



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

# GRAFITICKÉ LITINY VYRÁBĚNÉ VE FIRMĚ SLÉVÁRNA A MODELÁRNA NOVÉ RANSKO A JEJICH CHARAKTERISTIKY

CAST IRON PRODUCING IN FOUNDRY SLÉVÁRNA A MODELÁRNA NOVÉ RANSKO AND THEIR  
CHARACTERISTICS

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Anna Matulová

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Stanislav Věchet, CSc.

BRNO 2017



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav materiálových věd a inženýrství  
Studentka: **Anna Matulová**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Stanislav Věchet, CSc.**  
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:

## **Grafitické litiny vyráběné ve firmě Slévárna a modelárna Nové Ransko a jejich charakteristiky**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Zpracování přehledu grafitických litin, které jsou vyráběné ve firmě Slévárna a modelárna Nové Ransko. Zhodnocení výhod i nevýhod těchto materiálů a perspektiva jejich použití.

### **Cíle bakalářské práce:**

Literární rešerše dané problematiky.

Vypracování přehledu všech druhů grafitických litin, které jsou vyráběné ve firmě Slévárna a modelárna Nové Ransko.

Posouzení výhod i nevýhod těchto materiálů.

Shrnutí zjištěných poznatků a jejich diskuse.

### **Seznam doporučené literatury:**

Askeland, D. R. and P. P. Phulé. The Science and Engineering of Materials. Fifth Edition. Toronto: Thompson Canada Limited, 2006. ISBN 0-534-55396-6.

Callister, W. D. Jr. Materials Science and Engineering. Sixth Edition. USA: John Wiley and Sons, 2003. ISBN 0-471-22471-5.

Ohring, M. Engineering materials science. San Diego, California, USA: Academic Press, 1995. ISBN 0-12-524995-0.

Ptáček, L. a kol. Nauka o materiálu II. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1999. ISBN 80-720-130-4.

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

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se formou literární rešerše zabývá grafitickými litinami vyráběnými ve firmě Slévárna a modelárna Nové Ransko a jejich charakteristikami. V první části jsou charakterizovány grafitické litiny a jejich rozdělení. Dále jsou podrobněji popsány litiny s lupínkovým grafitem a litiny s kuličkovým grafitem z hlediska mechanických vlastností, struktury, chemického složení, výroby, tepelného zpracování a použití, a je specifikována litina izotermicky zušlechtěná. Následně jsou uvedeny a popsány konkrétní grafitické litiny, které Slévárna a modelárna Nové Ransko pro výrobu odlitků používá. Závěrem jsou tyto materiály zhodnoceny a posouzeny jejich výhody a nevýhody.

## **Klíčová slova**

Grafitické litiny, litina s lupínkovým grafitem, litina s kuličkovým grafitem, litina izotermicky zušlechtěná, Slévárna a modelárna Nové Ransko

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with cast iron producing in foundry Slévárna a modelárna Nové Ransko and their characteristics in the form of literary research. In the first part graphite cast iron and its distribution is characterized. Furthermore, grey cast iron and ductile cast iron are described in detail in terms of mechanical properties, structure, chemical composition, production, heat treatment and use, and austempered ductile iron is specified. Then specific graphite cast iron, which foundry Slévárna a modelárna Nové Ransko used for production of castings, is listed and described. In conclusion, these materials are evaluated and their advantages and disadvantages are assessed.

## **Keywords**

Graphite cast iron, grey cast iron, ductile cast iron, austempered ductile iron, Slévárna a modelárna Nové Ransko

## **Bibliografická citace**

MATULOVÁ, A. *Grafitické litiny vyráběné ve firmě Slévárna a modelárna Nové Ransko a jejich charakteristiky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 38 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Stanislav Věchet, CSc..

## **Prohlášení**

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

V Brně dne 26. 5. 2017

.....

Anna Matulová

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala panu prof. Ing. Stanislavu Věchtovi, CSc. za veškerou odbornou pomoc, ochotu, vstřícnost a za poskytnutí cenných rad při vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu během studia.

# Obsah

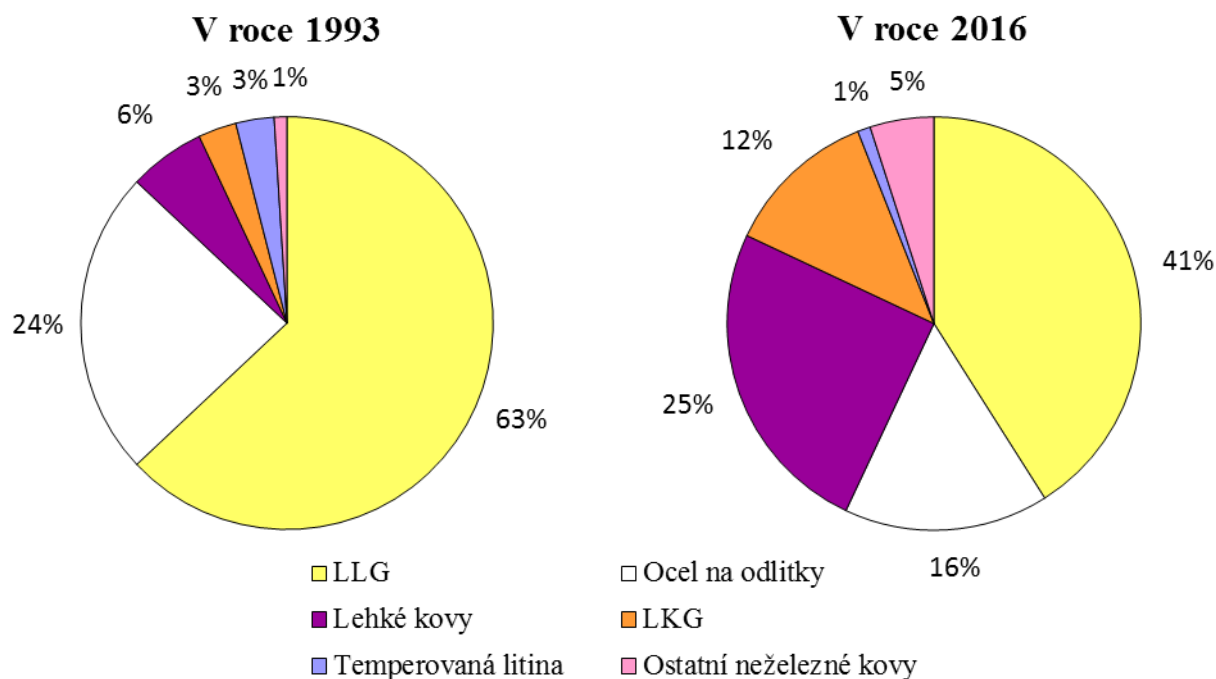
Úvod .....	11
<b>1 Grafitické litiny</b> .....	12
<b>1.1 Rozdělení</b> .....	12
1.1.1 Typy grafitu .....	13
<b>2 Litina s lupínkovým grafitem (LLG)</b> .....	14
<b>2.1 Krystalizace</b> .....	14
<b>2.2 Chemické složení</b> .....	15
<b>2.3 Výroba</b> .....	15
2.3.1 Kuplovna .....	15
2.3.2 Elektrická indukční pec .....	16
<b>2.4 Očkování</b> .....	17
<b>2.5 Tepelné zpracování</b> .....	17
2.5.1 Žihání ke snížení pnutí .....	18
2.5.2 Sferoidizační žihání .....	18
2.5.3 Feritizační žihání .....	18
2.5.4 Žihání ke snížení tvrdosti .....	19
2.5.5 Normalizační žihání .....	19
2.5.6 Povrchové kalení .....	19
<b>2.6 Použití</b> .....	20
2.6.1 Příklady použití .....	20
<b>3 Litina s kuličkovým grafitem (LKG)</b> .....	21
<b>3.1 Krystalizace</b> .....	21
<b>3.2 Chemické složení</b> .....	22
<b>3.3 Výroba</b> .....	22
3.3.1 Vsázkové suroviny .....	23
3.3.2 Tavicí agregáty .....	23
3.3.3 Kelímková středofrekvenční a nízkofrekvenční indukční pec .....	23
<b>3.4 Modifikace</b> .....	24
3.4.1 Způsoby modifikace .....	24
<b>3.5 Tepelné zpracování</b> .....	24
3.5.1 Žihání ke snížení pnutí .....	24
3.5.2 Sferoidizační žihání .....	24
3.5.3 Feritizační žihání .....	25
3.5.4 Normalizační žihání .....	25

3.5.5	Žihání k odstranění volného cementitu .....	25
3.5.6	Izotermické zušlechťování .....	25
3.5.7	Povrchové kalení .....	26
<b>3.6</b>	<b>Použití .....</b>	<b>26</b>
3.6.1	Příklady použití .....	26
<b>4</b>	<b>Litina izotermicky zušlechtěná (ADI) .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1</b>	<b>Tepelné zpracování – izotermické zušlechtění .....</b>	<b>27</b>
4.1.1	Austenitizace .....	27
4.1.2	Izotermická přeměna austenitu .....	28
<b>4.2</b>	<b>Použití .....</b>	<b>28</b>
4.2.1	Příklady použití .....	28
<b>5</b>	<b>Slévárna a modelárna Nové Ransko .....</b>	<b>29</b>
<b>5.1</b>	<b>Historie .....</b>	<b>29</b>
<b>5.2</b>	<b>Současnost .....</b>	<b>30</b>
<b>5.3</b>	<b>Přehled zpracovávaných grafitických litin dle ČSN EN .....</b>	<b>30</b>
5.3.1	EN-GJL-200 .....	30
5.3.2	EN-GJL-250 .....	30
5.3.3	EN-GJS-400-15 .....	31
5.3.4	EN-GJS-500-7 .....	31
5.3.5	EN-GJS-600-3 .....	32
5.3.6	EN-GJS-700-2 .....	32
5.3.7	EN-GJS-800-8 .....	32
5.3.8	EN-GJS-1000-5 .....	32
5.3.9	EN-GJS-1200-2 .....	32
5.3.10	EN-GJS-1400-1 .....	33
<b>Závěr .....</b>		<b>34</b>
<b>Seznam použitých zdrojů a literatury .....</b>		<b>35</b>
<b>Seznam použitých symbolů a zkratk .....</b>		<b>37</b>
<b>Seznam obrázků a tabulek .....</b>		<b>38</b>
<b>Seznam příloh .....</b>		<b>38</b>

## Úvod

Litiny jsou slitiny železa, uhlíku a doprovodných prvků obsahující minimálně 2 % uhlíku. Vyrábí se tavením surového železa, litinových zlomků, vratného litinového materiálu, ocelového odpadu a dalších přísad v kuplovnách nebo elektrických pecích. Jedná se o materiály používané výhradně ve slévárnictví na výrobu odlitků. Litiny mají strukturu kovové matrice tvořenou primární fází a eutektikem. Dělí se tedy z hlediska struktury na litiny bílé s cementitickým eutektikem, grafitické s grafitickým eutektikem nebo tvrzené, které obsahují současně oba typy eutektika. [1], [2], [3]

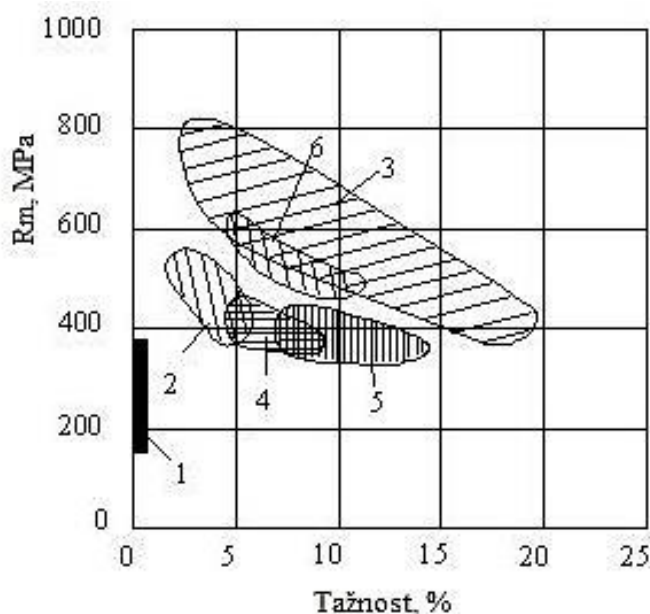
Slévárnská technologie patří k nejstarším technologiím zpracování kovů. Sahá až téměř 3000 let př. n. l., odkud pochází nálezy bronzových odlitků z Mezopotámie, Egypta a Číny. Nejčastěji se tímto způsobem zhotovovaly ozdobné předměty a klenoty. Na našem území se objevují první odlitky asi 2000 let př. n. l. v podobě jednodušších bronzových odlitků, později za doby Velkomoravské říše jako nástroje a zbraně. Od konce 16. století se u nás začíná rozšiřovat výroba odlitků z litiny související s výrobou surového železa. V současné době se hmotnost odlitků vyráběných v České republice pohybuje v rozmezí několika gramů až několika set tun. Na obr. 1 je uveden materiálový vývoj českého slévárnictví po 23 letech. [4], [5]



