky vylučuje třískové obrábění, jelikož je mimořádně tvrdý.

Principem výroby ausferitické litiny je



Obr. 14 Schéma průběhu ochlazování LKG s jehlicovitou strukturou

- 1) Legované litiny na ausferit
- 2) Izotermické zušlechťení na ausferit
- 3) Zušlechťení na martenzit [2]

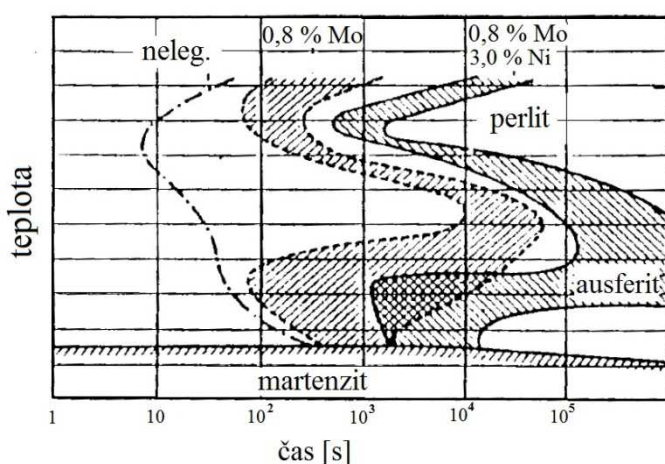
ochlazování takovým způsobem z oblasti austenitu, při němž se v diagramu ARA neprotne perlitický nos. Tepelným zpracováním, nebo legováním toho lze dosáhnout.

Izotermickým zušlechťením do solných lázní se obvykle provádí tepelné zpracování, teplotním režimem, který je znázorněn na obr. 14 – křivka 2. Na teplotě austenitisaace a na teplotě ausferitické transformační prodlevy závisí konečné vlastnosti. Čím vyšší je austenitisační teplota, tím je v austenitu vyšší obsah uhlíku a tím vyšší tvrdost a menší tažnost má litina. Austenitisační teplota obvykle bývá v rozmezí 830-900°C. Pro jednotlivé jakosti izotermicky zušlechťené litiny se transformační teploty volí přibližně podle tab. 4 [2].

Tab. 4 Transformační teploty při izotermickém kalení LKG [2].

Rm [MPa]	A5 [%]	HB	transformační teplota [°C]
1600	1 – 2	450	250
1400	2 – 3	400	300
1100	4 – 8	360	350
900	9 - 14	280	400

V optimálních mezích je nutno volit dobu prodlevy na transformační teplotě. Austenit se nedostatečně stabilizuje při příliš krátké prodlevě a při následném ochlazení se transformuje na martenzit.

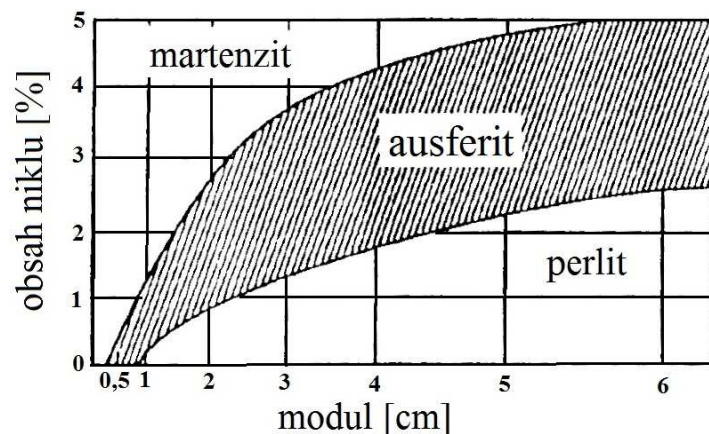


Obr. 15 Vliv Mo a Ni na křivky rozpadu austenitu [2]

nedostatečně stabilizuje při příliš krátké prodlevě a při následném ochlazení se transformuje na martenzit. K vylučování karbidů začíná docházet po překročení optimálního času a to má za následek snižování tažnosti.

Je nutno ochlazovat dostatečně intenzivně, aby se při ochlazování z austenitisační teploty minul perlitický nos. Odlitky z nelegované litiny do tloušťky stěny kolem 30 mm je možno při ochlazování do solné lázně takto zpracovat. Při větších tloušťkách je nutno legovat molybdenem nebo kombinací molybdenu s mědí nebo

niklem. Nikl posouvá rozpadové křivky doprava a molybden zvýrazňuje ausferitický nos viz obr. 15.



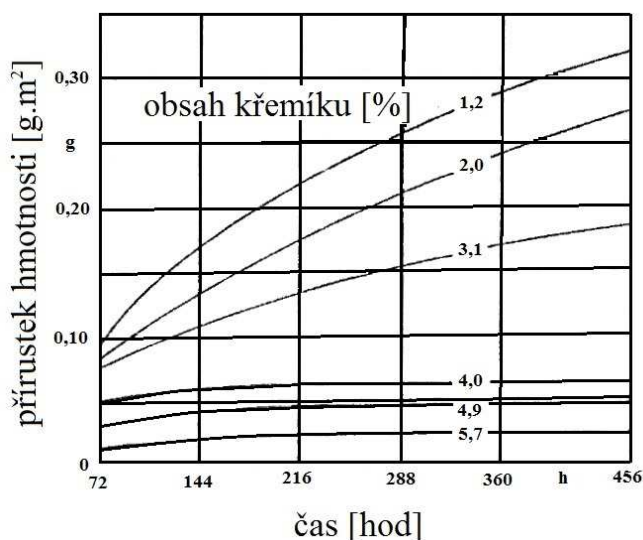
Obr. 16 Závislost obsahu Ni na tloušťce stěn pro litinu se složením 2,8 % C, 2,5 % Si, 0,8 % Mn, 0,5 % Mo [2]

Legováním niklem a molybdenem je možno získat ausferitickou strukturu již přímo v litém stavu. Rychlosti chladnutí se musí přizpůsobit množství obou prvků, tj. především tloušťce stěny odlitků – obr. 16. Perlit by vznikl částečně při příliš nízkém obsahu, při příliš vysokém obsahu niklu by se ausferitická transformace velmi zpomalila a ve struktuře by se objevil martenzit [2].

## 2.2.2 Legování LKG křemíkem pro zlepšení vlastností za zvýšených teplot

V důsledku sklonu litin s kuličkovým grafitem za zvýšených teplot k feritaci, je možno používat perlitické druhy za vyšších teplot jen po krátkou dobu. K rozpadu perlitu dochází při dlouhodobém ohřevu nad asi 400°C, dochází k růstu litiny a její pevnost se snižuje. V důsledku nebezpečí vzniku zákalky a karbidů stabilizace perlitu pomocí chromu není prakticky možná, měď a cín nedokáží za vyšších teplot rozpadu perlitu zabránit. Pro práci za vyšších teplot se tohoto důvodu používají takřka výhradně feritické druhy litin s kuličkovým grafitem.

Grafit tvoří vzájemně izolované oblasti a díky tomu zpomaluje pronikání kyslíku do hloubky materiálu tím pádem odolnost LKG proti oxidaci je podstatně vyšší, než u LKG.



Obr. 17 Oxidace LKG na vzduchu při teplotě 650°C [2]

Legování křemíkem pomáhá zvýšit odolnost proti oxidaci (optimálně okolo 4 % Si), který vytváří na povrchu odlitku hustou oxidickou vrstvu. Tento ochranný účinek se projevuje do začátku teplot austenitické transformace, při níž se v důsledku dilatací při objemových změnách poruší souvislost ochranné vrstvy. Spodní transformační teplota je díky vyššímu obsahu křemíku posunuta do oblastí nad 800°C. Účinky křemíku jsou zřejmé na obr. 17 [2].

Litiny se 4 a 7 % Si jsou žáruvzdorné až do teploty 850°C, např. slitina „silal“, která obsahuje 4 až 6 % Si, 1,6 až 2,5 % C, 0,4 až 0,8 % Mn [3]. Litina označená jako silal má podle staré ČSN normy označení 42 24 65 [4]. Pro vyšší žáruvzdornost se dále legují přísadou

chromu. Používají se např. na roštnice, výstelky a víka pecí, cementační nádoby. Pro zajištění vysoké žáruvzdornosti musí lupínkový grafit být ve struktuře vyloučen co nejjemněji-mezidendriticky. Litina vystavená po delší dobu nad 550°C s obsahem křemíku 4 až 5 % dosahuje dobré žáruvzdornosti. Další přidávání křemíku sice zvyšuje pevnost, ale na úkor tažnosti [3].

V důsledku metalurgických problémů se jen výjimečně používá hliník (do 6 % Al), který má podobný účinek jako křemík.

Pevnostní vlastnosti za vyšších teplot u feritické LKG se zlepšují legováním molybdenem v obsazích 0,4-0,6 % Mo. Na hranicích zrn při vyšším obsahu vznikají karbidy, které snižují obrobiteľnost a tažnost. Nikl do obsahu 2,5 % Ni má pozitivní, i když ne tak intenzivní účinek jako molybden.

Teplotní vodivost u LKG je nižší, než u LLG. Z tohoto důvodu, a rovněž díky vyššímu E-modulu, při rychlých teplotních změnách vznikají větší napěťové špičky a proto může být nebezpečí vzniku prasklin dokonce větší, než u litin s lupínkovým grafitem [2].

## 2.2.3 Litiny typu SiMo

Během 60. až 70. let minulého století byl zaměřen výzkum na vývoj materiálu, který by mohl odolávat vyšším teplotám ve spalovacích motorech. Touto prací se vyústilo v to, co se později pojmenovalo: SiMo [22]. Litiny typu SiMo se vyznačují vyšší odolností za vysokých teplot, dodávají stabilitu základní kovové hmoty v rozsahu procesních teplot, dosahují dostatečných mechanických vlastností, jsou odolné proti creepu, tepelné únavě a mají chemickou odolnost proti působení okolního prostředí. Stabilizace feritu se dosahuje 4-5,5 % Si. Stabilizuje ferit

do teplot až kolem 900°C. Přidáním 0,5-1,5 % Mo se zvyšuje pevnost litiny za vysokých teplot. Molybden kolem zrn feritu vytváří karbidické síťoví a tím zvyšuje odolnost proti creepu. Zvyšuje se tak obsah karbidů a tím se sníží plastické vlastnosti. Litiny typu SiMo jsou normovány podle ČSN EN 16124. Celkem 9 druhů těchto litin předepisuje norma, které se liší obsahem Si a Mo. V tabulce 5 je uvedeno chemické složení dvou SiMo litin. Transformační teplota  $A_1$  se u nových typů slitin SiMo dále zvyšuje legováním hliníku. Legování hliníkem se běžně nepoužívá vzhledem k metalurgickým problémům. Do pracovních teplot odlitků asi 780°C jsou obvyklé druhy litiny SiMo použitelné. Relativně levné slitiny typu SiMo je snahou maximálně využívat nejen z cenových ale i z technologických důvodů. Chemické složení nejčastěji vyráběných slitin typu SiMo je uvedeno v tabulce 5. Obsah fosforu se doporučuje co nejmenší a obsah manganu 0,1-0,5 % Mn. Obsah uhlíku se uvádí v rozmezí 3,0-3,4 % C. Struktura litin SiMo je hlavně feritická se síťovým karbidů typu  $Mo_2C$ . Oxidická vrstva vzniká zejména výfukovými plyny, přičemž právě oxidy křemíku vytváří účinnou bariéru proti hloubkové oxidaci. S růstem teploty se rychlost oxidace zvyšuje. Čím vyšší je v litině obsah křemíku, tím je rychlost oxidace pomalejší [20].

Tab. 5 Chemické složení slitin SiMo 40-6 a SiMo 50-10 dle ČSN 16124 [20].

Značka	Si [%]	Mo [%]	$R_{m \min}$ [MPa]	$A_{\min}$ [%]	HB	tepelná vodivost v intervalu 0-300°C [W/K.m]
EN-GJS-SiMo 40-6	3,6-4,2	0,5-0,7	480	8	190-240	28
EN-GJS-SiMo 50-10	4,8-5,2	0,8-1,1	600	3	210-260	

Používá se v podmínkách vysokých teplot a cyklických teplotních změn. Typickými odlitky jsou např. motorové odlitky, zejména odlitky výfukových potrubí (obr. 18 a), těles turbokompresorů, částečně také hlav válců. V průmyslové praxi vedle motorových dílů jsou i jiné typy odlitků, které jsou vystaveny za provozu podobnému, obvykle však méně dramatickému namáhání, např. sklářské formy (obr. 18 b) [20].



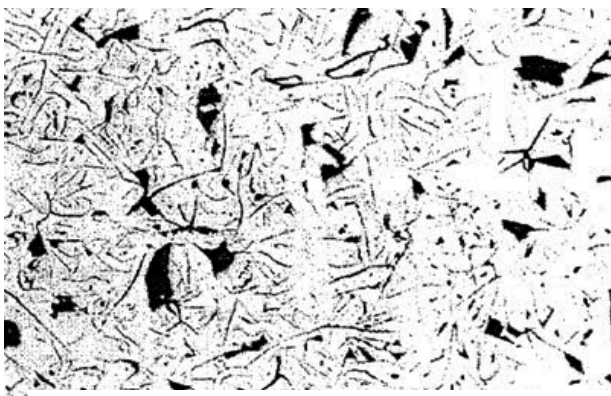
Obr. 18 Odlitky vyrobené ze slitiny SiMo (a) potrubí výfukové-střední (b) sklářská forma [21]

### 3 STŘEDNĚ A VYSOKOLEGOVANÉ LITINY

Úzce specializovanou oblast výroby litin tvoří výroba vysokolegovaných litin. Vysoký obsah legujících prvků slouží v těchto litinách ke zlepšení některých technologických vlastností (korozivzdornost, otěruvzdornost) nebo speciálních vlastností jako např. nízká teplotní roztažnost. Mechanických vlastností (mez kluzu, pevnost) zpravidla vysokolegované litiny nedosahují jako litiny nízkolegované nebo nelegované. V závislosti na hlavním legujícím prvku je struktura vysokolegovaných litin perlitická, feritická, bainitická, austenitická nebo martenzitická, příp. také obsahuje karbidy legujících prvků [4]. U legovaných bílých litin je veškerý uhlík vázán v cementitu nebo ve speciálních složitějších karbidech [3]. Vysokolegované litiny lze podle hlavního přísadového prvku členit na křemíkové, chromové a niklové litiny. Mezi vysokolegované litiny se řadí i litiny legované hliníkem [4].