Obr. 1: Struktura výroby v ČR dle materiálů v roce 1993 a v roce 2016 [5]

# 1 Grafické litiny

Grafické litiny se řadí mezi nejstarší a v současnosti i mezi nejpoužívanější konstrukční materiály. Jsou tvořeny základní kovovou maticí a grafitem. Neobsahují volný cementit. Jejich vlastnosti jsou ovlivňovány tvarem, velikostí, obsahem a rozložením grafitu a také druhem matrice. Ve srovnání s ocelí mají grafické litiny např. menší hustotu, lepší obrobiteľnosť a třecí vlastnosti, schopnost většího tlumení, menší vrubovou citlivost atd. V mnoha případech tak lze odlitky z oceli nahradit odlitky z grafických litin, a tím dosáhnout úspory surovin a energie. Dle normy ČSN EN 1560, viz Příloha 1, může mít grafit tvar lupínkový, kuličkový, červíkový nebo vločkový, což má za následek různý vliv na mechanické vlastnosti materiálu. [1], [2]



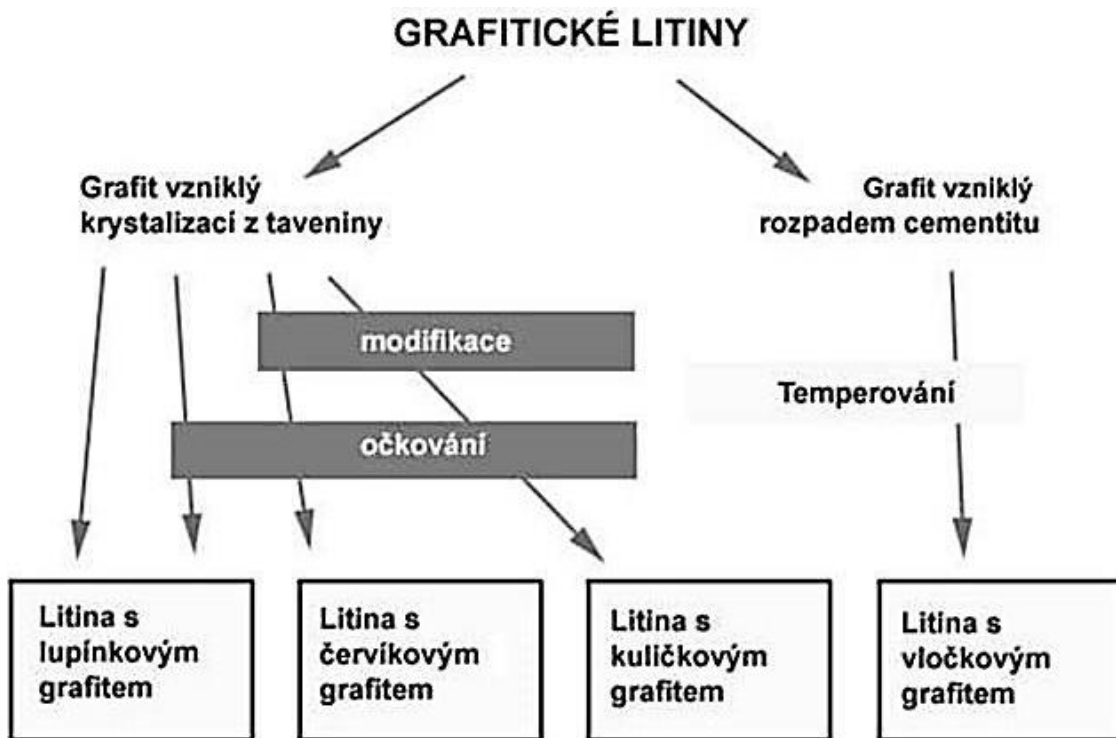
1. Litina s lupínkovým grafitem
2. Litina s červíkovým grafitem
3. Litina s kuličkovým grafitem
4. Litina s vločkovým grafitem (temperovaná litina s bílým lomem)
5. Litina s vločkovým grafitem (temperovaná litina s černým lomem)
6. Temperovaná perlitická litina

Obr. 2: Mechanické vlastnosti grafických litin [6]

Grafit je fáze křehká a měkká. U slitin zchladlých podle stabilní soustavy nemá při feriticko-grafické struktuře množství uhlíku velký vliv na tvrdost. Pevnost, houževnatost a plastické vlastnosti ovlivňuje z větší míry způsob vyloučení grafitu než jeho obsah. Slitiny s lupínkovým grafitem jsou křehké. Porušení nastává křehkým předčasným lomem. Pokud je grafit kuličkový, pevnostní vlastnosti těchto slitin jsou úměrné pevnostním vlastnostem feritu. Avšak plastické vlastnosti a houževnatost jsou nižší než u feritu. [1]

## 1.1 Rozdělení

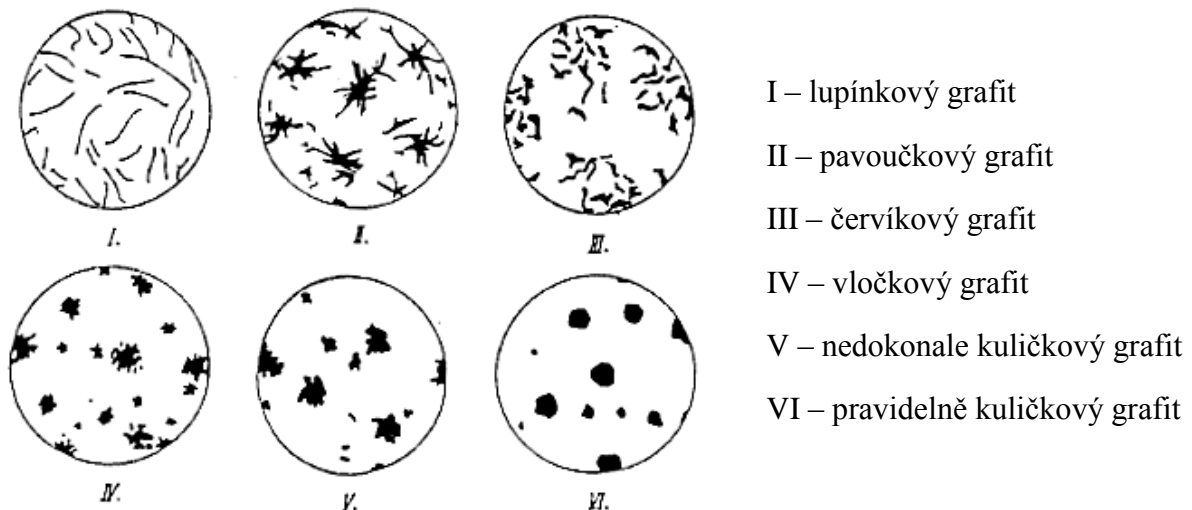
V grafických litinách vzniká grafit krystalizací z taveniny nebo rozpadem cementitu. Krystalizací grafického eutektika se tvoří litina s lupínkovým grafitem, litina s červíkovým grafitem nebo litina s kuličkovým grafitem. To závisí na očkování a modifikaci litiny. U litiny s vločkovým grafitem se grafit vytváří rozpadem cementitu v tuhém stavu až při tepelném zpracování bílých litin temperováním. [1]



Obr. 3: Rozdělení grafitických litin [7]

### 1.1.1 Typy grafitu [3]

Tvar vyloučeného grafitu je základním kritériem pro stanovení druhu litin. Ve struktuře je grafit rozložen v podobě pravidelných, stejnoměrně velkých útvarů, nebo nerovnoměrně, tvořící různě velké a místy seskupené útvary. Dle normy ČSN EN ISO 945 se dělí tvar grafitu do šesti tříd:



Obr. 4: Tvar grafitu v litinách [2]

## 2 Litina s lupínkovým grafitem (LLG)

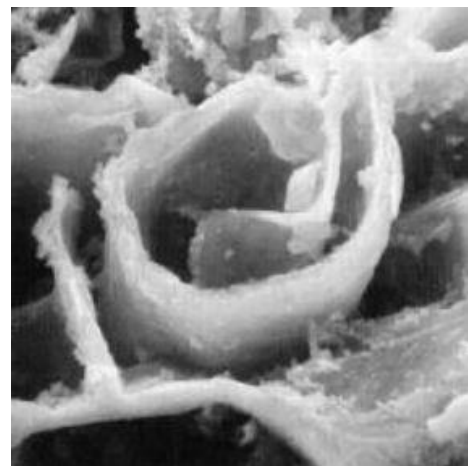
Litina s lupínkovým grafitem, dříve nazývaná šedá litina, má ve struktuře obsažen grafit ve tvaru lupínků. To způsobuje porušení souvislosti základní kovové matrice, a tím získává litina charakteristické vlastnosti. Má dobré slévárenské vlastnosti, ale špatné mechanické vlastnosti zapříčiněné vyšším obsahem grafitu, který způsobuje tvorbu velkého množství vrubů. Materiál tak dosahuje velmi nízké pevnosti a houževnatosti.



Obr. 5: Mikrostruktura perliticko-feritické LLG, leptadlo NITAL [8]

### 2.1 Krystalizace

Počátkem krystalizace grafitického eutektika u litin s lupínkovým grafitem je růst grafitu na cizích zárodcích plovoucích v tavenině. Okolí v tavenině je tak ochuzováno o uhlík a dochází ke krystalizaci druhé fáze eutektika – austenitu. Vznikající plošné útvary tvořící lupínky grafitu jsou následkem krystalizace grafitu v šesterečné mřížce. Růst ve směru krystalografických rovin  $\{0001\}$  je totiž rychlejší než v kolmém směru. Rozvětvené útvary grafitu spolu s austenitem tvoří eutektickou buňku. Na plošném výbrusu vypadají lupínky jako navzájem nesouvisějící částice, přesto grafit vytváří spojitou fázi. Počet eutektických buněk vzrůstá následkem zvyšujícího se přechlazení taveniny a vlivem očkovačel. Po tuhnutí jsou tyto buňky menší, a tím se mění uspořádání a velikost lupínků grafitu. Grafit získává růžicový, případně přechlazený tvar. [1]



Obr. 6: Lupínky grafitu ve struktuře litiny [1]

## 2.2 Chemické složení

Litiny s lupínkovým grafitem jsou převážně podeutektické slitiny. Chemické složení v zastoupení jednotlivých prvků je uvedeno v tab. 1, avšak LLG mohou obsahovat další doprovodné i legující prvky (Cr, Cu, Mo, Ni, Sn, aj.). [1]

Tab. 1: Chemické složení litin s lupínkovým grafitem [1]

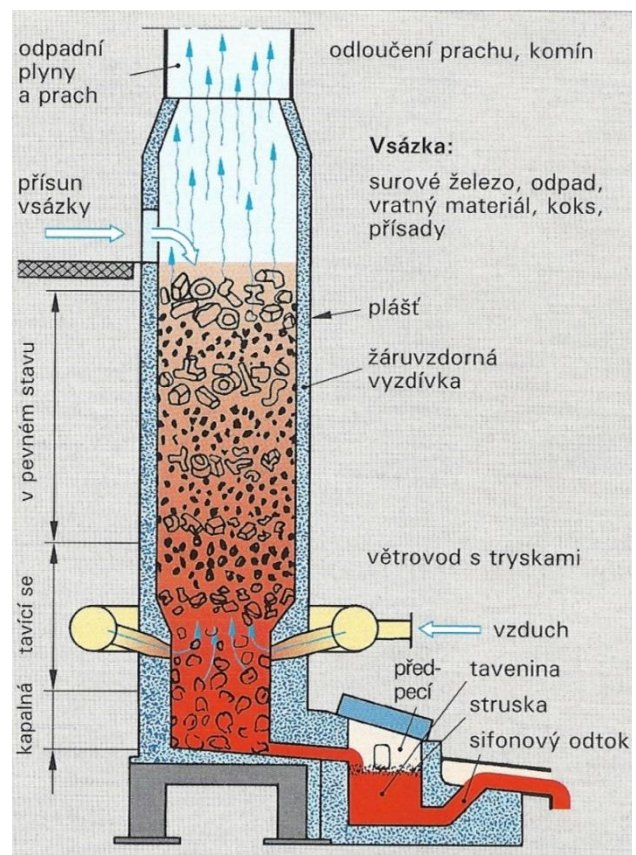
Chemické složení [hmot. %]				
C	Si	Mn	P	S
2,8 – 3,6	1,7 – 2,4	0,5 – 1,0	0,2 – 0,5	max. 0,15

## 2.3 Výroba

Litiny se vyrábí přetavením surového železa a dalších surovin. Tavení LLG se provádí v tavicích agregátech neboli pecích. Jedná se například o kuplovný, plamenný nebo elektrický pec (obloukový, odporový, indukční).