#### 3.1 Litiny legované křemíkem

Jsou to litiny s grafitem ve formě lupínků (obr. 19) nebo kuliček, které jsou legovány křemíkem až do obsahu 20 hmot. %. Křemík nám zde slouží jako prvek pro zajištění žárovevnosti a korozní odolnosti v kyselém prostředí. Feritickou strukturu nám zajišťuje vysoký obsah křemíku. Při požadavku na zvýšenou korozivzdornost nebo žárovevnost odlitků se volí křemíkové litiny s lupínkovým grafitem. Jestliže je požadavek také na vyšší pevnost nebo tažnost, pak se volí odlitky z křemíkových litin s kuličkovým grafitem.



Obr. 19 Mikrostruktura vysoce legované křemíkové litiny [26]

Vysoké žárovevnosti dosáhneme tak, že lupínkový grafit se musí vyloučit v co nejjemnější formě. Hrubě vyloučený grafit je naprosto nevhodný i z hlediska korozní odolnosti, jelikož kyslík proniká snadněji do materiálu a podporuje tak vnitřní oxidaci a to vede k objemovým změnám tzv. růst litiny. Oproti legované litině s lupínkovým grafitem má litina s kuličkovým grafitem a s přísadou křemíku lepší mechanické vlastnosti a především větší odolnost vůči okujím a objemovým změnám [1]. Při obsahu 14,5 % Si nebo více, korozní odolnost

těchto slitin, je lepší než u některých litin, které obsahují značné množství chromu, niklu anebo molybdenu. Křemíkové litiny mají špatnou svařitelnost, ale dobrou slévatelnost. Obsah Si musí být mezi 14 až 16%, a to proto, že je pak přítomnost ochranného filmu SiO<sub>2</sub> kontinuální. Tento film se snadno vytvoří na povrchu odlitku, jelikož Si má vysokou afinitu ke kyslíku. V angličtině se vysoce legované křemíkové litiny označují zkratkou HSCI (Hight Silicon Cast Iron). Dle americké ASTM A518 jsou vysokolegované křemíkové litiny normovány. Tabulka 6 ukazuje chemické složení v souladu s Britskou normou BS 1591 a také v souladu s americkou normou ASTM A518 [26].

Tab. 6 Chemické složení dle normy ASTM 518 a BS 1591 [27].

Norma	Chemické složení (%)							
	Si	Cr	C	Mn	Cu	Mo	P	S
ASTM 518	14,20-14,75	3,25-5,0	0,70-1,10	≤1,5	≤0,5	≤0,2	/	/
BS 1591	14,25-15,25	4-5	<1,4	≤0,5	/	/	≤0,25	≤0,1

### 3.1.1 Fersilit

Žáropevné křemíkové litiny s obsahem 14 až 18% Si jsou označovány jako fersilit. Jsou vhodné na odlitky pro chemický průmysl [1]. Litina označená jako *fersilit* má podle staré ČSN normy označení 42 24 83 [4]. Vyznačují se vysokou chemickou odolností, především vůči kyselině dusičné, solné, sírové, fosforečné a chromové [3]. Fersilit je velmi tvrdý a obrábět se dá pouze broušením. Odlitky z něj jsou proto velmi křehké a je nutné postupovat opatrně při čistírenském zpracování. Proto se doporučuje před ním žhání na odstranění vnitřního napětí. Fersilit nesnáší rychlé změny teplot. Tato litina dále může obsahovat až 5 % Cr a až 3 % Mo [1].

Odlitky z fersilitu se vyznačují hrubozrnnou strukturou, zvláště u větších tloušťek stěn a při vyšší teplotě lití. U větších tloušťek dochází k typické vadě tzv. dvojité stěně. Mikrolegování fersilitu cerem v podobě feroceru zjemňuje zrna, tato přísada je však velmi drahá. Jako výhodnější byla vynalezena slitina s obsahem 53 % ceru a zbytek lanthanoidy. Fersilit se leguje množstvím 0,05 až 0,30 % slitiny. Zvýší se mechanické vlastnosti a kyselinovzdornost. Licí teploty v širokém rozsahu nemají vliv na velikost zrna. V tabulce 7 jsou údaje o úbytku váhy vzorků z původního fersilitu bez mikrolegování a po mikrolegování [25].

Tab. 7 Průměrný procentní úbytek váhy vzorků po dlouhodobém ponoření do agresivního prostředí různých kyselin [25].

Prostředí	Doba	Úbytek váhy u fersilitu	
		Původního	Po mikrolegování
kyselina fluorovodíková (HF)	650 h	58,88 %	20,59 %
kyselina solná koncentrovaná (HCl)	1000 h	0,842 %	0,368 %
kyselina mravenčí (CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	1000 h	0,008 %	0,015 %
lučavka královská (3HCl+HNO <sub>3</sub> )	1000 h	2,143 %	2,330 %

### 3.1.2 Použití fersilitu

Používá se především na odlitky čerpadel kyselin, mísiče, na armatury a kotle v chemickém průmyslu [1]. Odolává i mořské vodě a tak se používá také pro krátká potrubí na ropných plošinách. V současnosti nacházejí skvělé uplatnění jako anody (obr. 20), jelikož mají skvělou odolnost vůči elektrochemické korozi a dobrou vodivost. Elektrikáři používají tyto anody, jelikož mohou být v zemi a odolávají působení bludných proudů [26].

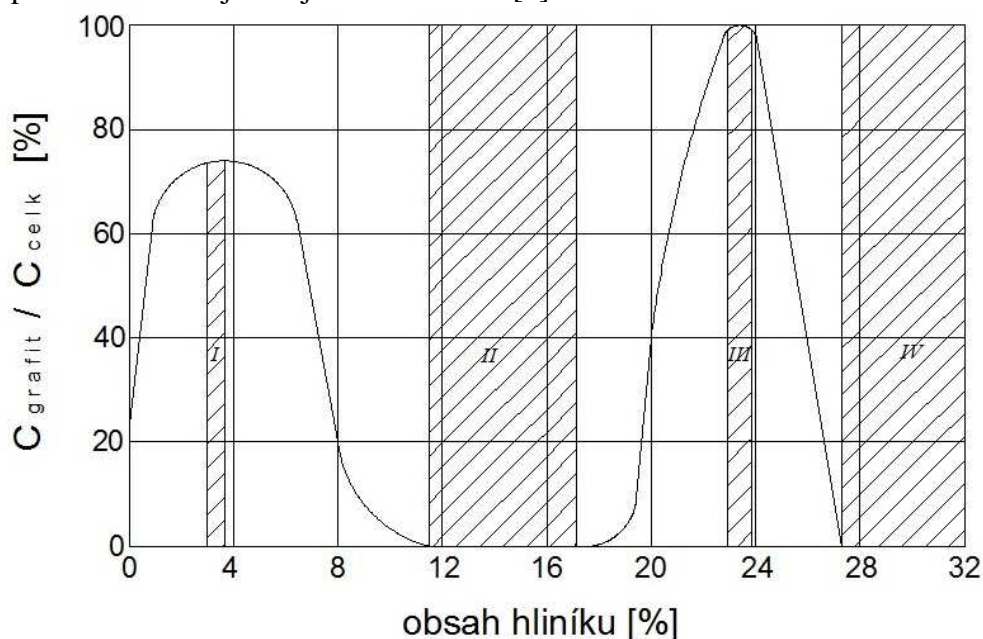


Obr. 20 Příklad použití vysoce legované litiny křemíkem sloužící jako anoda odolávající elektrochemické korozi [27]



### 3.2 Litiny legované hliníkem

Přidaný hliník vytváří na povrchu odlitku pasivační vrstvu, tím pádem má velkou schopnost bránit oxidaci kovu. Získá se tím vysoká odolnost proti vzniku okují a korozivzdornost, zvláště v prostředí síry a jejích sloučenin. U litin legovaných hliníkem jsou výraznými rysy nízká hustota a vysoký elektrický odpor. Legování litin hliníkem je zajímavé také tím, že při určitém obsahu působí silně grafitotvorně a při jiném silně karbidotvorně. Na obrázku 21 je závislost podílu grafitického a celkového uhlíku na obsahu hliníku, tento graf je rozdělen na 4 oblasti, které jsou popsány v tabulce 8. Vhodné pro použití jsou tedy jen litiny s poměrně nízkým a velmi vysokým obsahem hliníku (1 až 8 hm. % Al, nebo 20 až 30 hm. % Al) [1]. Za výhodnou se považuje struktura feriticko-grafitická. Pokud se feritické struktury zcela nedosáhne přímo v litém stavu, žhíhá se při teplotách 930-1040°C, kdy dojde k rozpadu zbytkového cementitu a ke zlepšení strukturní stability. Druhy struktur, vznikajících v závislosti na obsahu hliníku a používané oblasti chemického složení jsou uvedeny v tabulce 8 [2]. Kuličkový tvar grafitu podstatně zlepšuje mechanické vlastnosti a také odolnost proti vzniku okují a objemovou stálost [3].



Obr. 21 Závislost obsahu grafitu ve struktuře litin legovaných hliníkem [2]

Tab. 8 Oblasti použití litin legovaných hliníkem [2].

Oblast	Struktura	Složení	Použití
I	F + P + G	3 – 8 % Al (do 3 % Cr, do 3 % Si)	do 850°C i v prostředí SO <sub>2</sub> , nad 4 % Al vzrůstá tvrdost, zhoršená obrobitelnost, vyšší křehkost
II	F + karbidy Fe <sub>3</sub> AlC <sub>x</sub>		nepoužívá se
III	F + G	19 – 24 % Al 1,5 – 2,5 % C 0,8 – 2,0 % Si	pro teploty do 1000°C i vyšší, rovněž v prostředí SO <sub>2</sub> , dobře obrobitelná, vhodná zejména jako GJS
IV	F + Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	28 – 30 % Al 1,2 – 1,4 % C max. 0,5 % Si max. 0,5 % Mn	název Pyroferal, pro teploty do 1200°C, křehká, neobrobitelná, nevhodná pro kolísající teploty

### 3.2.1 Pyroferal

Mezi vysokolegované hliníkové litiny se řadí litina s obchodním názvem Pyroferal, lze ji použít i při teplotách nad 1000°C. Tento typ litiny je odolný vůči redukčnímu i oxidačnímu prostředí, solným lázním, spalinám, roztaveným kovům a má ze všech litin nejmenší růst způsobený oxidací. Je taky odolná vůči nauhličení a sycení dusíkem, její nevýhoda však je, že snáší špatně změny teploty. Odlitky jsou křehké a najdou se i případy, kdy během uložení před zahájením čistírenských operací praskají. Jen zkušenosti a znalosti mohou při výrobě legovaných litin hliníkem uspět. V metalurgii hliníků vyvolává značné obtíže a to v souvislosti s tvorbou oxidických vměstků, oxidických blan a mikroporozity [1].

Tvrdość Pyroferalu dosahuje hodnot mezi 400 až 450 HV při pokojové teplotě, která se přičítá přítomnosti karbidu hliníku  $Al_4C_3$  (obr. 22), jehož tvrdość je 1000 HV. Vzhledem k vysoké tvrdości je obrábění Pyroferalu, zejména vrtání, vyloučeno. Na druhé straně vysoké hodnoty tvrdości jsou dobrým základem otěruvzdornosti. Pyroferal má snahu nahradit drahé

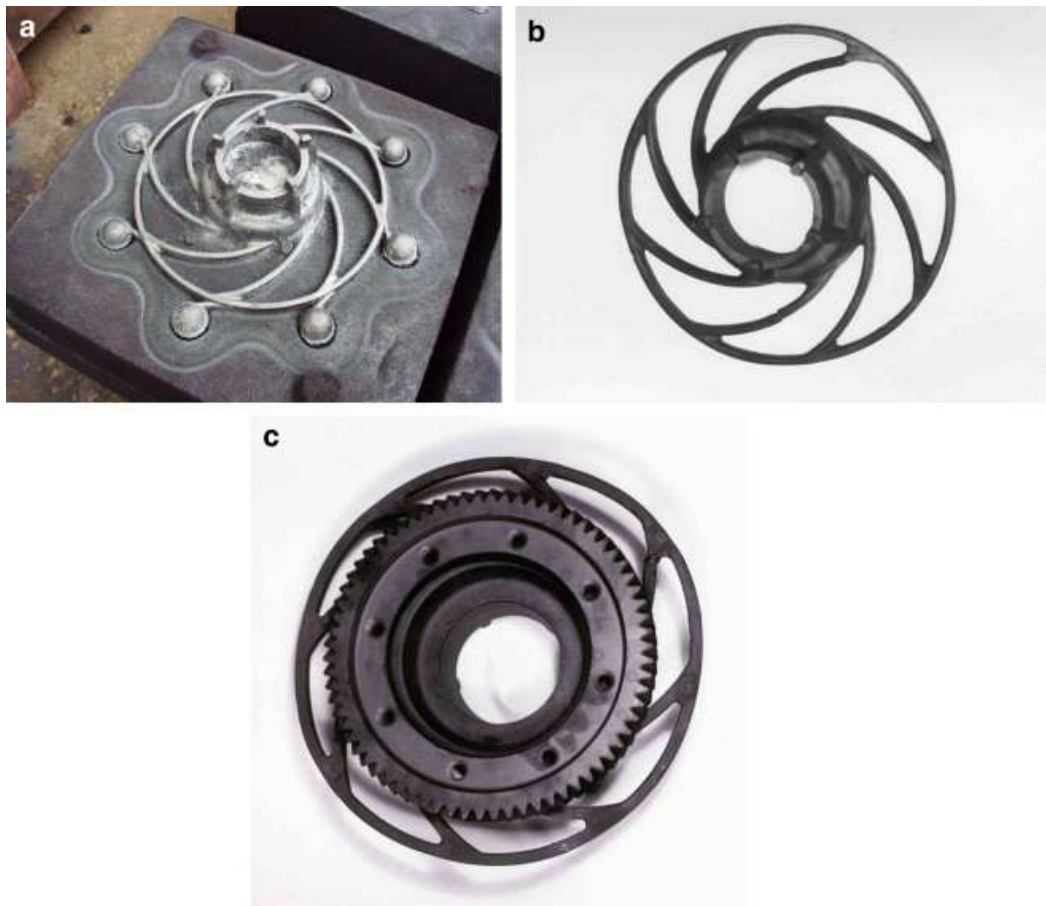


Obr. 22 Fáze  $Al_4C_3$  v Pyroferalu [23]