### 2.3.1 Kuplovna

Ve slévárnách litinových odlitků patří kuplovna v současné době mezi ekonomicky nejvýhodnější a také nejpoužívanější tavicí zařízení. Používá se zejména pro litinu s lupínkovým grafitem, méně i pro litinu s kuličkovým grafitem. Je to šachtová pec s vysokým stupněm tepelné účinnosti, která pracuje podle protiproudového principu. Shora, sázecím otvorem se nasypává vsázka složená ze surového železa, ocelového a litinového odpadu, vratného materiálu, koksu a přísad. Větrovodem s tryskami se spodem přivádí vzduch potřebný k hoření paliva a vzniklým teplem se taví kovová vsázka. Celý sloupec materiálu v šachtě kuplovně klesá a na uvolněné místo přichází shora další vsázka. Vzniklá tavenina stéká do předpeci, odkud se vypouští sifonovým odtokem. Mezi další výhody kuplovně patří plynulá dodávka kovu s nepřetržitým provozním cyklem, jednoduchost vlastního pochodu, vysoké tavicí výkony, nízké výrobní náklady a investičně méně náročná konstrukce. [9], [10]



Obr. 7: Kuplovna [11]



Obr. 8: Odpich litiny z kuplovný [12]

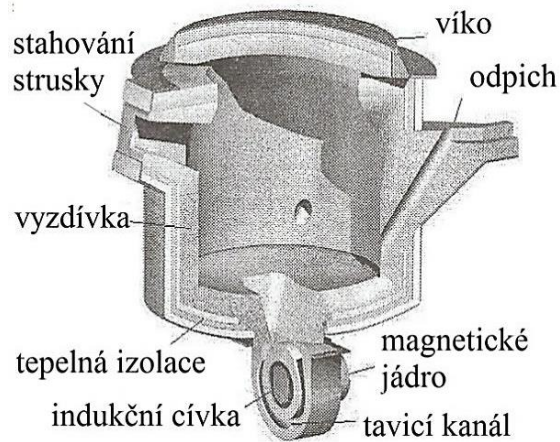
### 2.3.2 Elektrická indukční pec

Pro výrobu litin se používají elektrické středofrekvenční indukční pece. Tavení probíhá v keramickém kelímku využitím elektromagnetické indukce. Vodou chlazený induktor je sekundárním vinutím, tavený kov lze považovat za primární vinutí. Vsázka surovin pro tavení se působením indukce zahřívá až na teplotu tavení. Induktor je napájen proudem z měniče, protože středofrekvenční pece pracují obvykle s kmitočtem v rozsahu 300 až 600 Hz. Tavení trvá cca 45 min. Tavení v EIP je z hlediska nákladů výhodnější v porovnání s kuplovnou při objemech nad 2,5 t vsázky.



Obr. 9: Elektrická indukční pec JUNKER [13]

Pro udržování tekutého kovu se používají elektrické indukční kanálkové pece. Mají převážně uzavřené kanály a v současnosti jsou používány jako dávkovací pece na linkách strojních formoven. Jsou často také s přihřevem, aby byla během odlévání dodržena lící teplota.



Obr. 10: Elektrická indukční kanálková pec [10]

## 2.4 Očkování

Očkování je vnášení malého množství vhodné substance (očkovadla) do tekutého kovu pro zvýšení množství krystalizačních zárodků. Očkováním prvky, které snižují rozpustnost uhlíku, vzniká v tavenině lokálně tavenina přesycená právě uhlíkem. Vzniklý shluk molekul grafitu je tedy nový zárodek (homogenní nukleace). Vznikají také tzv. oxidické zárodky. Po přidání FeSi proběhne v tavenině desoxidace, čímž vzniknou jemné částice  $\text{SiO}_2$  sloužící jako zárodky, na kterých vzniká grafit (heterogenní nukleace). Nejčastěji se očkovadla přidávají do taveniny sypáním do proudu kovu při vylévání z pece nebo sypáním do lící pánve. Ferosilicium FeSi75 (slitina Fe se 75 % Si) je nejpoužívanějším očkovadlem. [6]

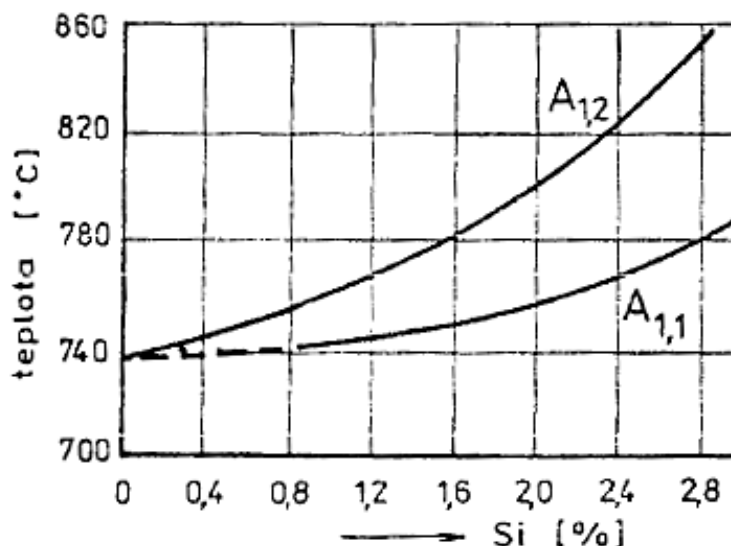
## 2.5 Tepelné zpracování

Provádí se především tehdy, pokud nelze získat požadované vlastnosti odlitku již v litém stavu. Pomocí tepelného zpracování chceme nejčastěji dosáhnout snížení vnitřního pnutí, zlepšení obrobiteľnosti nebo zvýšení tvrdosti a odolnosti povrchu materiálu proti opotřebení. Proces tepelného zpracování vychází z rovnovážného diagramu Fe – C a zároveň udávané koncentrace a teploty jsou závislé na obsahu dalších prvků, zejména křemíku. [2], [3], [10]

Teploty eutektoidní transformace lze určit ze vztahů (teploty ve  $^{\circ}\text{C}$ ): [3]

$$A_{11} = 738 + 5 \cdot \% \text{Si}^2 \quad (1)$$

$$A_{12} = 738 + 18 \cdot \% \text{Si}^{1,75} \quad (2)$$



Obr. 11: Závislost transformačních teplot na obsahu křemíku [3]

Tepelná zpracování pro maximální teplotu nižší než je eutektoidní  $A_{1,1}$ – $A_{1,2}$ :

### 2.5.1 Žihání ke snížení pnutí

Vhodné u tvarově složitých odlitků. Stabilita rozměrů odlitků roste a křehkost při zatížení klesá. Během chlazení nastává v odlitku výrazné tepelné, neboli tahové napětí (zvyšující se rychlostí chlazení), nerovnoměrná tloušťka stěn odlitků apod. Při vzniku velkého napětí může dojít k prasknutí odlitku. Tomu jde předejít žiháním při teplotě pod  $A_{1,1}$ . Napětí začíná klesat po výdrži na teplotě nad 400 °C. K úplnému odstranění dojde až při teplotě nad 500 °C a výdrži 1 000 min. Nad teplotou 550 °C už však dochází k částečné sferoidizaci eutektického cementitu, což způsobuje pozvolný pokles pevnosti. Aby se předešlo opětovnému vzniku napětí, tak po výdrži na žihací teplotě je vhodné ochlazovat rychlostí 25 až 80 °C za hodinu a od 200 až 100 °C dochlazovat na vzduchu. Příliš rychlý ohřev na žihací teplotu může vytvořit další napětí a způsobit tak prasknutí odlitku už při ohřevu. [6]

### 2.5.2 Sferoidizační žihání

Má za následek zlepšení obrobitelnosti litin s velmi jemným a tvrdým lamelárním perlitem. Lamely perlitického cementitu se sbalují (zrnitý perlit) a dochází ke snižování tvrdosti litiny. Tento proces probíhá kolem eutektoidní teploty (650 až 750 °C) s výdrží 1 až 2 hodiny na 25 mm tloušťky stěny. [14]

### 2.5.3 Feritizační žihání

Toto tepelné zpracování se používá za účelem rozpadu perlitického cementitu a zvýšení podílu feritu ve struktuře. Rozpad nastává již při podkritických teplotách a s maximální rychlostí těsně pod spodní kritickou teplotou. Chemické složení značně ovlivňuje rychlost této přeměny. Například prvky Si a Al snižují stabilitu cementitu, a tak zvyšují rychlost rozpadu perlitu. Prvky stabilizující cementit (Mn, Cr, V, Mo) na druhou stranu zpomalují rozpad nebo ho umožňují až při vyšších teplotách. V průběhu feritizačního žihání uhlík difunduje a připojuje se na již existující částice grafitu. Podmínky difuze tak určují rychlost feritizace. Urychluje se za vyšších teplot a při jemnozrnném vyloučení grafitu. [3], [14]

Tepelná zpracování pro maximální teplotu nad teplotou  $A_{1,2}$ :

#### 2.5.4 Žihání ke snížení tvrdosti

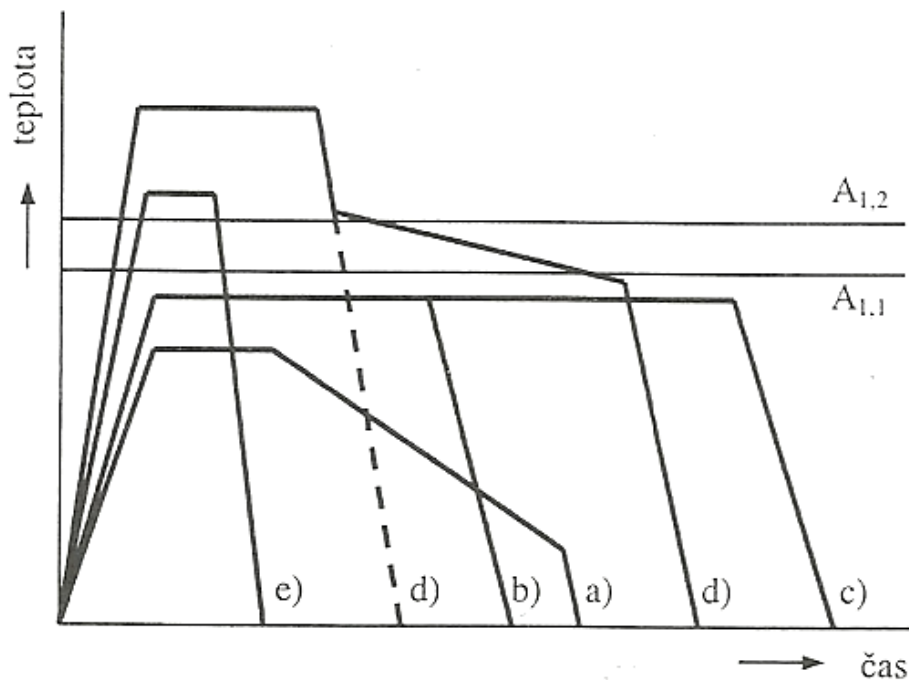
Dochází při něm ke snížení tvrdosti, zlepšení obrobiteľnosti a plastických vlastností. Je nutné při výskytu ledeburitu ve struktuře, který zhoršuje obrobiteľnost. Rozpad ledeburitického cementitu nastává za teplot 900 až 950 °C při výdržu po dobu 2 až 3 hodiny a je následován ochlazováním s rychlostí 50 až 100 °C za hodinu. K dosažení požadovaného poměru feritu a perlitu je nutné pokles teploty přes eutektoidní interval regulovat. [6], [14]

#### 2.5.5 Normalizační žihání

Cílem normalizačního žihání je získání odlitku s vyšší tvrdostí, pevností a odolností proti opotřebení. Vhodné zejména, když je po odlití ve struktuře vyšší obsah feritu. Austenitizace probíhá za teploty 850 až 900 °C a následně se odlitky ochlazují volně na vzduchu. Dochází převážně k přeměně austenitu na perlit. [2], [14]

#### 2.5.6 Povrchové kalení

Používá se za účelem zvýšení odolnosti odlitku proti opotřebení. Je požadována perlitická výchozí struktura matrice, obsah feritu do 15 % a jemný grafit rovnoměrně rozložený v matrici. Povrchové kalení se provádí indukční nebo plamenem a kalicím prostředím je voda nebo olej. Zakalená vrstva má hloubku obvykle 1 až 5 mm. Využívá se např. na vodící plochy obráběcích strojů, vačky a čepy vačkových hřídelů spalovacích motorů. [2], [6]



Obr. 12: Způsoby žihání grafitických litin [2]

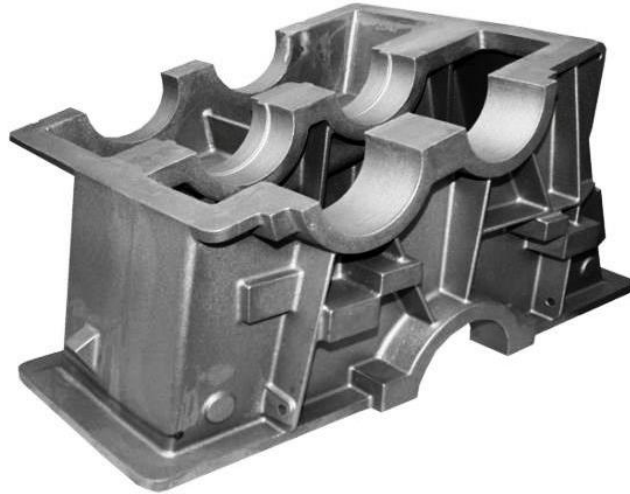
- a) žihání ke snížení pnutí
- b) sferoidizační žihání
- c) feritizační žihání
- d) žihání ke snížení tvrdosti
- e) normalizační žihání

## 2.6 Použití

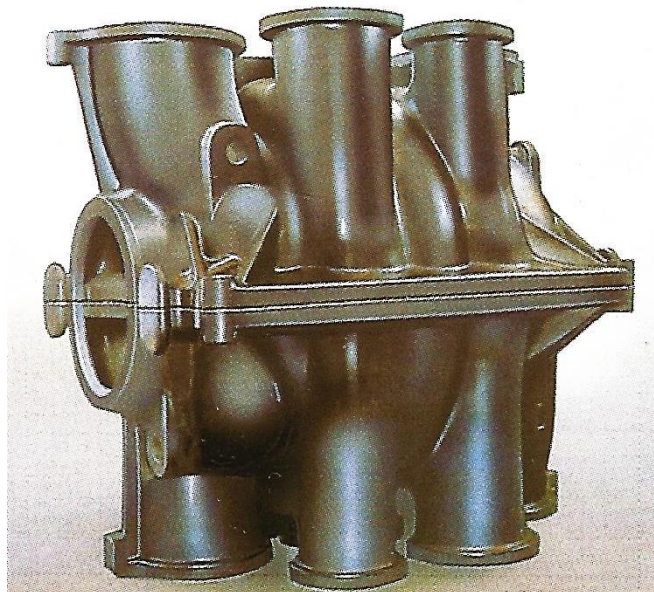
Použití této litiny je velmi široké, jak pro kusovou, tak i sériovou výrobu. Je většinou nelegovaná, jen pro statické namáhání a vhodná k obrábění na automatických linkách. [10]

### 2.6.1 Příklady použití: [10]

- motorová vozidla
- motory
- trouby
- ventily
- čerpadla
- kokily
- stavebnictví
- zemědělství
- chlazení
- vytápění
- kompresory
- doprava



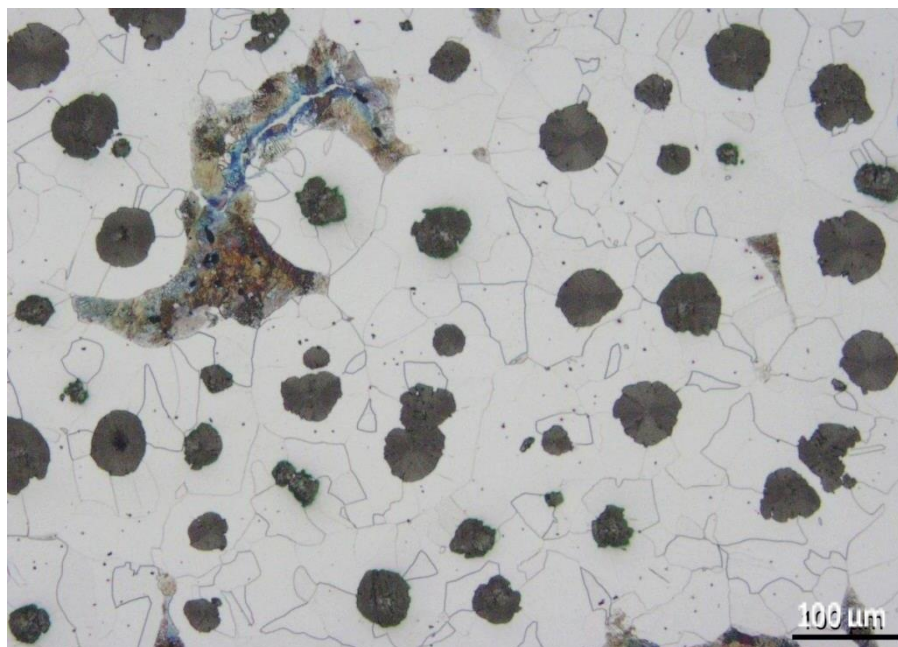
Obr. 13: Skříň převodovky z litiny s lupínkovým grafitem [15]



Obr. 14: Odlitek kompresoru z LLG [16]

### 3 Litina s kuličkovým grafitem (LKG)

Litina s kuličkovým grafitem, neboli tvárná litina, má grafit v základní kovové matici uložen v podobě kulovitých zrn. Kulovitý tvar zrn má příznivý vliv na koncentraci napětí. Proto díky menšímu vrubovému účinku dosahuje materiál vysoké pevnosti i dobré tažnosti a houževnatosti. Má tedy výrazně lepší mechanické vlastnosti v porovnání s litinou s lupínkovým grafitem.

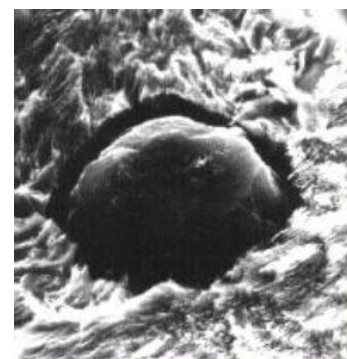


Obr. 15: Mikrostruktura feritické litiny s kuličkovým grafitem, leptadlo NITAL [8]

V České republice se litina s kuličkovým grafitem začala průmyslově vyrábět v roce 1948. Výroba odlitků z LKG je výhodnější z hlediska nižších nákladů na výrobu, nižší měrné hmotnosti než u ocelí, dobrých slévárenských vlastností nebo kvůli vyššímu útlumu vibrací. Lze ji použít k odlévání mnoha součástí, které byly dříve zhotovovány tvářením nebo odléváním z oceli. Vhodná je např. na výrobu klikových hřídelů, ojníc, pístů, pístních kroužků, těles čerpadel aj. [17], [18], [19]

#### 3.1 Krystalizace

U litiny s kuličkovým grafitem se kuličky grafitu tvoří přímo v tavenině. Ze zárodků rostou všemi směry podélně orientované krystaly grafitu. Ty tvoří kulovitý tvar a každá kulička představuje jeden zárodek. Kuličky grafitu jsou oproti lupínkovému grafitu od taveniny úplně izolované, protože jsou obklopeny obálkou z austenitu. K dalšímu růstu dochází pouze difuzí uhlíku přes austenitickou obálku. Během růstu kuličky grafitu v obálkách docílí maximální velikosti, jakmile na sebe narazí rostoucí austenitické obálky. Oblasti na hranicích eutektických buněk se zbylou taveninou ztuhnou nakonec. V okolí kuliček se vyskytují tzv. feritické dvorce. [1]



Obr. 16: Kulička grafitu ve struktuře litiny [1]

### 3.2 Chemické složení

Slévárenské i mechanické vlastnosti materiálu podstatně závisí na chemickém složení, proto je nutná jeho důkladná kontrola, aby se získala požadovaná konečná struktura litiny. Konkrétní obsahy jednotlivých prvků v závislosti na požadované matici jsou uvedeny v tab. 2.

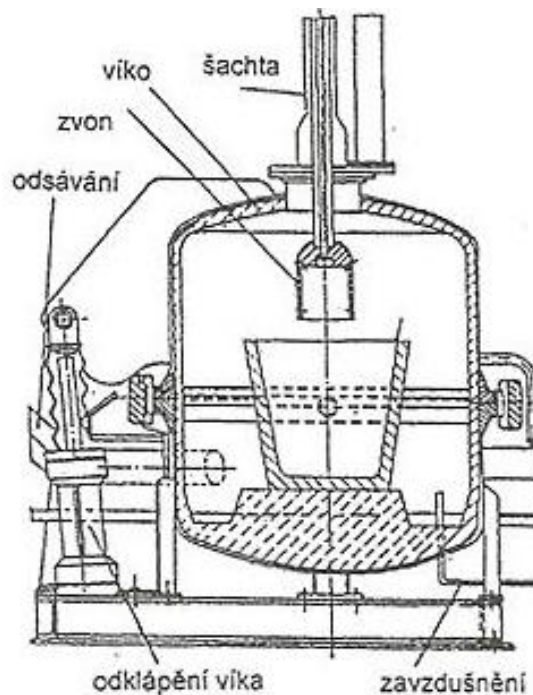
Tab. 2: Chemické složení litin s kuličkovým grafitem [6]

Struktura	% C*	% Si*	% Mn	% P	% S	% Mg
Ferit v litém stavu nebo po feritizačním žihání	< 4,00	< 2,5	< 0,2	< 0,05	< 0,01	0,03 až 0,06
Ferit/perlit v litém stavu nebo po žihání	< 4,00	1,7 až 2,8	< 0,3	< 0,1	< 0,01	0,03 až 0,06
Perlit v litém stavu nebo po normalizačním žihání	< 4,00	1,7 až 2,8	0,5 až 0,25	< 0,1	< 0,01	0,03 až 0,06

\*) – v závislosti na tloušťce stěny

### 3.3 Výroba

LKG se v minulosti vyráběla modifikováním taveniny čistým hořčíkem v autoklávu (ve sferoklávu, v GF konvertoru), v současnosti hořčíkovými předslitinami přímo v pánvi (Sandwich, Tundish cover), průtočným zařízením metodou Flow-through (Flotret) nebo formě tj. v reakční komůrce (In-mold). Hořčík je karbidotvorná přísada podporující vznik metastabilního ledeburitického eutektika. Proto po modifikaci dochází ke grafitizačnímu očkování ferosiliciem kvůli potlačení karbidotvorných účinků hořčíku. [18]



Obr. 17: Autokláv pro ponořování Mg do litiny [10]

### 3.3.1 Vsázkové suroviny [3]

Suroviny pro výrobu litiny s kuličkovým grafitem musí mít výrazně vyšší kvalitu, než pro výrobu litiny s lupínkovým grafitem. Je požadován nízký obsah síry, fosforu, karbidotvorných prvků a nečistot, které ovlivňují tvar grafitu. Záleží ovšem také na použitém tavicím agregátu.