Fe-Ni-Cr odlitky. Při svařování se komponenty zahřejí na teplotu 650 ° C a poté se udržují na teplotě po dobu nejméně dalších 15 minut s následným pomalým ochlazením na pokojovou teplotu. Přítomností křemíku ve struktuře bylo prokázáno, že je důležitý pro vytvoření kompozitní struktury podobné jako na obr. 22, díky které se předpokládá, že je odpovědná za vynikající mechanické vlastnosti při vysokých teplotách [23]. Opláštěním pyroferalu korozivzdornou feritickou chromovou ocelí X6Cr17 se dá předejít praskání na povrchu a uvnitř odlitku [24].

### 3.2.2 Použití vysokolegovaných hliníkových litin

Litiny s 22 % Al a 2 % B se používají pro žáruvzdorné odlitky s vysokou pevností za tepla (350 MPa při teplotě 760°C). Odlitky s 22 až 34 % Al a s obsahem 5 % Si a do 3 % Cu patří do skupiny nemagnetických feritických litin s velmi nízkou permeabilitou [3]. Na obr. 23 můžeme vidět odlitek z Pyroferalu, který byl použit jako držák pro ozubená kola v cementační peci. Pyroferal byl také použit k lití na vytavitelný model pro přesné odlitky, např. na statorové lopatky turbíny s vnitřním spalováním. Další použití je pro nitridační pece, trysky hořáků, díly rekuperátorů, díly které přicházejí do styku s roztaveným barevným sklem. Při testování litých trubek pro krakování zemního plynu bylo dosaženo skvělých výsledků [23].



Obr. 23 Držák ozubených kol v nauhličování pecích, (a) po odlití, (b) samotný držák, a (c) aplikace držáku při funkci držení ozubeného kola v nauhličovací peci [23]

### 3.3 Litiny legované chromem

Chrom v litinách podporuje vylučování uhlíku ve formě karbidů a litina začíná tuhnout bíle při obsahu chromu větším než 2-3 %. V legovaných litinách je množství chromu až 35 %. Stupeň eutektičnosti ( $S_E$ ) se blíží jedné, podle toho se volí obsah uhlíku. Množství karbidů chromu roste s rostoucím obsahem uhlíku a při obsahu cca 1,5 % uhlíku se litina stává neobrobitelnou. Struktura je složena z karbidického eutektika a základní kovové hmoty, která je buď perlitická, feritická, austenitická, martenzitická, nebo bainitická, která je ovlivněna chemickým složením, rychlostí ochlazování a tepelným zpracováním [1]. Opětovaně se uvádí, že 50 % případů opotřebení v průmyslu je způsobeno procesy abraze. Mikrostruktura bílých chromových litin je tvořena kovovou maticí a 25-35 obj. % karbidů. Zvláštní bílé litiny vyvinuté pro případ extrémního abrazivního opotřebení mají zvýšený obsah karbidů (40-70 %) [29].

Tab. 9 Závislost žáruvzdornosti na obsahu chromu [2].

Obsah chromu [%]	6	8	12	17	25	33
Žáruvzdornost do [°C]	700	800	850	900	980	1050

Zcela feritické matrice se u chromových litin dosahuje od obsahu 20 % Cr a nízkém obsahu uhlíku, u litin jejichž obsah uhlíku je vyšší se zcela feritické matrice dosahuje až při téměř 30 % Cr. Přidáním křemíku se vznik feritu také podporuje. Litina legovaná chromem má vysokou odolnost vůči korozi, opotřebení a žáruvzdornosti až do vysokých teplot jak můžeme vidět v tabulce 9. Chrom má schopnost vytvořit pasivační vrstvu na povrchu

materiálu a tím se stává litina vysoce korozivzdornou (minimálně 12-14 % Cr v matici). Téměř veškerý uhlík se váže na karbidy, jelikož chrom je karbidotvorný prvek. Pro dosažení alespoň 12 % Cr v matici musí být obsah chromu zvýšen o koncentraci, která je vázaná na karbidy (přibližně 1 % C váže 10 % Cr). Molybden na sebe také naváže část uhlíku [1].

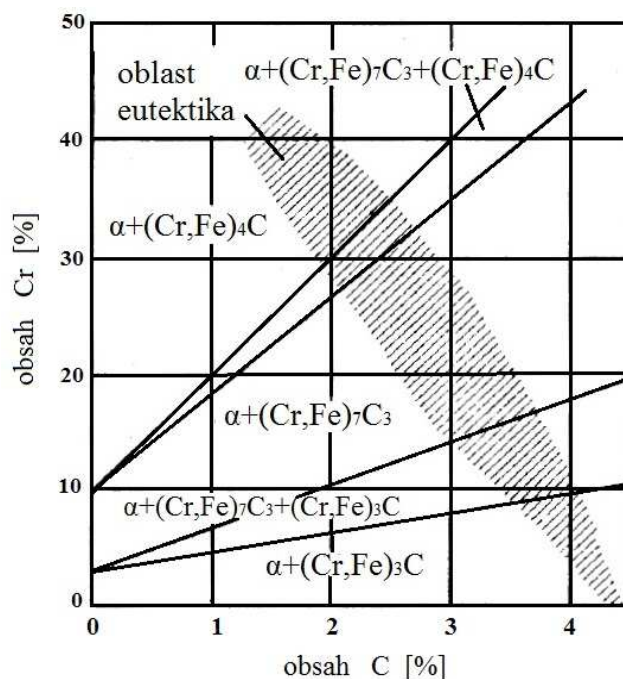
### 3.3.1 Rozdělení litin legovaných chromem

Vysokolegované chromové a chromniklové litiny jsou uplatňovány jako materiály otěruvzdorné, v jiných případech jako žáruvzdorné a žáropevné. Norma ČSN EN 12513 člení litiny legované Cr do dvou základních skupin. Třetí skupinu tvoří nelegované a nízkolegované litiny. Evropská norma ČSN EN 12513 stanoví značky známých otěruvzdorných bílých litin. Značky jsou definovány podle:

- chemického složení,
- tvrdosti.

Značky otěruvzdorných litin uvedené v této normě jsou pro

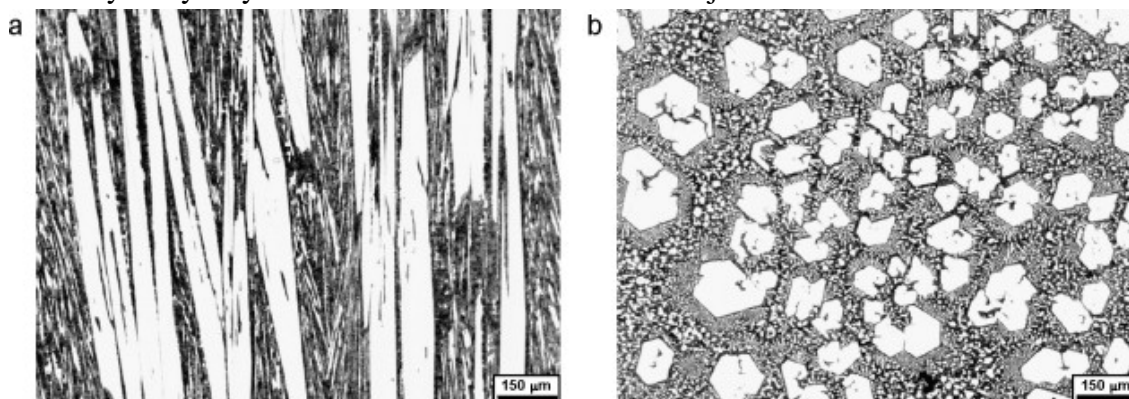
- a) nelegované nebo nízkolegované litiny;
- b) nikl-chromové litiny dvou hlavních typů;
  - litiny legované 4 % Ni a 2 % Cr,
  - litiny legované 9 % Cr a 5 % Ni,
- c) litiny s vysokým obsahem chromu, rozdělené do čtyř skupin podle obsahu chromu:
  - 11 % < Cr ≤ 14 %,
  - 14 % < Cr ≤ 18 %,
  - 18 % < Cr ≤ 23 %,
  - 23 % < Cr ≤ 28 % [1].



Obr. 24 Strukturální diagram chromových litin [2]

Dále se jednotlivé rozsahy obsahů chromu ve třetí skupině litin (bod c) dělí do tří rozpětí obsahu uhlíku. Na obrázku 24 je strukturální diagram chromových litin, kde je patrný výskyt karbidů závislý na obsahu uhlíku a chromu.

Závěrečná skupina litin legovaných Cr označovaná též jako karbidické chromové litiny jsou litiny s vysokým obsahem chromu. Cementit je ve struktuře nahrazen tvrdšími



Obr. 25 Mikrostruktura bílé litiny s 24,41 % Cr ukazující karbidy  $M_7C_3$  ve dvou směrech: (a) podélně a (b) příčně [28]

a stabilnějšími komplexními karbidy  $(Cr, Fe)_7C_3$ , které jsou patrné na obrázku 25. Eventuálně

je nahrazen sekundárními karbidy  $(Cr, Fe)_{23}C_6$  a to při legování litin s vyššími přísadami chromu cca 8-15 % Cr (také v závislosti na obsahu křemíku a uhlíku). Tvrdost těchto karbidů přesahuje tvrdost křemene (a tím pádem i cementitu), což je pro odolnost proti opotřebení významné, protože tato odolnost se může podstatně zvýšit. Nejpoužívanější litiny této skupiny s příklady chemického složení a tvrdosti podle Vickerse udává tab. 10. Perlitická struktura často doprovází chromové litiny v litém stavu a můžeme zde nalézt i značný podíl zbytkového austenitu a to díky vysokému obsahu legujících prvků. Odlitky musíme posléze tepelně zpracovat, jelikož obě složky snižují tvrdost litiny. Obvykle se používají dvě metody tepelného zpracování [1].

Tab. 10 Chemické složení a tvrdost ořezávacích litin s vysokým obsahem chromu [1].

Označení materiálu		Chemické složení v % hmotnosti									Tvrdost HVmin.
značkou	číselně obchodní název	C	Si max	Mn	P max	S max	Cr	Ni max	Mo max	Cu max	
EN-GJN-HV600 (XCr11)	EN-JN3019	>1,8-2,4 >2,4-3,2 >3,2-3,6	1,0	0,5 až 1,5	0,08	0,08	11,0 až 14,0	2,0	3,0	1,2	600
EN-GJN-HV600 (XCr14)	EN-JN3029 (CrMo15-3)	>1,8-2,4 >2,4-3,2 >3,2-3,6	1,0	0,5 až 1,5	0,08	0,08	14,0 až 18,0	2,0	3,0	1,2	600
EN-GJN-HV600 (XCr18)	EN-JN3039 (CrMoNi 20-2-1)	>1,8-2,4 >2,4-3,2 >3,2-3,6	1,0	0,5 až 1,5	0,08	0,08	18,0 až 23,0	2,0	3,0	1,2	600
EN-GJN-HV600 (XCr23)	EN-JN3049	>1,8-2,4 >2,4-3,2 >3,2-3,6	1,0	0,5 až 1,5	0,08	0,08	23,0 až 28,0	2,0	3,0	1,2	600

POZNÁMKA 1 Tažnost a odolnost proti opakovanému rázovému namáhání stoupají s klesajícím obsahem uhlíku.

POZNÁMKA 2 Mikrostruktura ořezávacích litin s vysokým obsahem chromu závisí na rychlosti ochlazování a mění se proto s tloušťkou stěny odlitku. Pro dosažení určitých vlastností je nutná úprava procentuálního obsahu legujících prvků v závislosti na změnách rozměrů odlitku.

POZNÁMKA 3 V případě odlitků s obsahem legur na dolním rozmezí a dodávaných bez tepelného zpracování nebo v případě odlitků s velkými tloušťkami stěn může být obtížné dosáhnout minimální tvrdosti. Požadavky na takové odlitky musí být dohodnuty mezi výrobcem a odběratelem.

POZNÁMKA 4 Označení materiálu značkou je ve shodě s EN 1560 s přídatnými informacemi v závorkách, týkajících se chemického složení. Číselné označení materiálu je ve shodě s EN 1560.