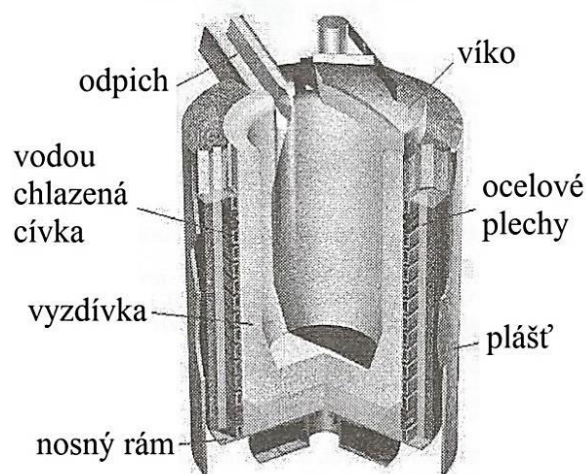
- Surové železo – využívají se vysokopecní surová železa s vyšší čistotou, nebo surová železa, vyrobená speciálními rafinačními postupy
- Vratný materiál
  - vrat LKG – důležité třídit materiál různých značek, protože se mohou lišit obsahem perlitotvorných prvků
  - ocelový odpad – musí být důkladně tříděn, kontroluje se množství manganu a karbidotvorných prvků
  - litinový odpad – z LLG, nepoužívá se z důvodu neurčitého složení

### 3.3.2 Tavicí agregáty

Od tavicích zařízení se požaduje co nejnižší obsah síry v natavené litině (do 0,02 % S). Pokud se nedosáhne požadovaného obsahu síry, je možné jeho snížení odsířením. Modifikuje-li se předslitinami Fe-Si-Mg, množství křemíku má být kolem 1,0–1,5 %. Obsah uhlíku má dosahovat až kolem 3,5–3,8 % a odpichová teplota 1480 až 1540 °C. Podmínkou pro výrobu litiny s kuličkovým grafitem také je, že tavicí agregát udržuje stabilní vlastnosti litiny a kontroluje její kvalitu. Nejvíce jsou využívány indukční pece kelímkové a méně bubnové pece. [3]

### 3.3.3 Kelímková středofrekvenční a nízkofrekvenční indukční pec

Používá se většinou k tavení litin s vysokou pevností. Velkou výhodou je možnost optimalizace tavicích procesů, jako je velmi přesné řízení, kontrola chodu tavení (malý rozptyl chemického složení, teploty, studená struska apod.) a možnost použití levnější kovové vsázky. Na druhé straně je však nevýhodou vyšší cena elektrické energie, vysoké náklady na ni, vysoké investiční náklady, relativně malý tavicí výkon a přerušované dodávky tekutého kovu. Pro specifickou výrobu litin a odlitků lze využít kombinaci kuplovný a elektrické indukční kelímkové pece, nazývané Duplex. [10]



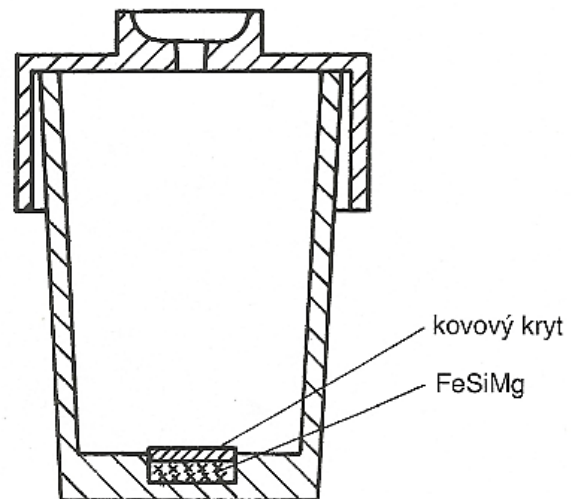
Obr. 18: Elektrická indukční kelímková pec [10]

### 3.4 Modifikace

K modifikaci se využívá zejména hořčík. Řada dalších prvků má také modifikační účinek, používají se však jen jako doplňkové, aby snížily škodlivé vlivy některých nečistot. Modifikace se uskutečňuje postupným rozpouštěním hořčíkových par. Ty probublávají sloupcem modifikované litiny, kde se požaduje dlouhá dráha hořčíkových bublin a jejich pomalé a klidné vyplouvání. Aby byl získán kuličkový grafit, musí být v litině rozpuštěného hořčíku minimálně 0,025 %. Hořčík při modifikaci funguje také jako silné odsiřovadlo a desoxidovadlo. [3]

#### 3.4.1 Způsoby modifikace: [20]

- Modifikace čistým Mg
  - modifikace ve sferoklávu
  - GF konvertor
- Modifikace předslitinami na bázi Mg
  - metoda Sandwich
  - metoda Tundish cover
  - metoda Flow-through (Flotret)
  - T-nock metoda
  - metoda In-mold
  - metoda plněný profil



Schématu metod, viz Příloha 2.

Obr. 19: Modifikace metodou Tundish cover [20]

### 3.5 Tepelné zpracování

Mechanické vlastnosti litiny s kuličkovým grafitem v případě optimálního rozložení a tvaru grafitu udává zejména základní kovová matrice. Většina odlitků z LKG je tepelně zpracovávána pro dosažení ideálních mechanických vlastností, jelikož nelze vždy získat požadovanou strukturu již v litém stavu. [14]

#### 3.5.1 Žihání ke snížení pnutí

Toto tepelné zpracování se provádí u tvarově složitých odlitků. Během chlazení vzniká v odlitku výrazné tepelné, neboli tahové napětí (zvyšující se rychlostí chlazení), nerovnoměrná tloušťka stěn odlitků apod. Příliš velkým napětím může dojít k prasknutí odlitku. Tomu jde předejít žiháním na teplotě pod  $A_{1,1}$ . Napětí začne klesat po výdrži na teplotě nad 400 °C. K úplnému odstranění dojde až překročením teploty 500 °C a výdrží 1 000 min. Nad teplotou 550 °C už však dochází k částečné sferoidizaci eutektického cementitu, což způsobuje pozvolný pokles pevnosti. Aby se předešlo opětovnému vzniku napětí, tak po výdrži na teplotě je vhodné ochlazovat rychlostí 25 až 80 °C za hodinu a od 200 až 100 °C dochlazovat na vzduchu. Příliš rychlý ohřev na žihací teplotu může vytvořit další napětí a způsobit tak prasknutí odlitku už při ohřevu. [6]

#### 3.5.2 Sferoidizační žihání

Slouží k dosažení vysoké tažnosti u dynamicky namáhaných odlitků. Na žihací teplotě, která se nachází těsně pod hranicí eutektického intervalu (cca 700 °C), dochází ke sferoidizaci eutektického cementitu. [14]

### 3.5.3 Feritizační žihání

Tento postup se provádí pro získání rovnovážného stavu. Dochází k ohřevu a výdrži na austenitizační teplotě, poté je materiál pomalu ochlazován přes eutektoidní interval teplot ( $A_{1,2} - A_{1,1}$ ) takovou rychlostí, aby se rozpadl austenit na ferit a grafit. Během přeměny difunduje uhlík z austenitu k eutektickým částicím a zároveň se na jejich povrchu vylučuje. Je tak dosaženo výsledné struktury tvořené feritickou maticí a grafitem. [18]

### 3.5.4 Normalizační žihání

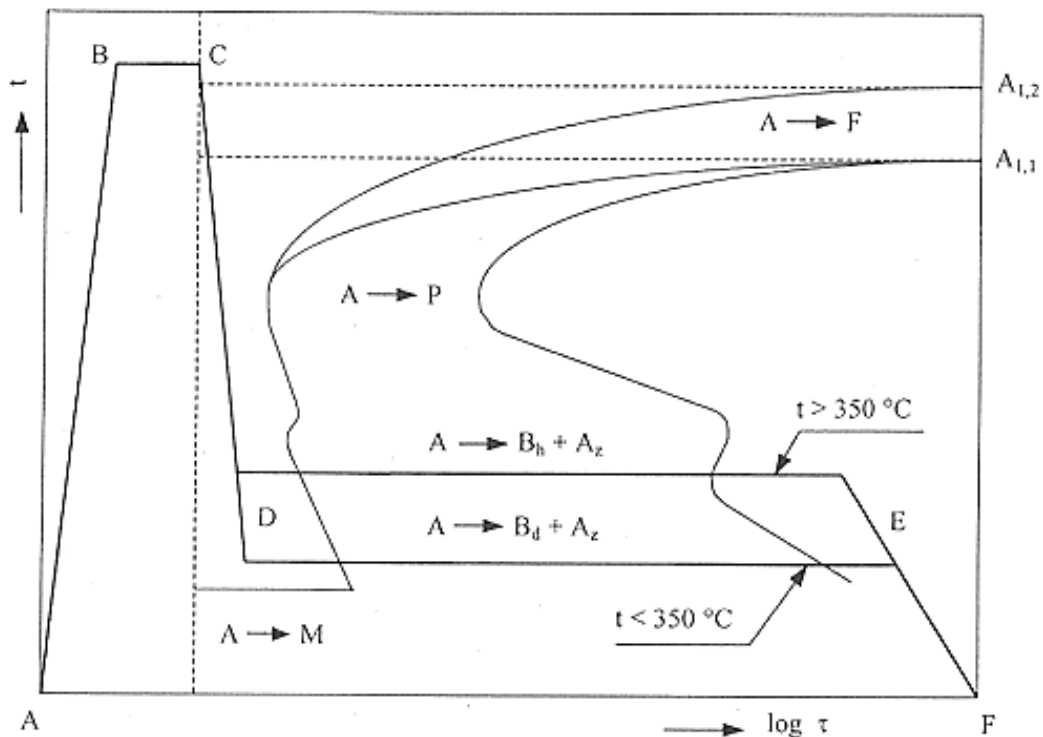
Cílem je zvýšit pevnost, tvrdost a odolnost proti opotřebení. Toto tepelné zpracování se používá, když je po odlití ve struktuře větší množství feritu. Dochází k austenitizaci a následnému ochlazování na vzduchu, během kterého se austenit transformuje na perlit. Vzniká perlitická matrice. [18]

### 3.5.5 Žihání k odstranění volného cementitu

Provádí se tehdy, objeví-li se ve struktuře ostrůvky cementitu, které způsobují problémy při obrábění a snižují mechanické vlastnosti. Uskutečňuje se při teplotách 800 až 900 °C po dobu 1 až 4 hodin. Ochlazování závisí na požadované struktuře. [6], [14]

### 3.5.6 Izotermické zušlechťování

Jedná se o moderní metodu používanou k dosažení optimálních pevnostních a plastických vlastností. Po austenitizaci následuje ochlazení nadkritickou rychlostí do oblasti bainitické přeměny. To probíhá v solné lázni o konstantní teplotě (250–450 °C). Austenit transformuje na horní bainit (nad 350 °C) nebo na dolní bainit (pod 350 °C). V lázni je po dobu 0,5 až 3 hod a dochlazuje se na vzduchu nebo ve vodě. Bainitická přeměna neprobíhá až do konce, ale po určité době se zastaví, a tím je docíleno zachování zbytkového austenitu ve výsledné struktuře. To má u izotermicky zušlechťované litiny za následek velmi dobré mechanické vlastnosti. [18]



Obr. 20: Schéma průběhu izotermického zušlechťování tvárné litiny v diagramu IRA [18]

### 3.5.7 Povrchové kalení

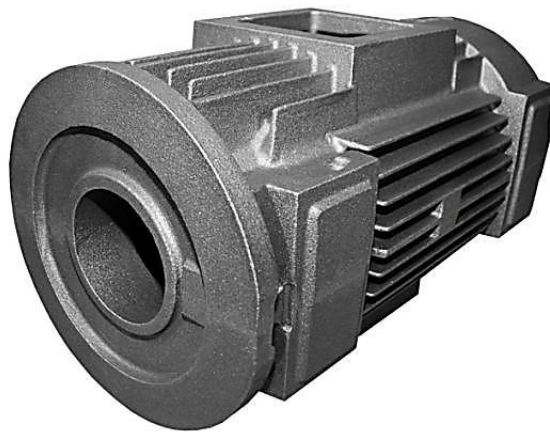
Povrchové kalení indukční nebo plamenem se provádí u odlitků, u kterých je požadována vysoká tvrdost do určité hloubky zakalení. Po ohřevu na teplotu 850 až 920 °C následuje prodleva závislá na požadované hloubce zakalení a rychlé ochlazování do vody či oleje. Používá se např. na čepy klikových hřídelů, zuby ozubených kol aj. [2], [6]