### 3.3.2 Tepelné zpracování litin legovaných chromem

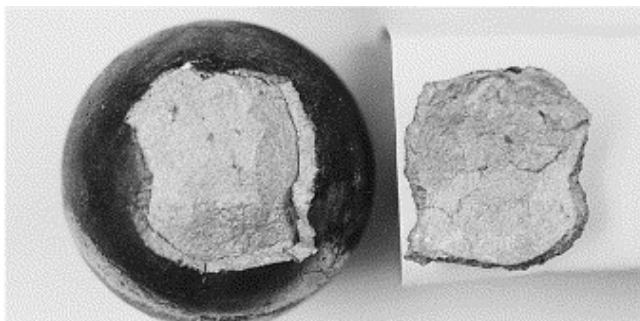
Je-li nutností vysokolegovaný chromový odlitek obrábět, tak si můžeme pomoci žíháním na měkko. Žíhání odlitků probíhá při teplotě 800-950°C (což odpovídá žíhání na měkko), následně se odlitky pomalu chladí což má za následek převážně perlitickou strukturu s tvrdostí pod 450 HV (dokonce až kolem 300 HV při nízkých obsazích uhlíku v litině) [1].

Pro získání martenzitické matrice (kubický martenzit) se používá druhý způsob tepelného zpracování. Abychom dosáhli převážně martenzitickou strukturu je potřeba několik hodin žíhat odlitky při 900-1050°C. Poté se kalí, u odlitků menších rozměrů stačí na vzduchu. Jenže po kalení struktura ještě obsahuje zbytkový austenit, který snižuje tvrdost. Tetragonální martenzit se mění v průběhu popouštění při teplotách 200°C až 250°C na kubický. Pro zvýšení tvrdosti litiny je potřeba, aby se zbytkový austenit rozpadl. To se dosahuje tak, že se odlitky ohřejí na cca 500°C a během následujícího ochlazení se zbytkový austenit rozpadne. Jakmile jsou odlitky tepelně zpracovány, dosahuje jejich tvrdost přes 700 HV (při vysokých

obsazích uhlíku dokonce přes 900 HV). Není potřeba zušlechťovat odlitky menších tloušťek, které se neobrábějí, neboť již v litém stavu mívají martenzitickou strukturu, ale zpravidla se přesto popouští [1].

### 3.3.3 Zlepšení vlastností pro otěruvzdorné bílé litiny

Zvýšení podílu karbidické fáze lze docílit zvýšením obsahem C a legováním dalšími karbidotvornými prvky (V, Nb, W, Ti). Vliv karbidotvorných prvků na odolnost proti opotřebení a houževnatost bílých chromových litin je v tabulce 11. Malé množství těchto přísad poněkud zvyšuje tvrdost komplexních karbidů. Při vyšším obsahu karbidotvorných prvků vznikají speciální disperzní karbidy. Karbidy, které mají vysokou tavicí teplotu (TiC – 2970 K, WC – 2998 K, VC – 3100 K, NbC – 3753 K), mohou sloužit jako nukleační zárodky při krystalizaci primárních karbidů  $M_7C_3$  a modifikovat jejich původní trámčový tvar na kulovité útvary. Strukturu zjemňuje legování vysokochromové litiny vanadem. Lepší houževnatost matrice zajišťují kulovité karbidy VC.



Obr. 26 Odlupování povrchové vrstvy koule [8]

Hrubé primární karbidy umožňují docílit maximálních tvrdostí (> 65 HRC) a vysoké odolnosti proti abrazivnímu opotřebení bez dynamických účinků částic.

V množství případů mají slitiny s austenitickou maticí vyšší lomovou houževnatost než slitiny s martenzitickou maticí. S rostoucím podílem zbytkového austenitu stoupá lomová houževnatost. Deformačně indukovaná tvorba martenzitu v tenkých povrchových vrstvách austenitických litin při kluzné abrazi nezhoršuje jejich houževnatost a zvyšuje jejich otěruvzdornost. Avšak deformačně indukovaná tvorba martenzitu při erozi či abrazi s nárazy částic vyvolává vysoká vnitřní pnutí v povrchových vrstvách, což může vést k tvorbě trhlin a odlupování povrchových vrstev jako na obrázku 26. Např. odlupování povrchových vrstev koulí v cementářských mlýnech způsobí jejich tvarové změny i celkové porušení. To vede k výraznému úbytku produkce cementu [17].

Tab. 11 Vliv karbidotvorných prvků na odolnost proti opotřebení a houževnatost bílých chromových litin [17].

Prvek [%]	typ Cr litiny	kluzná abraze	abraze + rázy	eroze	lomová houževnatost
do 5 V	19Cr	zlepšení do 3,28 V	zlepšení		
4 V	25Cr	zhoršení	zlepšení	zlepšení	zhoršení
do 3,5 Nb	15Cr			zlepšení	
4 Nb	25Cr	zlepšení	zlepšení	zhoršení	
4 W	25Cr	zlepšení	zhoršení	zlepšení	zhoršení
do 2,5 W	28Cr	zlepšení		zlepšení	
0,2 B	28Cr	zlepšení			
0,04 B	12Cr				zlepšení
	21Cr-1Mo	zlepšení			zlepšení
do 0,8 RE	20Cr				zlepšení do 0,4 % RE
do 1,5 Ce	19Cr				zlepšení do 0,5 % Ce

Praktické zkušenosti při zpracování minerálních materiálů ukazují, že vysoká tvrdost materiálu odlitků je příznivá při zpracování měkčích materiálů, kdežto při zpracování tvrdých minerálních materiálů je příhodnější použití odlitků s menším podílem karbidů.

Vzhledem k nezbytnosti zpracovávat rudy s nižším obsahem kovu výrazně narůstá spotřeba otěruvzdorných materiálů. Proto se musí vyvinout další nové typy otěruvzdorných materiálů, které obsahují menší množství drahých legujících přísad.

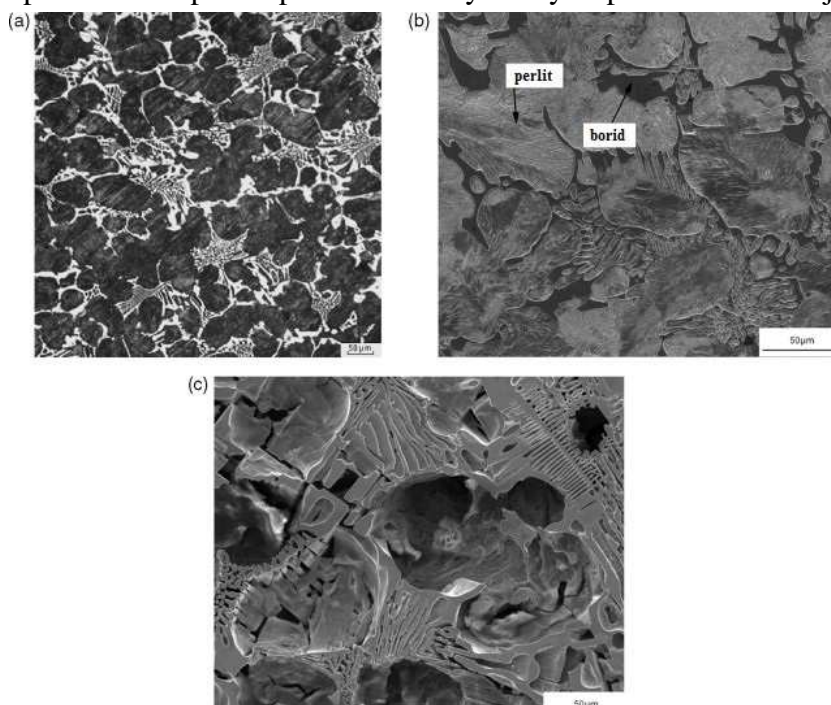
Jedním z přijatelných řešení je vývoj materiálů na bázi chromu a boru. Nahrazení karbidů boridy s vyšší tvrdostí totiž umožňuje zřetelné snížení obsahu uhlíku a tím i zlepšení lomové houževnatosti. Bor z velké části tvoří vysoce tvrdé a křehké boridy  $M_2B$ , které kromě Fe obsahují i další legující prvky [17]. Mikrostruktury litiny s vysokým obsahem boru jsou na obr. 27. Z obr. 27 je vidět, že vysoko bórová bílá litina obsahuje dendritickou matici (obr. 27 (a) a (b)) a interdendritickou eutektickou strukturu, která se distribuuje ve formě kontinuální sítě (obrázek 27 (c)). Morfologie boridu ve vysoko bórové bílé litině je podobná karbidu ve vysokolegované chromové bílé litině [37]. Síťoví boridů, které se vytváří v procesu krystalizace, lze rozrušit tepelným zpracováním, modifikací kovy vzácných zemin a plastickou deformací při tváření za tepla. Výhodou je relativně nízká spotřeba nákladných legujících prvků, dobrá odolnost proti abrazivnímu opotřebení i korozní odolnost. Vývoj těchto slitin v současné době probíhá a doposud publikované výsledky experimentů ukazují na perspektivní použití těchto slitin [17].

Mikrotvrdość karbidů  $(Fe, Cr)_7C_3$  podél osy c je 1,5x vyšší než mikrotvrdość v kolmé linii na tuto osu. Řídící fázi při krystalizaci eutektika složeného z austenitu a  $(Fe, Cr)_7C_3$  je karbid. Větve karbidu jsou obklopeny austenitem. Rychlost ochlazování logicky není totožná na povrchu odlitku a v jádře, zejména u hmotných odlitků. Rychlost ochlazování ovlivňuje rozměr karbidů v eutektických útvech. Výzkum vlivu orientace krystalů u litiny s 3 % C a 12 % Cr ukazuje, že vzorky s krystaly

orientovanými kolmo k povrchu odlitku měly otěruvzdornost 1,25-1,85x vyšší než vzorky s krystaly orientovanými rovnoběžně s povrchem. Čím pomaleji se ochlazoval odlitek, tím větší byl vliv orientace krystalů. Pro bílé litiny s karbidy při poměru Cr/C = 3-10 se stanoví podíl karbidů lineární rovnicí (2).

$$K (\%) = 12,33C + 0,55Cr - 15,2 \quad (3.1)$$

Molybden zpomalí rozpad austenitu v perlitické oblasti, a tím zvyšuje prokalitelnost. Popouštění na teploty 400-500 °C vzorků z bílé litiny Cr27 kalených z teploty 1050-1200 °C se projeví zřetelným zvýšením odolnosti proti abrazivnímu opotřebení. Také u litiny



Obr. 27 Mikrostruktura bílé litiny s vysokým obsahem bóru: (a) mikrofotografie optického mikroskopu, (b) mikrofotografie SEM a (c) trojrozměrná morfologie boridu po hlubokém leptání [37]

Cr15Mo2 se po kalení z 1150 °C ukazuje příznivě popouštění na vyšší teploty (400-500 °C), kdy dochází k růstu tvrdosti. Maximum odolnosti proti abrazivnímu opotřebení nekoresponduje s oblastí maximální tvrdosti, ale existuje při nižších popouštěcích teplotách. Popouštění 200 °C / 2h umožní zredukovat vnitřní pnutí bez snížení odolnosti proti abrazivnímu opotřebení. Popouštění v pásmu 400-500 °C se příznivě projeví růstem odolnosti proti abrazivnímu opotřebení, i když tvrdosti jsou nižší než po kalení [29].

- Modifikovaná chrom-manganová litina se vyznačuje velkou odolností proti abrazivnímu a erozivnímu opotřebení [31]. Dodaný mangan může tvořit karbidy  $Mn_{23}C_6$  a  $Mn_7C_3$  [29]. Tato litina obsahuje 2 až 3,5 hm. % uhlíku, 18 až 24 hm. % chromu, 0,4 až 1,5 hm. % křemíku, kalená z teplot 900 až 1150 °C na vzduchu s následným nízkým popouštěním, vyznačuje se tím, že obsahuje 1 až 2,5 hm. % manganu, 0,3 až 1,5 hm. % niklu, 0,005 až 0,2 hm. % zirkonia a 0,05 až 0,2 hm. % vanadu, dále 0,05 až 0,2 hm. % titanu a 0,001 až 0,05 hm. % boru. U tlustostěnných odlitků litina obsahuje navíc 0,3 až 1,5 hm. % molybdenu [31].

### 3.3.5 Použití chromových litin

Chromové litiny se stávají odolné vůči korozi, jestliže mají v matici rozpuštěno minimálně 12 % Cr. Uplatnění nacházejí jako díly pracující v silně agresivních prostředích. Chromové litiny dobře vzdorují nejen atmosférické korozi, ale i mořské vodě, koncentrované kyselině fosforečné, dusičné, převážně většině zásad a roztokům solí. V redukčním prostředí většině anorganických kyselin ovšem odolávají špatně, především sírové a solné. Používají se na výrobu čerpadel vyhrazených k transportu velmi znečištěných kapalin s intenzivním podílem abrazivního materiálu [1].

Nikl stabilizuje zbytkový austenit a zlepšuje mechanické vlastnosti. Odolnost vůči korozi nezlepšuje, dokonce vůči sirtým plynům ji snižuje. Zlepšení odolnosti vůči kyselině sírové a siřičité se dá zařídit přísadou 4 % Mo [1]. V případech kombinovaného vlivu koroze a opotřebení mohou mít speciální bílé litiny v porovnání s korozivzdornými oceli životnost trojnásobnou jako v případě výroby kyseliny fosforečné [29].

Typické součásti, kde se bílé oteruvzdorné litiny používají, jsou nárazové lišty drtičů, rotory a skříňe bagrovacích čerpadel, lopatky a obložení komor tryskačů, hydrocyklóny (obr. 28), kolena potrubních tras na dopravu hydrosměsí apod. [17].

Dále se vysokolegované bílé litiny používají pro součásti kalových čerpadel a další díly fungující v obtížných podmínkách (důlní stroje a zařízení, manipulace s materiálem, drcení a broušení) [29].

Detailněji se problematice vysokolegovaných chromových litin zabývá loňská bakalářská práce [7].

### 3.4 Nikl-chromové litiny

Strukturu vysokolegovaných nikl-chromových litin tvoří eutektické karbidy typu  $M_3C$  ( $M = Fe, Cr$ ), které jsou uloženy v martenzitické matici se zbytkovým austenitem a s případným podílem bainitu. V litinách s 9 % chromu a 5 % niklu se navíc tvoří též



Obr. 28 Hydrocyklón pro odloučení pískových částic z odpadních vod [30]



komplexní karbidy typů  $M_7C_3$  a  $M_3C$ . Obchodním názvem Ni-Hard jsou často označovány chromniklové (martenzitické) litiny, viz tab. 12 [1]. Martenzitické bílé litiny mají obecně podstatně lepší odolnost proti abrazivnímu opotřebení než nelegované nebo nízkolegované perlitické bílé litiny. Předpokládá se, že tvrdé karbidy ve struktuře jsou lépe ukotveny v nedeformující se a relativně tvrdé matici. Martenzitické bílé litiny mají lepší pevnost v ohybu než perlitické litiny. Zlepšenou houževnatost má litina Ni-Hard 4 zmíněná v tabulce 12 [17]. Chceme-li dosáhnout v odlitku z větší míry martenzitickou strukturu již v litém stavu, musí se přísady legujících prvků volit podle tloušťky stěny odlitku. Kalení tohoto typu litin se nedoporučuje, neboť přináší nebezpečí vzniku prasklin, a to obzvláště u složitějších odlitků. Martenzitické litiny jsou tu a tam dopravovány bez tepelného zpracování. Pro některá upotřebení je příhodné odlitky tepelně zpracovat, především se provádí popouštění tetragonálního martenzitu na kubický (žihání ke snížení vnitřního napětí), a to neprodleně po odlití. Popouštění probíhá při teplotě ( $275 \pm 25^\circ\text{C}$ ) po dobu 8 až 16 h. Odlitky se následně poté chladí na vzduchu nebo se nechají vychladnout v peci [1].

Tab. 12 Tvrdost podle Vickerse a chemické složení ořezavzdorných nikl-chromových litin (ČSN EN 12513) [4].

Označení materiálu značkou		Tvrdost HV <sub>min.</sub>	Chemické složení v % hmotnosti						
číselně (obchodní název)	C		Si	Mn	P	S	Ni	Cr	
EN-GJN-HV520	EN-JN2029 (Ni-Hard 2)	520	2,5 až 3,0	max. 0,8	max. 0,8	max. 0,10	max. 0,10	3,0 až 5,5	1,5 až 3,0
EN-GJN-HV550	EN-JN2039 (Ni-Hard 1)	550	3,0 až 3,6	max. 0,8	max. 0,8	max. 0,10	max. 0,10	3,0 až 5,5	1,5 až 3,0
EN-GJN-HV600	EN-JN2049 (Ni-Hard 4)	600	2,5 až 3,0	1,5 až 2,5	0,3 až 0,8	max. 0,08	max. 0,08	4,5 až 6,5	8,0 až 10,0

**POZNÁMKA 1** Jako vodítko pro poměr mezi tloušťkou stěny odlitku a složením viz tabulky C.1 a C.2 uvnitř normy ČSN EN 12513

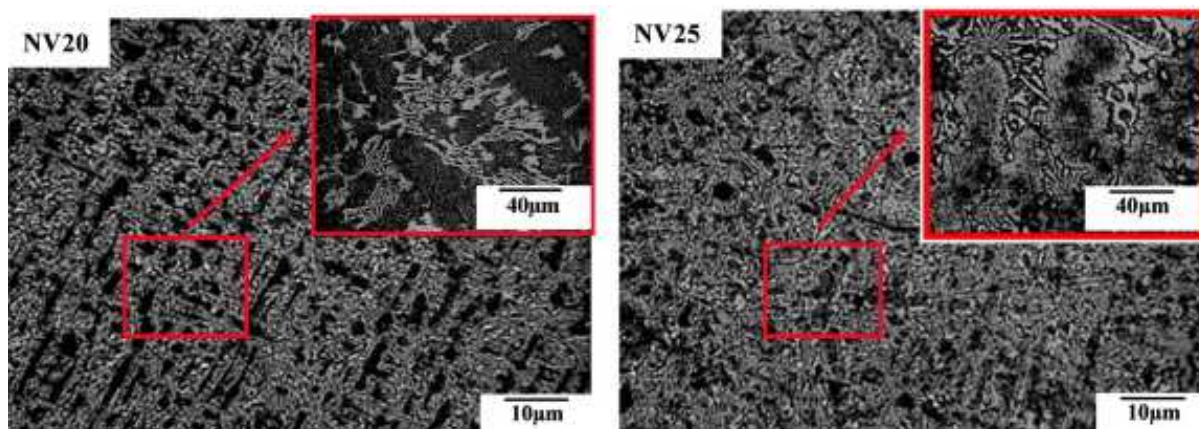
**POZNÁMKA 2** Tažnost a odolnost proti opakovanému rázovému namáhání stoupají s klesajícím obsahem uhlíku. Odolnost proti opotřebení stoupá se stoupajícím obsahem uhlíku.

**POZNÁMKA 3** V případě odlitků s obsahem legur na dolním rozmezí a dodávaných bez tepelného zpracování nebo v případě odlitků s velkými tloušťkami stěn může být obtížné dosáhnout minimální tvrdosti. Požadavky na takové odlitky musí být dohodnuty mezi výrobcem a odběratelem.

**POZNÁMKA 4** Označení materiálu je ve shodě s EN 1560.

Bylo zjištěno, že bor má pozitivní vliv na tvrdost materiálu Ni-Hard 4 a že tvrdost materiálu se zvyšuje lineárně se zvyšujícím se obsahem boru (bylo testováno 0,26; 0,37; 0,49 a 0,55 hm. % B). Výrazná pozitivní změna opotřebení materiálu Ni-Hard 4 byla pozorována s rostoucí koncentrací boru. Zejména vzorky s vysokým obsahem boru vykazovaly dokonalou odolnost proti opotřebení. Podle očekávání klesá houževnatost materiálu Ni-Hard 4 se zvyšujícím se obsahem boru. Bylo zjištěno, že houževnatost materiálu se výrazně zvyšuje temperováním [42].

Byl proveden výzkum ohledně vlivu koncentrace vanadu na mikrostrukturu, mechanické vlastnosti a odolnosti proti opotřebení v bílé litině Ni-Hard4 a došlo se k tomu, že částice VC (karbid vanadu) vedou k výraznému zjemnění konečné mikrostruktury (obr. 29). Po přidání 2 hm. % V mikrostruktura vykazovala nejvyšší tvrdost a odolnost proti opotřebení bez jakéhokoliv poklesu houževnatosti. Tento výzkum také zjistil, že 2 hm. % V zvýšili odolnost vložek v kulovém mlýnu proti opotřebení až o 40 % [43].



Obr. 29 Vliv V na mikrostrukturu litiny Ni-Hard4 kde NV20 je s obsahem 1,96 % V a NV25 s 2,58 % V [43]

### 3.4.1 Použití nikel-chromových litin

Používá se pro aplikace odolné proti abrazi a odolné proti opotřebení v průmyslových odvětvích: hornictví, manipulace se zeminou. Pro výrobu a manipulaci cihel, cementu, písku, šterku. Typickými odlitky jsou míchače nebo vložky směšovačů a kalová čerpadla [41].

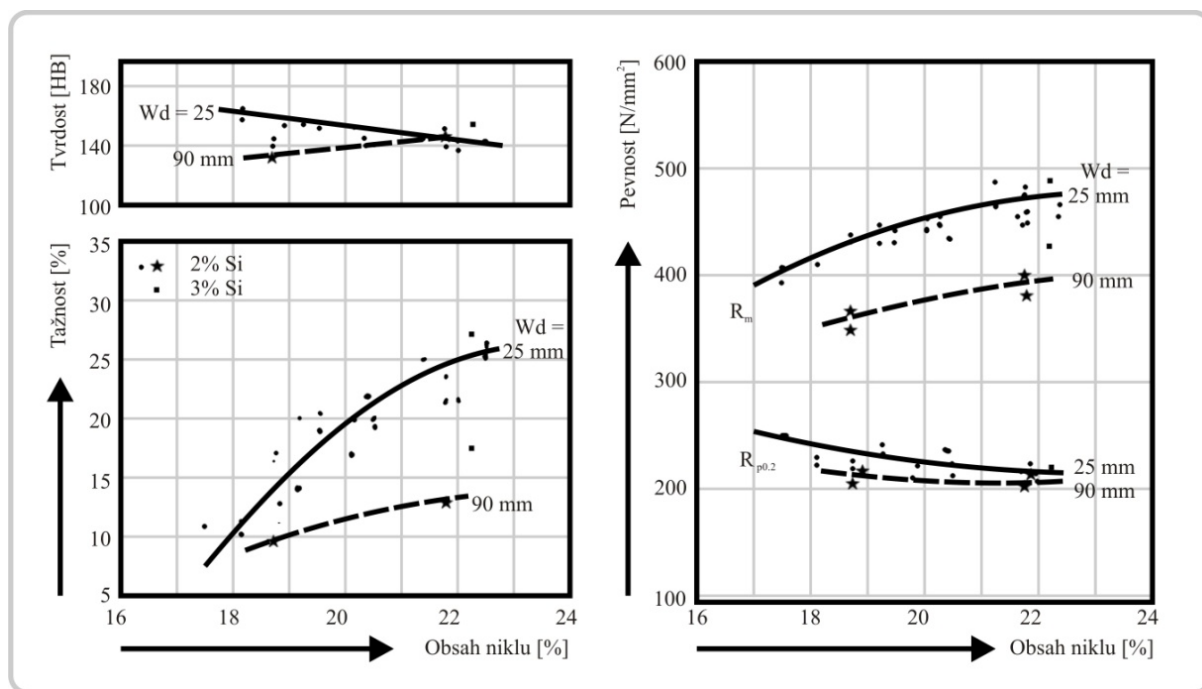
## 3.5 Litiny legované niklem

V roce 1751 byl objeven nikl. Na konci 18. století byly prováděny první pokusy o zlepšení vlastností litin pomocí legování niklem. Detailnější studie zabývající se vlastnostmi litin legovaných niklem byly provedeny na začátku 19. století, avšak nebyla věnována pozornost studiu struktury ani její klasifikaci. V letech 1925 až 1930 byl prováděn v USA a v Anglii základní výzkum austenitických niklových litin. Bylo zjištěno, že i při pokojové teplotě litiny s vysokým obsahem niklu mají austenitickou matici. Vlastní výrobu austenitické niklové litiny pod obchodním názvem Ni-Resist zavedla americká společnost International Nickel, a to právě v letech 1925 až 1930 [5].

Přidaný nikl v litinách zlepšuje pevnost, zesiluje korozivzdornost, odolnost proti opotřebení, žáruvzdornost a v litinách s lupínkovým grafitem trochu zjemňuje jeho částice [1]. Odlitky z austenitické niklové litiny mají lepší povrch a s tím související nižší čistírenskou pracnost [5]. Dělí se do dvou základních skupin a to podle obsahu niklu:

1. bílé litiny s obsahy niklu do 6 %, jsou známé podle obchodního názvu Ni-hard (viz litiny výše zmíněné legované Cr),
2. grafitické litiny (LLG, LKG) s austenitickou základní kovovou hmotou, známé pod názvem Ni-resist.

S rostoucím obsahem niklu ve struktuře roste pevnost a tažnost při současném snížení tvrdosti a meze kluzu, ostatně vliv niklu na mechanické vlastnosti austenitické litiny s kuličkovým



Obr. 30 Vliv obsahu niklu na mechanické vlastnosti a to na tažnost, tvrdost a pevnost [1], [4] grafitem je znázorněn na obr. 30. V tomto obrázku jsou zaznamenány i mechanické vlastnosti v závislosti na síle stěny, a to pro tloušťku 25 a 90 mm. S rostoucí tloušťkou stěny i zde klesá tažnost a pevnost, tak jako u mechanických vlastností nelegovaných litin. Nikl však s rostoucím obsahem pro danou tloušťku stěny naopak tažnost a pevnost mírně zvyšuje [1].

Žáruvzdorné austenitické litiny jsou uvedeny v normě ČSN EN 13835 a dále se používají normy dle ASTM A 439 nebo dle DIN 1694. Norma ČSN EN 13835 rozlišuje dvě skupiny austenitických niklových litin a to litiny pro zvláštní použití a litiny pro všeobecné použití. Austenitické niklové litiny mají chemické složení uvedeno v tab. 13a a 13b. V každé z níže uvedených litin je jedna značka litiny s lupínkovým grafitem. Ostatní značky mají uhlík vyloučený ve formě kuličkového grafitu [4].

Tab. 13a Chemické složení austenitických litin, značky pro všeobecné použití [4].