## 3.6 Použití

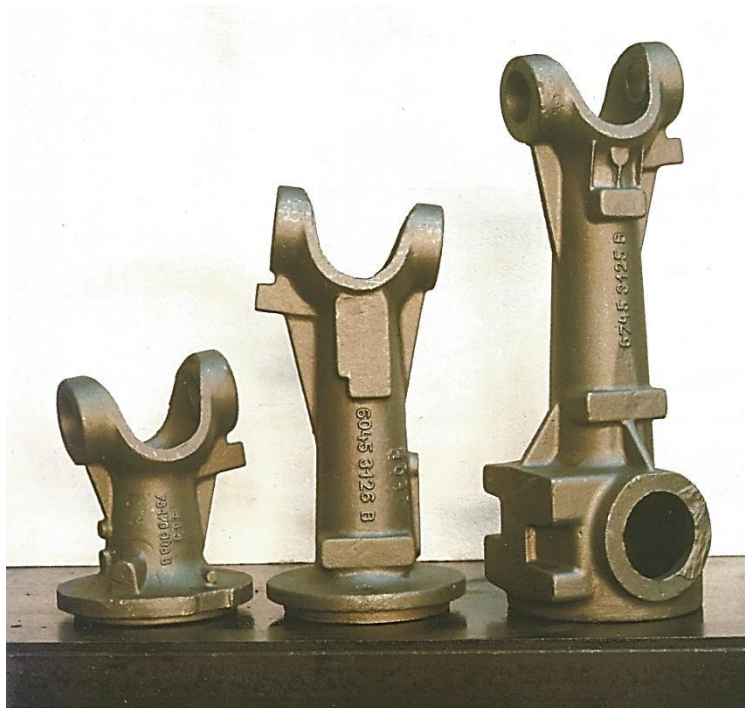
Tato litina se v průmyslu používá legovaná, ale také nelegovaná. Je vhodná jak pro kusovou, tak i sériovou výrobu. Může být staticky i dynamicky namáhána a je možné ji obrábět na automatických linkách. [10]

### 3.6.1 Příklady použití: [10]

- motorová vozidla
- motory
- trouby
- čerpadla
- kompresory
- ventily
- stavebnictví
- převodovky
- vytápění
- chlazení



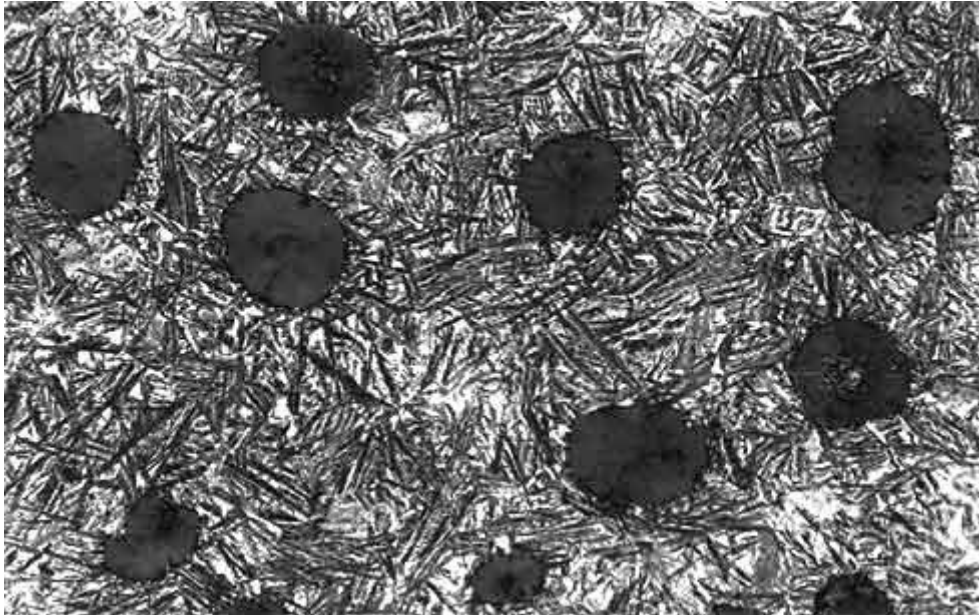
Obr. 21: Rám statoru z LKG litiny [15]



Obr. 22: Tělesa nápravy z feriticko-perlitické litiny s kuličkovým grafitem [16]

## 4 Litina izotermicky zušlechtěná (ADI)

Izotermicky zušlechtěná litina, z anglického jazyka ADI (Austempered Ductile Iron), je litina s kuličkovým grafitem, která získává výsledné charakteristické vlastnosti pomocí izotermického zpracování. Ve starších publikacích je používáno české názvosloví bainitická litina. [21]



Obr. 23: Mikrostruktura ADI litiny [22]

Mechanické vlastnosti litiny ADI závisí na struktuře základní hmoty. Litina dosahuje vysoké tažnosti a houževnatosti a má téměř dvakrát větší pevnost než obvyklé normované druhy LKG. Izotermicky zušlechtěná litina s kuličkovým grafitem má také vysokou odolnost proti opotřebení a mez únavy. Oproti ocelím má lepší slévárenské vlastnosti, levnější metalurgii, nižší měrnou hmotnost, lepší tlumicí schopnost, menší citlivost na vruby, lepší obrobiteľnosť a dobré kluzné vlastnosti. Volba optimální kombinace těchto vlastností určuje jednotlivé jakosti této litiny. Používá se proto nejčastěji jako náhrada ocelových součástí. [6], [10]

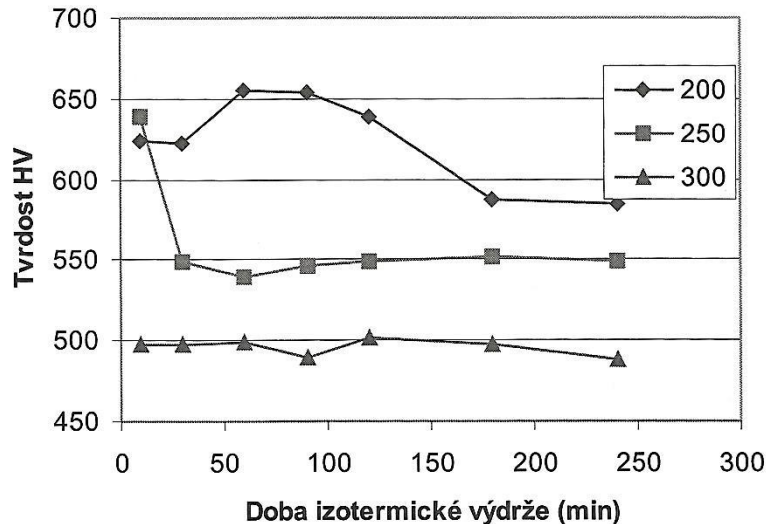
### 4.1 Tepelné zpracování – izotermické zušlechtění

#### 4.1.1 Austenitizace

Austenitizace se provádí ohřátím odlitku z litiny s kuličkovým grafitem nad teplotu  $A_{1,2}$  (850 až 1000 °C) a výdrží na teplotě po dobu 1 až 3 hodin, než dojde k získání čistě austenitické matrice nasycené uhlíkem na rovnovážnou koncentraci. Dobu austenitizace ovlivňuje složení výchozí matrice, počet a rozložení zrn grafitu a schopnost transportu uhlíku od částic grafitu do matrice. Používají se plynové nebo elektrické odporové pece (většinou s inertní atmosférou, aby nedošlo k oxidaci a oduhlíčení odlitku), solné lázně a ohřev ve fluidní vrstvě. [6]

#### 4.1.2 Izotermická přeměna austenitu

Rychlost ochlazení z austenitizační teploty musí být tak vysoká, aby se zamezilo vyloučení proeutektoidního feritu a perlitu během ochlazování do bainitické oblasti. Po vytažení odlitku z pece se nejčastěji přemísť do solné lázně o teplotě 250 až 450 °C. Dále se ochlazuje pomocí vody, případně oleje nebo fluidní vrstvy. Výslednou strukturu a vlastnosti odlitku ovlivňuje teplota izotermické přeměny a doba výdrže na teplotě. [6]



Obr. 24: Závislost tvrdosti na době izotermické výdrže při teplotě 200, 250 a 300 °C [23]

## 4.2 Použití

ADI litina byla patentována v ČSSR roku 1971. Prvně rozsáhle aplikována byla na poměrně rozměrná ozubená kola pro převody stacionárních hnacích ústrojí. [24]

### 4.2.1 Příklady použití: [10], [24]

- ozubená kola
- pohony válcovacích stolic
- ozubené věnce pro karuselové a cementárenské pece
- kuželová kola náhonů náprav osobních i nákladních automobilů
- klikové hřídele spalovacích motorů
- součásti podvozků osobních i nákladních automobilů (držáky pružin), železničních vagónů a lokomotiv (pouzdra kloubů, kola, brzdové špalky)
- pojezdová kola jeřábů
- řetězová kola a kladky dopravníků
- články pásů traktorů a jiných vozidel



Obr. 25: Příklad odlitku z ADI litiny [25]

Uvedené příklady použití ukazují, že bainitická matrice má kromě výhodné kombinace pevnostních a plastických vlastností také dobrou odolnost v podmínkách kontaktního namáhání i abrazivního a adhezivního opotřebení. [10]

## 5 Slévárna a modelárna Nové Ransko

Slévárna a modelárna Nové Ransko se zabývá převážně kusovou a malosériovou až středněsériovou výrobou odlitků ze slitin hliníku, mědi a z grafitických litin. Vyráběné odlitky mají využití především ve strojírenských podnicích se zaměřením na výrobu strojních zařízení pro potravinářský průmysl, transportní zařízení, čerpací techniku nebo stavebnictví. [26]



Obr. 26: Areál společnosti [12]

### 5.1 Historie

Roku 1885 vznikla firma Jana Pujmana vyrábějící stacionární petrolejové motory. V meziválečném období nesla název Jan Pujman továrna a slévárna. Po 1. světové válce se zde začaly vyrábět zemědělské stroje, kde se Pujmanovy motory úspěšně používaly. V prosinci roku 1948 byla firma znárodněna a začátkem padesátých let se továrna stala čistě slévárnou. Došlo k zavedení výroby odlitků z litiny s lupínkovým grafitem a sortiment výroby doplnily odlitky ze slitin hliníku a mědi. Slévárna se nejprve stala jedním z odloučených provozů podniku Chotěbořské strojírny a následně spolu s ním součástí trustu Chepos. Provoz Chotěbořských strojíren se po roce 1989 stal závodem 06 a spolu s Chotěbořskými strojírnami byl zahrnut do první vlny privatizace. V listopadu roku 1992 byla zahájena samostatná podnikatelská činnost Slévárny a modelárny Nové Ransko, s.r.o., jakožto subjektu šesti spolumajitelů. [27]

## 5.2 Současnost

V současné době dosahuje obrat slévárny 250 mil. Kč s cca 250 zaměstnanci, přičemž roční objem výroby je přibližně 3500 tun odlitků. Exportuje až 50 % zboží převážně do německy mluvících zemí. Došlo zde k realizování investic v oblasti tepelného zpracování odlitků, povrchových úprav, obrábění odlitků na CNC strojích, zavedení výroby odlitků do samotuhnoucích směsí, dále byla realizována indukční tavnice pro výrobu odlitků z litiny s kuličkovým grafitem, strojní výroba jader, pracoviště tryskání odlitků ze slitin hliníku, jaderny a další. [26]

## 5.3 Přehled zpracovávaných grafitických litin dle ČSN EN

### 5.3.1 EN-GJL-200 [6], [28]

(dle ČSN 42 2420)

Litina s lupínkovým grafitem, nelegovaná, pro všeobecné použití, pro vyšší teploty, mez pevnosti 200 MPa, tažnost 8 %, tvrdost 220 HB. Odlitky o tloušťce stěn 8 až 40 mm.

Použití: strojní odlitky, součásti motorů, turbín, pístových strojů, válce motorů a kompresorů aj., pro teploty od -60 do 500 °C



Obr. 27: Víko kalového čerpadla z LLG 20 [12]

### 5.3.2 EN-GJL-250 [6], [28]

(dle ČSN 42 2425)

Litina s lupínkovým grafitem, nelegovaná, pro všeobecné použití, pro vyšší tlaky a namáhání, pro vyšší teploty, mez pevnosti v tahu 250 MPa, tažnost 9 %, tvrdost 240 HB. Odlitky o tloušťce stěn 15 až 50 mm.

Použití: válce motorů, ozubená kola, značně namáhané strojní součásti, odlitky středně těžkých strojů, pro teploty od -60 do 500 °C



Obr. 28: Víko skříně převodovky z LLG 25, povrchově upravené akrylátovým lakem [12]

### 5.3.3 EN-GJS-400-15 [6], [28]

(dle ČSN 42 2304)

Litina s kuličkovým grafitem feritická, pro všeobecné použití, pro vyšší tlaky a namáhání, pro vyšší teploty, mez kluzu 280 MPa, mez pevnosti 420 MPa, tvrdost 160 až 220 HB. Odlitky o tloušťce stěn 5 až 100 mm i více.