Tvar grafitu	Označení materiálu		Hmotnostní podíl v %						
	Značkou	číslem	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	Cu
lupínkový	EN-GJLA-XNiCuCr15-6-2	EN-JL3011	max. 3,0	1,0 2,8	0,5 1,5	13,5 17,5	1,0 3,5	max. 0,25	5,5 7,5
		EN-GJSA-XNiCr20-2	EN-JS3011	max. 3,0	1,5 3,0	0,5 1,5	18,0 22,0	1,0 3,5	max. 0,08
kuličkový	EN-GJSA-XNiMn23-4	EN-JS3021	max. 2,6	1,5 2,5	4,0 4,5	22,0 24,0	max. 0,2	max. 0,08	max. 0,50
	EN-GJSA-XNiCrNb20-2*	EN-JS3031	max. 3,0	1,5 2,4	0,5 1,5	18,0 22,0	1,0 3,5	max. 0,08	max. 0,50
	EN-GJSA-XNi22	EN-JS3041	max. 3,0	1,0 3,0	1,5 2,5	21,0 24,0	max. 0,5	max. 0,08	max. 0,50
	EN-GJSA-XNi35	EN-JS3051	max. 2,4	1,5 3,0	0,5 1,5	34,0 36,0	max. 0,2	max. 0,08	max. 0,50
	EN-GJSA-XNiSiCr35-5-2	EN-JS3061	max. 2,0	4,0 6,0	0,5 1,5	34,0 36,0	1,5 2,5	max. 0,08	max. 0,50

\* Dobrá svařitelnost tohoto materiálu s: %Nb  $\leq [0,353-0,032(\text{Si}+64.\% \text{Mg})]$ . Běžně 0,12 až 0,20 %Nb

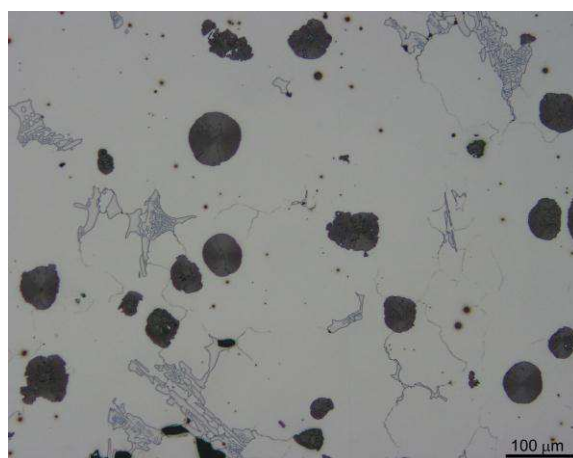
Tab. 13b Chemické složení austenitických litin, značky pro zvláštní použití [4].

Tvar grafitu	Označení materiálu		Hmotnostní podíl v %							
	Značkou	číslem	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	Cu	
lupínkový	EN-GJLA-XNiMn13-7	EN-JL3021	max. 3,0	1,5 3,0	6,0 7,0	12,0 14,0	max. 0,20	max. 0,25	max. 0,50	
		EN-GJSA-XNiMn13-7	EN-JS3071	max. 3,0	2,0 3,0	6,0 7,0	12,0 14,0	max. 0,20	max. 0,08	max. 0,50
kuličkový	EN-GJSA-XNiCr30-3	EN-JS3081	max. 2,6	1,5 3,0	0,5 1,5	28,0 32,0	2,5 3,5	max. 0,08	max. 0,50	
		EN-GJSA-XNiSiCr30-5-5	EN-JS3091	max. 2,6	5,0 6,0	0,5 1,5	28,0 32,0	4,5 5,5	max. 0,08	max. 0,50
		EN-GJSA-XNiCr35-3	EN-JS30101	max. 2,4	1,5 3,0	0,5 1,5	34,0 36,0	2,0 2,0	max. 0,08	max. 0,50

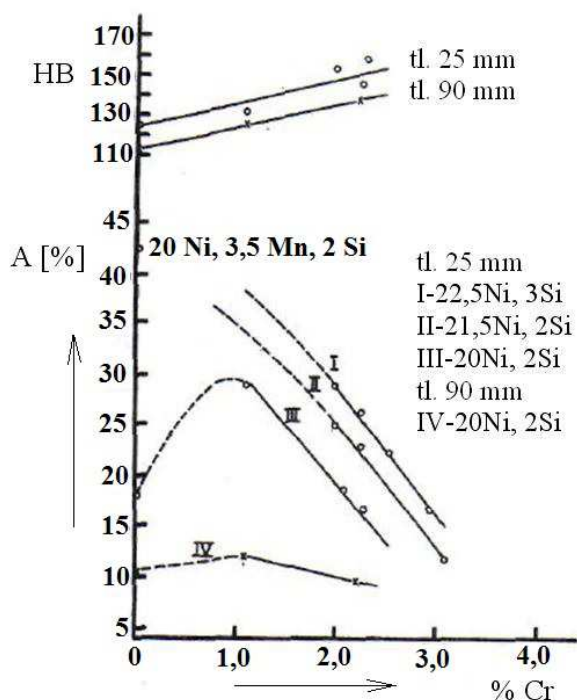
Rozhodující vliv na mechanické vlastnosti má tvar grafitu. V závislosti na způsobu metalurgického zpracování je uložen grafit ve formě lupínek nebo kuliček (obr. 31) ve struktuře, kterou v těchto litinách tvoří stabilní austenit [4]. U značek s obsahem chromu jsou



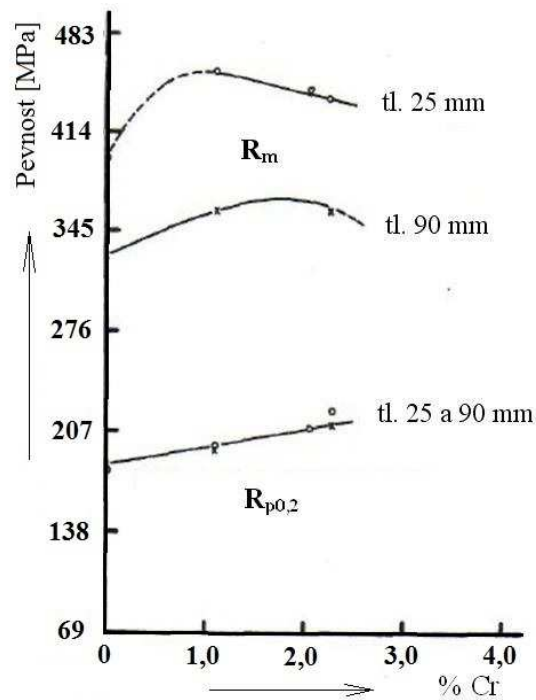
Obr. 31 Struktura austenitické niklové litiny bez karbidotvorných prvků [5]



Obr. 32 Struktura austenitické niklové litiny s obsahem 1,7 % Cr [5]



Obr. 33 Vliv obsahu chromu v rozmezí 0 až 3 % na mechanické vlastnosti austenitických niklových litin [5]



ve struktuře navíc obsaženy karbidy (obr. 32) [5]. Tvar grafitu příliš neovlivňuje fyzikální vlastnosti. Tam kde je od odlitků požadována pouze zvýšená žáruvzdornost, korozivzdornost nebo specifické fyzikální vlastnosti stačí lupínkový grafit. Odlitky u kterých jsou zvýšené požadavky na pevnost a houževnatost je nezbytný kuličkový grafit [4]

Koncentrace k dosažení požadované struktury u austenitických ocelí je 18 % Cr a 8 % Ni. Vysoká koncentrace chromu v litině by ale vyvolala nežádoucí metastabilní tuhnutí, které vede ke zkrěhnutí struktury, a současně by se také zhoršily mechanické vlastnosti, proto je u litiny je jediná cesta, jak se vyhnout metastabilnímu tuhnutí v tomto případě nelegovat chromem [1]. V grafu na obr. 33 je znázorněn vliv koncentrace chromu na pevnost, tvrdost a tažnost pro odlitky kýlových bloků s tloušťkou 25 a 90 mm. Jak je zde vidět, s rostoucím obsahem chromu vzrůstá plynule tvrdost a  $R_{p0,2}$ . Pevnost a tažnost jsou zpočátku přidávkem chromu výrazně zvyšovány, ale při obsahu kolem 1 % chromu se dosahuje maxima a s dalším zvyšováním jeho koncentrace dochází k vylučování stále většího množství karbidů ve struktuře, důsledkem čehož je pak pozvolný pokles těchto mechanických vlastností [5]. Pro dosažení austenitické matrice musíme tedy legovat buď jen niklem a to v koncentraci cca 20 % (u speciálních případů dokonce až 36 %), který zrovna patří k těm nejdražším legujícím prvkům (224,84 Kč/kg [38]). Tendence v praxi je ušetřit a částečně nahradit nikl levnějšími variantami austenitotvorných prvků. U litiny s lupínkovým grafitem se dá nahradit nikl mědí a to až do 8 %, která stabilizaci austenitu podporuje rovněž. U litiny s kuličkovým grafitem se měď použít nedá, protože působí nepříznivě na vznik kuličkového grafitu. Další prvek nahrazující nikl, který také stabilizuje austenit může být mangan, dle EN např. materiál EN-GJSA-XNiMn13-7 obsahující 13 % Ni a 7 % Mn [4]. Cena manganu je v posledních desetiletích přibližně nižší o řád než cena niklu, takže náhrada části niklu manganem má u některých značek austenitických niklových litin i nezanedbatelný ekonomický přínos. Jeho karbidy, které tvoří v litině jsou nemagnetické oproti karbidům chromu, takže připadá v úvahu jen u odlitků, u kterých se požaduje nemagnetičnost, ale nevyžaduje se korozivzdornost. Tyto karbidy manganu zhoršují obrobiteľnosť [5]. Při teplotách mírně pod pokojovou teplotou se podle rovnice (3) doporučuje obsah austenitotvorných prvků, zvláště niklu a obsah chromu volit pro podporu austenitické struktury [1].

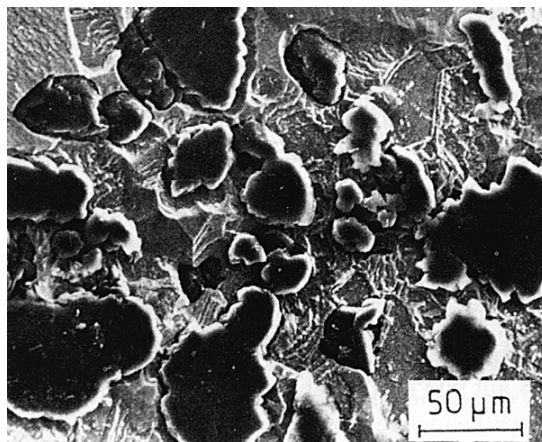
$$Ni_{ek.} = \%Ni + 2 \cdot \%Mn + \%Cr \geq 23,5 \quad (3.2)$$

U obsahu uhlíku, křemíku, niklu a případně i Mn se volba uskutečňuje tak, aby se uhlíkový ekvivalent přibližně rovnal eutektické litině ( $C_E$  cca 4,0 – 4,4). Ve výpočtu musí uhlíkový ekvivalent obsahovat i vliv niklu. Uhlíkový ekvivalent je možné určit např. pomocí vztahu (4) [4], [5]:

$$C_E = \%C + 0,33 \cdot \%Si + 0,047 \cdot \%Ni - 0,0055 \cdot (\%Ni + \%Si) \quad (3.3)$$

U austenitických litin bývá obsah uhlíku snižován a běžně se pohybuje v rozmezí 2,4 – 3 % [1]. Uhlík však současně s křemíkem zvyšuje náchylnost litiny k vylučování chunky grafitu (obr. 34) [5]. Obsah křemíku může být snížen až na 1,0 % Si, pro zvýšení odolnosti proti korozi u některých značek je naopak zvýšen až na 6 %. Chceme-li zvýšit odolnost proti opotřebení a oxidaci, používá se navíc legování chromem do 6 % Cr. Litiny se mohou dále legovat molybdenem do 2 % Mo, který účelně zvyšuje pevnost za vysokých teplot [1].

U vysokolegovaných Ni litin se pro modifikaci tvaru grafitu z lupínkového na zrnitý používá



Obr. 34 Zdegenerovaný chunky grafit (hluboce leptáno) [14]

modifikace předslitinami na niklové bázi. Obsah hořčíku je možno si dle potřeby vybrat ve dvou variantách a to buď v předslitině v koncentracích 4–8 % nebo 14–17 %. Vezmeme-li v potaz, že předslitiny na bázi NiMg mají větší hustotu, oproti klasickým modifikátorům FeSiMg, pak se nemusíme divit, že je dosahováno vyšší využití hořčíku v závislosti na aplikované modifikační metodě. Skutečností je, že předslitiny na bázi NiMg jsou těžší než tavenina a klesají tedy dolů ke dnu pánve. Proto se hořčík odpařuje klidněji a tím je jeho oxidace na hladině také výrazně menší. Modifikace tudíž lze provést přidáním modifikátoru do pánve na hladinu kovu neboť tímto způsobem je využití hořčíku z modifikátoru přes 80 %. Ostatní metody modifikace (sandwich, plněný profil atd.) se můžou využít libovolně [4].

Pevnosti v tahu jsou u austenitických litin s lupínkovým grafitem při 20 °C od 140 do 280 MPa (normy DIN a ASTM), tvrdosti jsou 120 až 250 HB a tažnosti 1 až 3 %. Běžné feritické litiny jsou pevnostní charakteristikou při 20°C srovnatelné s austenitickými litinami s lupínkovým grafitem, které však za snížených a zvýšených teplot běžné litiny předčí. Hodnoty mechanických vlastností pro austenitické niklové litiny podle ČSN EN 12513 jsou uvedeny v tab. 14a a tab. 14b [1], [4].

Tab. 14a Mechanické vlastnosti austenitických litin-značky pro všeobecné použití [4].

Tvar grafitu	Označení materiálu		Pevnost v tahu [R <sub>m</sub> ] N/mm <sup>2</sup> min.	Mez kluzu [Rp <sub>0,2</sub> ] N/mm <sup>2</sup> min.	Tažnost [A] % min.	KV* [J]
	Značkou	číslem				
lupínkový	EN-GJLA-XNiCuCr15-6-2	EN-JL3011	170	-	-	-
kuličkový	EN-GJSA-XNiCr20-2	EN-JS3011	370	210	7	13
	EN-GJSA-XNiMn23-4	EN-JS3021	440	210	25	24
	EN-GJSA-XNiCrNb20-2*	EN-JS3031	370	210	7	13
	EN-GJSA-XNi22	EN-JS3041	370	170	20	20
	EN-GJSA-XNi35	EN-JS3051	370	210	20	-
	EN-GJSA-XNiSiCr35-5-2	EN-JS3061	370	210	10	-

\* Střední hodnota tří zkoušek rázem v ohybu na zkušebním tělese podle EN 10045-1

Tab. 14b Mechanické vlastnosti austenitických litin-značky pro zvláštní použití [4].

Tvar grafitu	Označení materiálu		Pevnost v tahu [R <sub>m</sub> ] N/mm <sup>2</sup> min.	Mez kluzu [Rp <sub>0,2</sub> ] N/mm <sup>2</sup> min.	Tažnost [A] % min.	KV* [J]
	Značkou	číslem				
lupínkový	EN-GJLA-XNiMn13-7	EN-JL3021	140	-	-	-
kuličkový	EN-GJSA-XNiMn13-7	EN-JS3071	390	210	15	-
	EN-GJSA-XNiCr30-3	EN-JS3081	370	210	7	16
	EN-GJSA-XNiSiCr30-5-5	EN-JS3091	390	210	-	-
	EN-GJSA-XNiCr35-3	EN-JS30101	370	210	7	-

Pevnosti austenitických litin s kuličkovým grafitem při 20 °C jsou v tahu 370 až 500 MPa s mezí kluzu 170 až 290 MPa při tažnosti 7 až 40 % (normy DIN a ASTM). Houževnatost austenitických LKG s nelegovanou feritickou LKG je nejmíň srovnatelná. Najdou se i značky, které mají nízký obsah Cr a u těch bývá KCV výrazně vyšší (až přes 40 J/cm<sup>2</sup>) [4].

Je vhodné vyrábět odlitky pracující za zvýšených teplot z austenitické litiny, protože mají dobrou odolnost vůči oxidaci, stabilní strukturu a pevnostní charakteristiky (R<sub>m</sub>, R<sub>p0,2</sub>), které s rostoucí teplotou klesají pomaleji než u nelegovaných LKG s perlitickou nebo feritickou strukturou. Při zjišťování vlivu dlouhodobého namáhání za zvýšených teplot vykazují pevnosti srovnatelné s pevností austenitických ocelí. Současně vykazují menší citlivost na změny teploty než nelegované jakosti litin, jejichž pevnostní charakteristiky padají pod 50 %

prvotních hodnot již při teplotě 500 °C. U austenitických litin se dostáváme k podobnému propadu až za teplot okolo 700 °C [1].

Vysoká houževnatost za nízkých teplot, která se vyznačuje u austenitické litiny, souvisí s krystalografickou mřížkou austenitu (FCC), která nevykazuje tranzitní chování jako je tomu u slitin s BCC mřížkou (např. feritické litiny). Vysokolegované Ni litiny se proto mohou použít i v kryogenní technice a to až do teplot -196 °C [4].

Austenitické niklové litiny také poměrně dobře odolávají tření a abrazi hlavně kvůli karbidům chromu, který je téměř v každé značce austenitických niklových litin. Přítomnost částic grafitu zde hraje nezanedbatelnou roli, jelikož grafit zde působí jako lubrikant. Povrch austenitických niklových litin lze nitrarovat nebo boridovat, tedy sytit povrch borem což dává velmi dobré výsledky. Po boridování povrchu součásti vyrobené z austenitické niklové litiny vykazuje vyšší odolnost proti opotřebení než součást z nitrarované feritické oceli [40].

Austenitické litiny mají slévárenské vlastnosti podobné jako litiny s kuličkovým, popř. s lupínkovým grafitem a tak pozornost spíše vyžaduje tavicí proces a zpracování taveniny. Lící teploty jsou obdobné jako u běžných litin v rozmezí teplot cca 1400 až 1480 °C, ale u těžkých odlitků jsou lící teploty nižší. Vzhledem k jejich dobré zabíhavosti z nich mohou být odlévány složité a tenkostěnné odlitky s povrchem lepším než je tomu u ocelových odlitků. Při srovnání s jinými litinami mají smrštění při tuhnutí i chladnutí větší a to vzhledem k nižšímu obsahu uhlíku a austenitické kovové hmotě. To vyžaduje jako při odlévání oceli používání nálitkování (smrštění až 2 %), což platí především u litin legovaných vedle niklu i chromem [4]. Přídavek na smrštění se zmenšuje se zvyšujícím se obsahem niklu [5]. Část uhlíku se totiž váže na karbidy, což zvýší rozsah stahování odlitků v průběhu eutektické prodlevy.

Austenitické niklové litiny jsou svařitelné. Z hlediska svařování je však požadován nízký obsah nečistot P, S a také Mg. Při svařování jsou v tepelně ovlivněné oblasti svarového spoje tyto litiny náchylné k tvorbě trhlin. Litiny obsahující navíc Cr, Mn jsou v tomto ohledu méně citlivé. Přísada Nb a nízký obsah fosforu zvyšuje odolnost proti tvorbě trhlin při svařování. Pro svařování se především používá ruční svařování elektrickým obloukem s malým příkonem, a to s elektrodami, které mají obsah 40 až 60 % Ni. Odlitky se po svařování buď žíhají k odstranění vnitřního napětí při teplotě 650 až 680 °C nebo se žíhají na měkko při 950 až 1050 °C [1].

Nedestruktivní zkoušky vnitřních vad odlitků nejdou provádět ultrazvukem, jelikož materiál je pro ultrazvukové vlny téměř neprůchodný, proto se musí provádět rentgenem. Bohužel tato metoda neumožňuje u nalezené vady určit její hloubku pod povrchem. Při hledání povrchových vad nelze použít magnetická fluorescenční zkouška kvůli nemagnetické austenitické matici. Pro tento typ vad v úvahu připadá pouze kapilární prášková metoda [5].

### 3.5.1 Použití niklových litin

Austenitické litiny nacházejí uplatnění v praxi, pro tyto vlastnosti:

- Koroziuvzdornost – hlavním zástupcem je litina EN-GJLA-XNiCuCr15-6-2, která je vhodná pro čerpadla, filtry, ventily, součásti zařízení pracující v mořské vodě jako třeba zařízení na odsolování mořské vody, písní kroužky pro píсты z lehkých slitin, míchadla v chemickém průmyslu [4], [39], [5].
- Žáropevnost a žáruvzdornost – hlavní zástupce EN-GJSA-XNiSiCr35-5-2, pro zlepšení žárovevnosti se přidává 1 % Mo [39], odolávají okujení a narůstání až do teploty 800°C [5]. Uplatnění v praxi pro tyto vlastnosti nachází jako skříně spalovacích turbín a turbokompresorů, vložky válců, výfuková potrubí [39], [4].

- Odolnost vůči opotřebení – zástupce EN-GJSA-XNiCr20-2 má dobré kluzné vlastnosti a používá se na čerpadla, turbíny, oběžná kola, vrtule [39].
- Houževnatost při nízkých teplotách – hlavní zástupce EN-GJSA-XNiMn23-4 je nemagnetická, má vysokou houževnatost až do  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  a používá se např. pro kryogenní a chladírenskou techniku [39].
- Nízký součinitel teplotní roztažnosti – hlavní zástupce EN-GJSA-XNi35 která je odolná i proti tepelnému rázu, koeficient tepelné roztažnosti lze měnit změnou obsahu niklu, značky s obsahem asi 35 % niklu mají velmi malou tepelnou roztažnost a používají se pro výrobu měřidel a přípravků pro měření nebo např. forem pro výrobu skleněných výrobků nebo pro díly zalévané do keramiky, obráběcí stroje a přesné přístroje [39], [4].
- Nemagnetičnost – hlavní zástupce EN-GJLA-XNiMn13-7 např. pro energetické aplikace, pro výrobu etážových převodů u námořních minolovek, tlaková víka turbogenerátorů, skříně rozvaděčů, izolační příruby, vývody a kanály pro kabely. Je třeba brát na zřetel, že nemagnetické slitiny se mohou znovu stát feromagnetické při obsahu niklu nad 25 % [39], [5].



## 4 ZÁVĚR

Práce podává přehled o legovaných litinách a jejich použití v praxi. První kapitola slouží k ujasnění, podle čeho se legované litiny dělí. V následující druhé kapitole je přehled o nízkolegovaných litinách, ze kterých je asi nejznámější litina SiMo dle ČSN EN 16124 určená pro výfukové potrubí a turbogenerátory spalovacích motorů. Další zajímavý materiál je nízkolegovaná chromová litina dle ČSN EN 12513, která se hojně používá jako levný materiál na výrobu mlecích koulí. Kapitola o středně a vysokolegovaných litinách seznamuje o hlavních představitelích této skupiny. Je tu zmínka o vyvíjejících se materiálech, jako o korozivzdorném Fersilitu a žáruvzdorném Pyroferalu. Po oteruvzdorné bílé litině je v poslední době velký zájem, hlavně kvůli své aplikaci v těžebním průmyslu. Pro velkou poptávku a snížení ceny této litiny se výzkum zajímá zejména o legování borem. Vysokolegované nikl-chromové litiny jsou známé pod obchodním názvem Ni-Hard a používají se zejména pro svou oteruvzdornost díky karbidům chromu. Austenitické niklové litiny, jsou nejznámější a také nejdražší skupinou vysokolegovaných litin hlavně pro svou austenitickou matici. Jejich obchodní název je Ni-Resist. Vyznačují se více pozitivními vlastnostmi najednou, zejména je to korozivzdornost, odolnost proti opotřebení, žáruvzdornost, nižší čistírenská pracnost a nemagnetičnost. Jednotlivá pozitivní vlastnost se umocňuje vhodným složením. Vyrábí se jako LLG i jako LKG. Tam kde je od odlitků požadována pouze zvýšená žáruvzdornost, korozivzdornost nebo specifické fyzikální vlastnosti stačí lupínkový grafit. Odlitky u kterých jsou zvýšené požadavky na pevnost a houževnatost je nezbytný kuličkový grafit.

Legovaných litin je nepřeborné množství, pro některé aplikace neexistuje lepší materiál než legované litiny, jejich výzkum stále pokračuje a vylepšují se jejich vybrané vlastnosti.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ŠENBERGER, Jaroslav, Zdeněk BŮŽEK, Antonín ZÁDĚRA, Karel STRÁNSKÝ a Václav KAFKA. *Metalurgie oceli na odlitky*. V Brně: VUTIUM, c2008, 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9.
2. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. Brno: PC-DIR Real, 1998, 166 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1263-1.
3. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-720-4248-3.
4. ŠENBERGER, Jaroslav, Antonín ZÁDĚRA, Václav KAŇA a Jan ČECH. Litiny pro speciální použití vyráběné ve slévárnách oceli. In: *Sborník přednášek XVIII. celostátní konference "Výroba a vlastnosti oceli na odlitky a litiny s kuličkovým grafitem"*. Svratka, 2008, s. 12.
5. KAŇA, Václav, Jan ČECH, Antonín ZÁDĚRA a Jaroslav ŠENBERGER. Výroba a vlastnosti austenitických litin. In: *49. slévárenské dny: Sborník přednášek z 49. konference*. Brno: Česká slévárenská společnost, 2012, s. 62-71. ISBN 978-80-02-02405-7.
6. Slévárenská výroba v zahraničí: 50. přehled světové výroby odlitků za rok 2015. *Slévárenství*. 2017, **LXV**(1-2), 59-61. ISSN 0037-6825.
7. KLEMSA, David. *Výroba a vlastnosti otěruvzdorných chromových litin* [online]. BRNO, 2016 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/61097/2016\\_BP\\_Klemsa\\_David\\_161229.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/61097/2016_BP_Klemsa_David_161229.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Bakalářská práce. VUT BRNO. Vedoucí práce Doc. Ing. Antonín Záděra, Ph.D.
8. NOGUCHI, Toru, Kazumichi SHIMIZU, Norio TAKAHASHI a Takashi NAKAMURA. Strength evaluation of cast iron grinding balls by repeated drop tests. *Wear*. 1999, **231**(2), 301-309. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648\(99\)00165-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648(99)00165-9). ISSN 00431648. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164899001659>
9. VADIRAJ, Aravind, G. BALACHANDRAN, M. KAMARAJ, B. GOPALAKRISHNA a K. PRABHAKARA RAO. Studies on mechanical and wear properties of alloyed hypereutectic gray cast irons in the as-cast pearlitic and austempered conditions. *Materials & Design*. 2010, **31**(2), 951-955. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2009.07.030>. ISSN 02613069. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306909003720>
10. MOONESAN, M., A. HONARBAKHSR RAOUF, F. MADAH a A. HABIBOLLAH ZADEH. Effect of alloying elements on thermal shock resistance of gray cast iron. *Journal of Alloys and Compounds*. 2012, **520**, 226-231. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.01.027>. ISSN 09258388. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925838812000758>

11. , Vlastislav Otáhal. *Šedá litina: Litina s lupínkovým grafitem*. Technická příručka. CDRom. Brno, Horská 27, 2009, 311 s. Dostupné také z: [http://otahalconsult.cz/soucasne-produkty/litiny/seda\\_litna\\_lupinekovy\\_grafit/](http://otahalconsult.cz/soucasne-produkty/litiny/seda_litna_lupinekovy_grafit/)
12. , Vlastislav Otáhal. *Vady odlitků: Atlas vad. Železné a neželezné slitiny*. Technická příručka. CDRom. Brno, Horská 27, 2008, 400 s. Dostupné také z: <http://otahalconsult.cz/soucasne-produkty/vadz-odlitku/vady-odlitku-vadz-odlitku/>
13. Chill wedge test piece. In: *Foundry lexikon* [online]. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.giessereilexikon.com/en/foundry-lexikon/Encyclopedia/show/chill-wedge-test-piece-2603/>
14. Chunky graphite. In: *Foundry lexikon* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.giessereilexikon.com/en/foundry-lexikon/Encyclopedia/show/chunky-graphite-2513/>
15. Phosphorous eutectic. *Foundry lexikon* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.giessereilexikon.com/en/foundry-lexikon/Encyclopedia/show/phosphorous-eutectic-3144/>
16. BROOKS, Robert. Accuride Introduces Lightweight Cast Iron Brake Drum: 11% lighter than cast steel, achieves payload increases and fuel savings for commercial vehicles. In: *Foundry management and technology* [online]. Rockford Illinois, 2013 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://foundrymag.com/moldscores/accuride-introduces-lightweight-cast-iron-brake-drum>
17. SUCHÁNEK, Jan. Trendy vývoje bílých otěruvzdorných litin. *Slévárenství*. 2017, **LXV**(1-2/2017), 16-20. ISSN 0037-6825.
18. Piston-ring coating improves fuel economy and reduces CO2 emissions. *Sealing Technology*. 2011, **2011**(10), 2. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4789\(11\)70368-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4789(11)70368-3). ISSN 13504789. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350478911703683>
19. MATTEIS, P., G. SCAVINO, A. CASTELLO a D. FIRRAO. High Temperature Fatigue Properties of a Si-Mo Ductile Cast Iron. *Procedia Materials Science*. 2014, **3**, 2154-2159. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mspro.2014.06.349>. ISSN 22118128. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211812814003502>
20. ROUČKA, Jaromír. Feritické litiny pro cyklické teplotní namáhání. *Slévárenství*. 2017, **LXV**(1-2/2017), 12-15. ISSN 0037-6825.

21. Fotogalerie odlitků. In: *Komerční slévárna šedé a tvárné litiny Turnov* [online]. Turnov, 2008 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.slevarna-turnov.cz/cz/fotogalerie/fotogalerie.htm>
22. ABRAMOVA, Elizaveta. *Výroba a vlastnosti litin typu SiMo*. Brno, 2016. Diplomová práce. VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Doc. Ing. Jaromír Roučka CSc.
23. KRATOCHVÍL, Petr. The history of the search and use of heat resistant Pyroferal® alloys based on FeAl. *Intermetallics*. 2008, **16**(4), 587-591. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.intermet.2008.01.008>. ISSN 09669795. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966979508000174>
24. SCHINDLER, Ivo, Petr KRATOCHVÍL, Petra PROKOPČÁKOVÁ a Petr KOZELSKÝ. Forming of cast Fe – 45 at.% Al alloy with high content of carbon. *Intermetallics*. 2010, **18**(4), 745-747. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.intermet.2009.11.005>. ISSN 09669795. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966979509003021>
25. HUČKA, Jan, Ladislav JABLONSKÝ a Zdeněk KLETEČKA. *Způsob úpravy roztaveného fersilitu mikrolegováním*. 1969. ČSSR Plzeň. 131368. Přihlášeno 27. XII. 1967. Uděleno 15. VIII. 1968. Zapsáno 15. III. 1969. Dostupné také z: <http://spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/131/131368.pdf>
26. High Silicon Cast Iron. In: *Total materia* [online]. Zürich Švýcarsko: Key to Metals, 2015 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=450>
27. SiFe Anode. In: *Corroco International Industrial Co.,Ltd.* [online]. China [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: [http://www.corroco-china.com/protection/protection\\_2/2010-6-28/SiFe-Anode.htm](http://www.corroco-china.com/protection/protection_2/2010-6-28/SiFe-Anode.htm)
28. CORONADO, J.J. Effect of (Fe,Cr)7C3 carbide orientation on abrasion wear resistance and fracture toughness. *Wear*. 2011, **270**(3–4), 287-293. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.wear.2010.10.070>. ISSN 00431648. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164810004047>
29. SUCHÁNEK, Jan. Abrasivní opotřebení bílých chromových litin. *Slévárenství*. 2017, **LXV**(1-2/2017), 21-25. ISSN 0037-6825.
30. Separátor Hydrocyklón ALFA-TURBO: Cyklónový separátor piesku. In: *AQUA-LIVE, s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.aqualive.sk/katalog/product/92-Separator-Hydrocyklon-ALFA-TURBO/>

31. VOCEL, Milan, Alois ŠUSTEK a Josef ŠPUNDA. *Modifikovaná chróm-manganová litina*. 1983. ČSSR. 224440. Přihlášeno 19. 10. 1981. Uděleno 1. 12. 1985. Zapsáno 25. 2. 1983. Dostupné také z: <http://spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/224/224440.pdf>
32. RÖHRING, Klaus. Legovaná litina - 25. díl: Vliv legujících prvků na vlastnosti litiny. *Slévárství*. 2017, **LXV**(1-2/2017), 30-35. ISSN 0037-6825.
33. Alloy Cast Iron. *MatWeb: MATERIAL PROPERTY DATA* [online]. Blacksburg, Virginie, USA [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/Search/MaterialGroupSearch.aspx?GroupID=235>
34. ČSN EN 12513. *Slévárství: Otěruvzdorné litiny*. EU: SAND TEAM, 2002, 15 s. ICS 77.080.10. Dostupné také z: [http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html\\_nahledy/42/62560/62560\\_nahled.htm](http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/42/62560/62560_nahled.htm)
35. ČSN EN 16124. *Slévárství: Nízkolegovaná feritická litina s kuličkovým grafitem pro použití za zvýšených teplot*. EU: Hutnictví železa, 2012, 33 s. ICS 77.080.10. Dostupné také z: [http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html\\_nahledy/42/91983/91983\\_nahled.htm](http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/42/91983/91983_nahled.htm)
36. SOLDÁT, Rostislav. *Sortiment grafitických litin v konstrukci automobilu*. Pardubice, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Doc. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.
37. CHEN, Xiang a Yanxiang LI. Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of high boron white cast iron. *Materials Science and Engineering: A*. 2010, **528**(2), 770-775. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.09.092>. ISSN 09215093. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092150931001138X>
38. Kovy.cz: Světová cena zlata, cena stříbra, cena platiny a ostatních kovů. *Kovy.cz: Monaxa Provider s.r.o.* [online]. Lichnov, 2017 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://www.kovy.cz/cena-zlata-cena-stibra-cena-platiny>
39. ČSN EN 13835. *Slévárství - Austenitické litiny*. Brno: SAND TEAM, 2003, 24 s. ICS 77.080.10. Dostupné také z: [http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html\\_nahledy/42/68510/68510\\_nahled.htm](http://csnonlinefirmy.unmz.cz/html_nahledy/42/68510/68510_nahled.htm)
40. KAŇA, Václav. *Výzkum, optimalizace a zavedení výroby těžkých odlitků z vysokolegovaných litin*. Brno, 2012. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, odbor Slévárství. Vedoucí práce Jaroslav Šenberger.

41. NiHard. *West Salisbury Foundry and Machine Company* [online]. Salisbury, Pennsylvania, USA [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://westsalisburyfoundry.com/nihard-castings/>
42. ÇÖL, Mustafa, Funda Gül KOÇ, Hasan ÖKTEM a Durmuş KIR. The role of boron content in high alloy white cast iron (Ni-Hard 4) on microstructure, mechanical properties and wear resistance. *Wear*. 2016, **348–349**, 158-165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2015.12.007>. ISSN 00431648. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004316481500513X>
43. MOHAMMADNEZHAD, M., V. JAVAHERI, M. SHAMANIAN, M. NASERI a M. BAHRAMI. Effects of vanadium addition on microstructure, mechanical properties and wear resistance of Ni-Hard4 white cast iron. *Materials & Design*. 2013, **49**, 888-893. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.02.043>. ISSN 02613069. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306913001544>
44. NOVÁ, Iva a Jiří MACHUTA. *TEORIE SLÉVÁNÍ: Přednáška č. 10: Zásady metalurgické přípravy oceli na odlitky a zásady odlévání. Tavení v elektrických indukčních pecích, zvláštnosti vedení tavby slitinových ocelí, desoxidace, zásady odlévání oceli.* [online]. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/strojtech/05\\_Iva%20Nova\\_Zasady\\_metalurgicke\\_pripravy\\_oceli\\_n\\_a\\_odlitky.pdf](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/strojtech/05_Iva%20Nova_Zasady_metalurgicke_pripravy_oceli_n_a_odlitky.pdf)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1 Typická mikrostruktura izotermicky zušlechtné LLG [9] .....	10
Obr. 2 Perlitická LLG [11] .....	11
Obr. 3 Zákalky v celém průřezu odlitku z litiny s lupínkovým grafitem [12].....	13
Obr. 4 Příklady zlomených zkušebních vzorků [13] .....	13
Obr. 5 Fosfidické síťoví s 0,5 % P (100x zvětšeno) [15] .....	14
Obr. 6 Vliv legur na pevnost v tahu perlitické LLG dle Crosbyho (3,2 % C, 1,9 % Si, 0,7 % Mn, 0,14 % P) [2].....	15
Obr. 7 Struktura vzorků z LLG: a) nelegovaná; b) 0,5% Mo; c) 0,5 % Cr; d) 1,5 % Ni [10].	16
Obr. 8 Koeficienty vlivu legur na mechanické vlastnosti [2] .....	16
Obr. 9 Mlecí koule [8] .....	17
Obr. 10 Pokles tvrdosti legovaných litin po žíhání na 500 a 550°C [2] .....	17
Obr. 11 Pístní kroužky [18] .....	18
Obr. 12 Brzdový buben [16] .....	18
Obr. 13 Mikrostruktura nízkolegované SiMo litiny [19].....	19
Obr. 14 Schéma průběhu ochlazování LKG s jehlicovitou strukturou.....	19
Obr. 15 Vliv Mo a Ni na křivky rozpadu austenitu [2].....	20
Obr. 16 Závislost obsahu Ni na tloušťce stěn pro litinu se složením 2,8 % C, 2,5 % Si, 0,8 % Mn, 0,5 % Mo [2].....	20
Obr. 17 Oxidace LKG na vzduchu při teplotě 650°C [2] .....	21
Obr. 18 Odlitky vyrobené ze slitiny SiMo (a) potrubí výfukové-střední (b) sklářská forma [21].....	22
Obr. 19 Mikrostruktura vysoce legované křemíkové litiny [26] .....	23
Obr. 20 Příklad použití vysoce legované litiny křemíkem sloužící jako anoda odolávající elektrochemické korozi [27] .....	24
Obr. 21 Závislost obsahu grafitu ve struktuře litin legovaných hliníkem [2].....	25
Obr. 22 Fáze $Al_4C_3$ v Pyroferalu [23].....	26
Obr. 23 Držák ozubených kol v nauhličování pecích, (a) po odlití, (b) samotný držák, a (c) aplikace držáku při funkci držení ozubeného kola v nauhličovací peci [23].....	27
Obr. 24 Strukturní diagram chromových litin [2].....	28
Obr. 25 Mikrostruktura bílé litiny s 24,41 % Cr ukazující karbidy $M_7C_3$ ve dvou směrech: (a) podélně a (b) příčně [28].....	28
Obr. 26 Odlupování povrchové vrstvy koule [8].....	30
Obr. 27 Mikrostruktura bílé litiny s vysokým obsahem bóru: (a) mikrofotografie optického mikroskopu, (b) mikrofotografie SEM a (c) trojrozměrná morfologie boridu po hlubokém leptání [37].....	31
Obr. 28 Hydrocyklón pro odloučení pískových částic z odpadních vod [30] .....	32
Obr. 29 Vliv V na mikrostrukturu litiny Ni-Hard4 kde NV20 je s obsahem 1,96 % V a NV25 s 2,58 % V [43] .....	34

Obr. 30 Vliv obsahu niklu na mechanické vlastnosti a to na tažnost, tvrdost a pevnost [1], [4] .....	35
Obr. 33 Vliv obsahu chromu v rozmezí 0 až 3 % na mechanické vlastnosti austenitických niklových litin [5].....	36
Obr. 32 Struktura austenitické niklové litiny s obsahem 1,7 % Cr [5].....	36
Obr. 31 Struktura austenitické niklové litiny bez karbidotvorných prvků [5].....	36
Obr. 34 Zdegenerovaný chunky grafit (hluboce leptáno) [14].....	37



## SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Produkce litinových a ocelových odlitků v SRN a ČR v roce 2015 [6].	14
Tab. 2	Souhrn vlivů legujících prvků na vlastnosti litiny s lupínkovým grafitem [11].	11
Tab. 3	Nízkolegovaná chromová litina podle ČSN EN 12513 [4].	17
Tab. 4	Transformační teploty při izotermickém kalení LKG [2].	20
Tab. 5	Chemické složení slitin SiMo 40-6 a SiMo 50-10 dle ČSN 16124 [20].	22
Tab. 6	Chemické složení dle normy ASTM 518 a BS 1591 [27].	23
Tab. 7	Průměrný procentní úbytek váhy vzorků po dlouhodobém ponoření do agresivního prostředí různých kyselin [25].	24
Tab. 8	Oblasti použití litin legovaných hliníkem [2].	25
Tab. 9	Závislost žáruvzdornosti na obsahu chromu [2].	27
Tab. 10	Chemické složení a tvrdost ořezavzdorných litin s vysokým obsahem chromu [1].	29
Tab. 11	Vliv karbidotvorných prvků na odolnost proti opotřebení a houževnatost bílých chromových litin [17].	30
Tab. 12	Tvrdost podle Vickerse a chemické složení ořezavzdorných nikl-chromových litin (ČSN EN 12513) [4].	33
Tab. 13a	Chemické složení austenitických litin, značky pro všeobecné použití [4].	35
Tab. 13b	Chemické složení austenitických litin, značky pro zvláštní použití [4].	36
Tab. 14a	Mechanické vlastnosti austenitických litin-značky pro všeobecné použití [4].	38
Tab. 14b	Mechanické vlastnosti austenitických litin-značky pro zvláštní použití [4].	38