Použití: součásti silničních vozidel, zemědělských strojů, převodové a ložiskové skříně, tělesa armatur a jiné odlitky dynamicky namáhané



Obr. 29: Čelo zvedáku z LKG 40 [12]

### 5.3.4 EN-GJS-500-7 [6], [28]

(dle ČSN 42 2305)

Litina s kuličkovým grafitem feriticko-perlitická, pro všeobecné účely, pro vyšší tlaky a namáhání, mez kluzu 350 MPa, mez pevnosti 500 MPa, tvrdost 200 až 260 HB. Odlitky o tloušťce stěn 5 až 100 mm i více, i dynamicky namáhané.

Použití: vodící a kluzné lišty, tělesa armatur, válečky rovnaček, podávací válečky, převodové skříně



Obr. 30: Skříň převodovky z LKG 50 [12]

### 5.3.5 EN-GJS-600-3 [6], [28]

(dle ČSN 42 2306)

Litina s kuličkovým grafitem perliticko-feritická, pro vyšší tlaky a namáhání, otěruvzdorná, mez kluzu 420 MPa, mez pevnosti 600 MPa, tvrdost 220 až 280 HB. Odlitky o tloušťce stěn 5 až 100 mm, namáhané mechanicky a otěrem.

Použití: klikové a vačkové hřídele, ozubená kola, válce, písty, pístní kroužky, tlustostěnné skříně kompresorů pro teploty do  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$

### 5.3.6 EN-GJS-700-2 [6], [28]

(dle ČSN 42 2307)

Litina s kuličkovým grafitem perlitická, pro vyšší tlaky a namáhání, otěruvzdorná, mez kluzu 500 MPa, mez pevnosti 700 MPa, tvrdost 240 až 300 HB. Odlitky o tloušťce stěn 5 až 75 mm, na součásti značně mechanicky namáhané a odolné proti otěru.

Použití: ozubená kola, klikové a vačkové hřídele, oběžná a rozváděcí kola čerpadel, brzdové bubny

### 5.3.7 EN-GJS-800-8

Izotermicky zušlechtěná litina s kuličkovým grafitem, mez kluzu 500 MPa, mez pevnosti 800 MPa, tažnost 8 %, tvrdost 260 až 320 HB. Používá se na odlitky nejvýše mechanicky i dynamicky namáhané, s vysokou houževnatostí. [29]

### 5.3.8 EN-GJS-1000-5

Izotermicky zušlechtěná litina s kuličkovým grafitem, mez kluzu 700 MPa, mez pevnosti 1000 MPa, tažnost 5 %, tvrdost 300 až 360 HB. Používá se na odlitky mechanicky namáhané, s dobrou odolností proti opotřebení a vysokou houževnatostí. [29]

### 5.3.9 EN-GJS-1200-2

Izotermicky zušlechtěná litina s kuličkovým grafitem, mez kluzu 850 MPa, mez pevnosti 1200 MPa, tažnost 2 %, tvrdost 340 až 440 HB. Používá se na odlitky vysoce mechanicky namáhané, s dobrou odolností proti opotřebení a vysokou houževnatostí. [29]

### **5.3.10 EN-GJS-1400-1**

Izotermicky zušlechťená litina s kuličkovým grafitem, mez kluzu 1100 MPa, mez pevnosti 1400 MPa, tažnost 1 %, tvrdost 380 až 480 HB. Používá se na odlitky vysoce mechanicky namáhané, s dobrou odolností proti opotřebení a vysokou houževnatostí. [29]

## Závěr

Grafitické litiny jsou v současné době ve strojírenství značně využívaným materiálem. V porovnání s ocelí dosahují například lepších třecích vlastností, mají schopnost většího tlumení vibrací nebo lepší obrobiteľnosť. Proto jsou mnohdy voleny jako náhrada ocelových součástí a výrobků za účelem získání lepších mechanických vlastností materiálu a zároveň snížení nákladů.

Litina s lupínkovým grafitem má dobré slévárenské vlastnosti, dosahuje však velmi nízké pevnosti a houževnatosti. To způsobuje především tvar grafitu, který v materiálu vytváří velký vrubový účinek. Získání lepších mechanických vlastností lze dosáhnout pomocí tepelného zpracování. Je tak možné například zvýšit tvrdost nebo odolnost povrchu materiálu proti opotřebení.

U litiny s kuličkovým grafitem tvar zrn způsobuje naopak menší vrubový účinek, a tím nedochází k takovému snížení mechanických vlastností materiálu. V porovnání s litinou s lupínkovým grafitem lze u litiny s kuličkovým grafitem získat podstatně lepší vlastnosti z hlediska vyšší pevnosti, ale i dobré tažnosti a houževnatosti.

Slévárna a modelárna Nové Ransko se mimo jiné zabývá výrobou odlitků z litin s lupínkovým grafitem a z litin s kuličkovým grafitem. Odlitky jsou formovány strojně i ručně do pískových forem s použitím bentonitových a furanových směsí. Litiny se zde taví pomocí elektrické indukční pece a je využívána modifikace metodou plněného profilu.

Ve Slévárně a modelárně Nové Ransko se vyrábí také litiny izotermicky zušlechťené. Jedná o litinu s kuličkovým grafitem, která je ještě dále izotermicky zpracována. Tím litina může dosáhnout velmi vysoké tažnosti, houževnatosti a především pevnosti. Kromě výhodné kombinace pevnostních a plastických vlastností je také odolná proti abrazivnímu i adhezivnímu opotřebení a při kontaktním namáhání.

V současnosti slévárna dosahuje obrátu kolem 250 mil. Kč a ročně vyrobí přibližně 3500 tun odlitků. Až 50 % zboží se exportuje převážně do německy mluvících zemí. Investovalo se zde do modernizace mnoha oblastí jako například do tepelného zpracování odlitků, povrchových úprav nebo obrábění odlitků na CNC strojích. Došlo také k zavedení indukční tavnice pro litinu s kuličkovým grafitem, výroby odlitků do samotuhnoucích směsí, strojní výroby jader, pracoviště tryskání odlitků ze slitin hliníku, jaderny atd.

V minulosti byla litina s lupínkovým grafitem v ČR nejpoužívanějším materiálem pro výrobu odlitků a pokrývala téměř dvě třetiny celkové výroby. V současné době však její využití klesá a je nahrazována převážně slitinami lehkých kovů a litinou s kuličkovým grafitem, u které je naopak zaznamenáván dlouhodobý růst.

## Seznam použitých zdrojů a literatury [30]

- [1] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
- [2] PLUHAŘ, Jaroslav. *Nauka o materiálech*. Praha: SNTL, 1989, 552 s.
- [3] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. Brno: PC-DIR, 1998. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1263-1.
- [4] SLOVÁK, Stanislav. *Teorie slévání*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00400-4.
- [5] Slévárenská výroba v České republice. *Slévárenství*. Brno, 2016, **LXIV**(11-12), 476-478. ISSN 0037-6825.
- [6] SKOČOVSKÝ, Petr a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Grafitické liatiny*. Žilina: EDIS, 2005. 168 s. ISBN 80-8070-390-6.
- [7] *Ústav materiálových věd a inženýrství* [online]. Brno, 2015 [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/index.php/cs/studium/podklady-pro-vyuku-zimni-semestr>
- [8] *Archiv struktur litin Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o.* Ždírec nad Doubravou, 2016.
- [9] GIRSOVIČ, N. G. *Šedá litina: Určeno technikům a metalurgům ve slévárnách šedé litiny, učeb. příručka pro stud. vys. škol techn. a hutnických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955. Řada strojírenské literatury.
- [10] NĚMEC, Milan, Bohumír BEDNÁŘ a Barbora BRYKSÍ STUNOVÁ. *Teorie slévání*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04395-0.
- [11] *UČÍME SE V PROSTORU: Encyklopedie - Drtič kamene* [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: [http://uvp3d.cz/drtic/?page\\_id=2787](http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2787)
- [12] *Archiv fotografií Slévárna a modelárna Nové Ransko, s.r.o.* Ždírec nad Doubravou, 2017.
- [13] Produkty. *JUNKER Industrial Equipment s.r.o.* [online]. 2016 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.junker-ie.cz/cz-produkty.html>
- [14] BERNÁŠEK, Vladimír a Jan HOREJŠ. *Technologie slévání*. 3., upr. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2006. ISBN 80-7043-491-0.
- [15] Výroba odlitků. In: *RKL Slévárna, s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.rklslevarna.cz/cz/katalog#odlitky>
- [16] *METALURGY: Firemní materiály*. ČKD Blansko.
- [17] PLUHAŘ, Jaroslav a Josef KORITTA. *Strojírenské materiály*. 2., přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977. Řada strojírenské literatury.

- [18] VĚCHET, Stanislav, Otakar BOKŮVKA a Jan KOHOUT. *Únavové vlastnosti tvárné litiny*. Žilina: Žilinská univerzita, 2001. ISBN 80-7100-910-5.
- [19] MORES, Antonín. Výroba odlitků z litiny s kuličkovým grafitem v České republice, stav v roce 2012. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren České republiky, 2013, **LXI**(3-4), 86-94. ISSN 0037-6825.
- [20] HERZÁN, Zdeněk. Vývoj výroby litin s kuličkovým grafitem - základní způsoby modifikace. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren České republiky, 2001, **XLIX**(7-8), 396-402. ISSN 0037-6825.
- [21] ŠENBERGER, Jaroslav. Izotermicky kalená tvárná litina (ADI) - perspektivní materiál pro české slévárenství. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren České republiky, 2003, **LI**(11-12), 451-455. ISSN 0037-6825.
- [22] *Chamberlin & Hill Group* [online]. 2009 [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: [http://www.iron-foundries.co.uk/pages/adi\\_info.php](http://www.iron-foundries.co.uk/pages/adi_info.php)
- [23] ŠENBERGER, Jaroslav. Použití izotermicky zušlechtnuté litiny s kuličkovým grafitem pro výrobu odlitků se zvýšenou odolností proti abrazi zejména na náhradní díly zemědělských strojů. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren České republiky, 2004, **LII**(11-12), 456-460. ISSN 0037-6825.
- [24] DORAZIL, Eduard. *Vysokopevná bainitická tvárná litina*. Praha: Academia, 1985.
- [25] Austempered Ductile Iron. *BAS Castings* [online]. England, 2013 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.bascastings.co.uk/austempered-ductile-iron/>
- [26] *Slévárna a modelárna Nové Ransko, s. r. o.* [online]. 2008 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://www.slevarna.cz/>
- [27] LÁNA, Ivo. Slévárna a modelárna Nové Ransko, s. r. o., slaví letos 125 let od založení. *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren České republiky, 2010, **LVIII**(7-8), 268. ISSN 0037-6825.
- [28] DRASTÍK, František. *Atlas použití kovů ve strojírenství, elektrotechnice a v chemickém průmyslu*. Praha: SNTL, 1980.
- [29] FÜRBAACHER, Ivan. *Tech portál.cz* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, nakladatelství, spol. s r. o., 2008 [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: <http://www.techportal.cz/>
- [30] *Citace PRO* [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.citacepro.com/>

## Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka	Význam
A	austenit
A <sub>z</sub>	zbytkový austenit
ADI	Austempered Ductile Iron
B <sub>d</sub>	dolní bainit
B <sub>h</sub>	horní bainit
CNC	Computer Nummeric Control
ČSN	česká technická norma
EIP	elektrická indukční pec
EN	evropská norma
F	ferit
GJL	litina s lupínkovým grafitem
GJS	litina s kuličkovým grafitem
HB	Hardness Brinell
HV	Hardness Vickers
LKG	litina s kuličkovým grafitem
LLG	litina s lupínkovým grafitem
M	martenzit
P	perlit

Symbol	Jednotka	Veličina
A <sub>1,1</sub>	[°C]	dolní eutektoidní teplota
A <sub>1,2</sub>	[°C]	horní eutektoidní teplota
R <sub>m</sub>	[MPa]	mez pevnosti
t	[°C]	teplota
log τ	[s]	logaritmus času

## Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1: Struktura výroby v ČR dle materiálů v roce 1993 a v roce 2016 [5].....	11
Obr. 2: Mechanické vlastnosti grafitických litin [6] .....	12
Obr. 3: Rozdělení grafitických litin [7] .....	13
Obr. 4: Tvar grafitu v litinách [2].....	13
Obr. 5: Mikrostruktura perliticko-feritické LLG, leptadlo NITAL [8] .....	14
Obr. 6: Lupínky grafitu ve struktuře litiny [1] .....	14
Obr. 7: Kuplovna [11] .....	15
Obr. 8: Odpich litiny z kuplovny [12] .....	16
Obr. 9: Elektrická indukční pec JUNKER [13].....	16
Obr. 10: Elektrická indukční kanálková pec [10] .....	17
Obr. 11: Závislost transformačních teplot na obsahu křemíku [3].....	18
Obr. 12: Způsoby žhání grafitických litin [2] .....	19
Obr. 13: Skříň převodovky z litiny s lupínkovým grafitem [15] .....	20
Obr. 14: Odlitek kompresoru z LLG [16] .....	20
Obr. 15: Mikrostruktura feritické litiny s kuličkovým grafitem, leptadlo NITAL [8].....	21
Obr. 16: Kulička grafitu ve struktuře litiny [1] .....	21
Obr. 17: Autokláv pro ponořování Mg do litiny [10] .....	22
Obr. 18: Elektrická indukční kelímková pec [10] .....	23
Obr. 19: Modifikace metodou Tundish cover [20] .....	24
Obr. 20: Schéma průběhu izotermického zušlechťování tvárné litiny v diagramu IRA [18] ..	25
Obr. 21: Rám statoru z LKG litiny [15] .....	26
Obr. 22: Tělesa nápravy z feriticko-perlitické litiny s kuličkovým grafitem [16] .....	26
Obr. 23: Mikrostruktura ADI litiny [22] .....	27
Obr. 24: Závislost tvrdosti na době izotermické výdrže při teplotě 200, 250 a 300 °C [23] ...	28
Obr. 25: Příklad odlitku z ADI litiny [25].....	28
Obr. 26: Areál společnosti [12] .....	29
Obr. 27: Víko kalového čerpadla z LLG 20 [12] .....	30
Obr. 28: Víko skříňe převodovky z LLG 25, povrchově upravené akrylátovým lakem [12]..	31
Obr. 29: Čelo zvedáku z LKG 40 [12] .....	31
Obr. 30: Skříň převodovky z LKG 50 [12] .....	32
Tab. 1: Chemické složení litin s lupínkovým grafitem [1] .....	15
Tab. 2: Chemické složení litin s kuličkovým grafitem [6].....	22

## Seznam příloh

Příloha 1: Normy, značení litin [7]

Příloha 2: Způsoby modifikace [3], [20]

# Příloha 1

## Normy, značení litin [7]

### Litiny

Způsob označování je zpracován v normě ČSN EN 1560 Slévárenství – Systém označování litiny – Značky materiálů a číselné označování materiálů (42 0005)

### Označování litin s přihlédnutím k mechanickým vlastnostem příp. k chemickému složení

Celková struktura označení obsahuje 6 kombinací

Kombinace	1	2	3	4	5		6
					a) mechanické vlastnosti	b) chemické složení	
Znak	EN-	GJ	L	L	<p>aa) pevnost v tahu; spojovací čárka a 3 nebo 4 znaky pro pevnost v tahu v N/mm<sup>2</sup> např. -350</p> <p>ab) tažnost; spojovací čárka a 1 příp. 2 znaky pro nejmenší hodnotu v % např. -19</p> <p>ac) písmeno podle výroby zkušebních těles ✓ odděleně lité ⇒ S ✓ přilité ⇒ U ✓ vyřezané z odlitku ⇒ C</p> <p>ad) tvrdost; 2 písmena (HV nebo HB nebo HR) a 2 nebo 3 číslice udávající tvrdostní číslo např. HB 155</p> <p>ae) hodnota nárazové práce; spojovací čárka a dvě písmena udávající teplotu zkoušení ✓ teplota okolí ⇒ -RT ✓ nižší teplota ⇒ -LT</p>	<p>ba) písmeno jako značka pro označování podle chemického složení symbol X</p> <p>bb) obsah uhlíku v % krát 100, jen tehdy, když je obsah uhlíku významný např. 300</p> <p>bc) chemické značky legujících prvků např. CrNi</p> <p>bd) procenta legujících prvků, vzájemně oddělená spojovacími čárkami např. 9-5</p>	L

L – velké písmeno

Poznámky k jednotlivým kombinacím:

### Kombinace 1

Zkratka EN- může být použita pouze pro normalizované materiály v rámci EN.

### Kombinace 2

GJ, kde G značí materiál na odlitky a písmeno J vyjadřuje litinu.

### Kombinace 3

Používá se v případě, má-li být specifikován tvar grafitu.

Tvar grafitu	lupínkový	kuličkový	temperovaný uhlík	vermikulární	litiny bezgrafitu, ledeburitické	zvláštní struktura
Symbol	L	S	M	V	N	Y

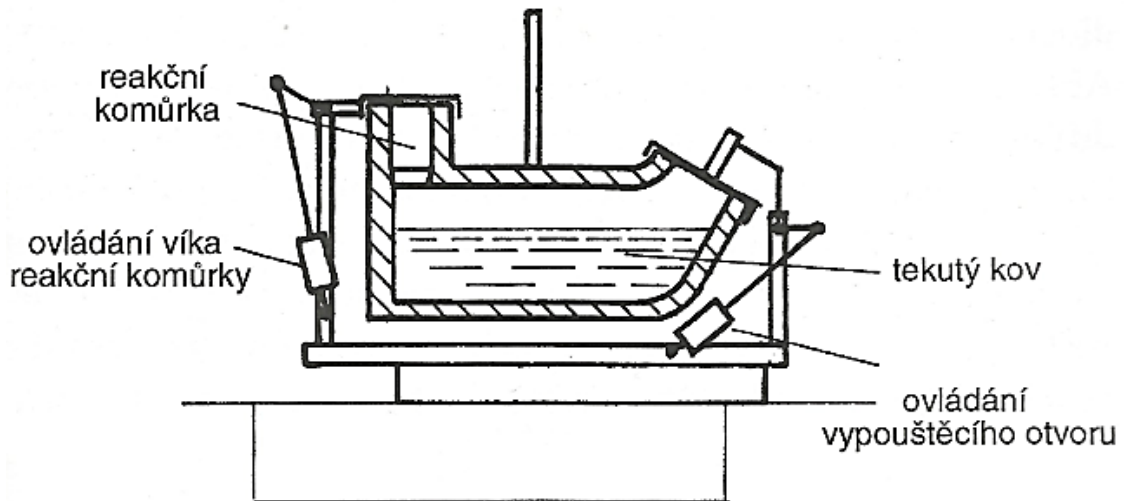
### Kombinace 4

Pouze v případě, že je nutné označit litiny podle mikrostruktury nebo makrostruktury, potom se použijí následující symboly.

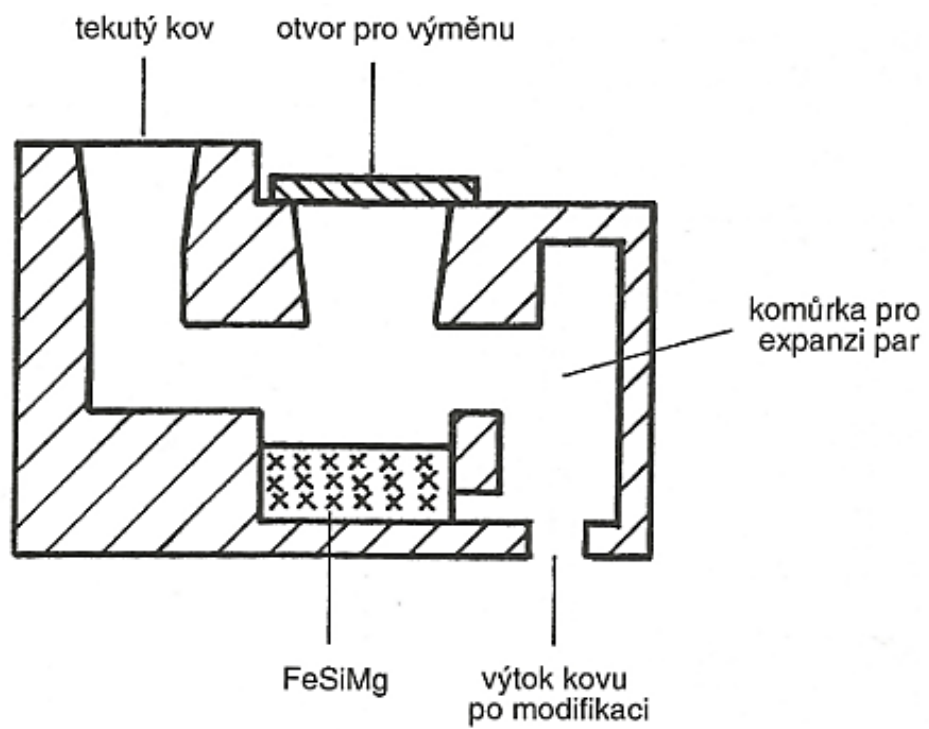
	austenit	ferit	perlit	martenzit	ledeburit	kaleno	kaleno a popuštěno	temperované s černým bílým lomem	
Symbol	A	F	P	M	L	Q	T	B	W

## Příloha 2

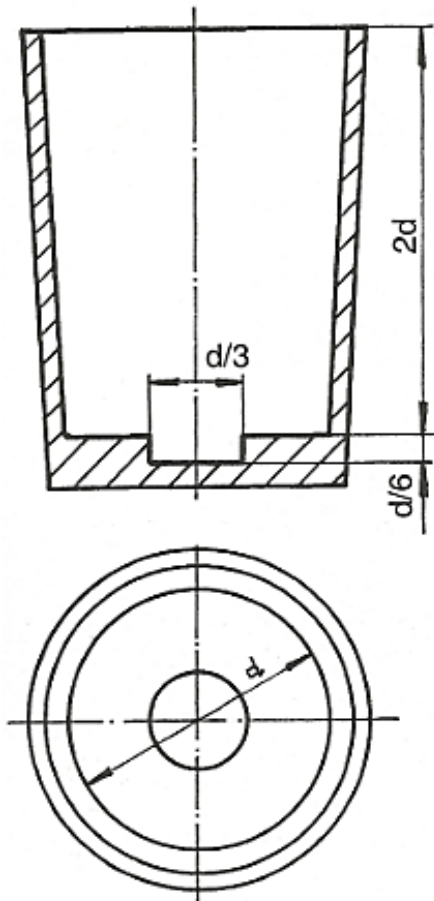
### Způsoby modifikace



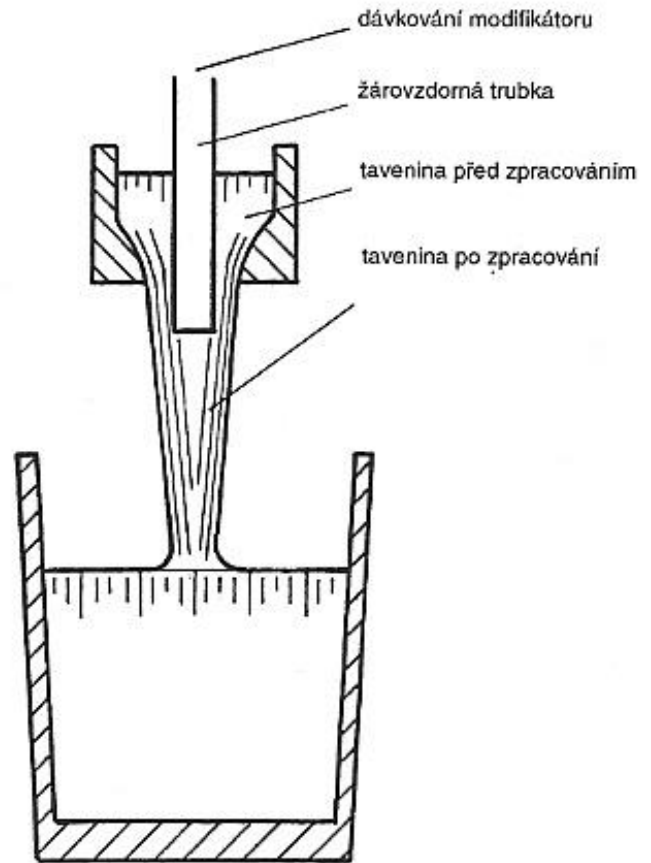
Obr. a): Modifikace v GF konvertoru [20]



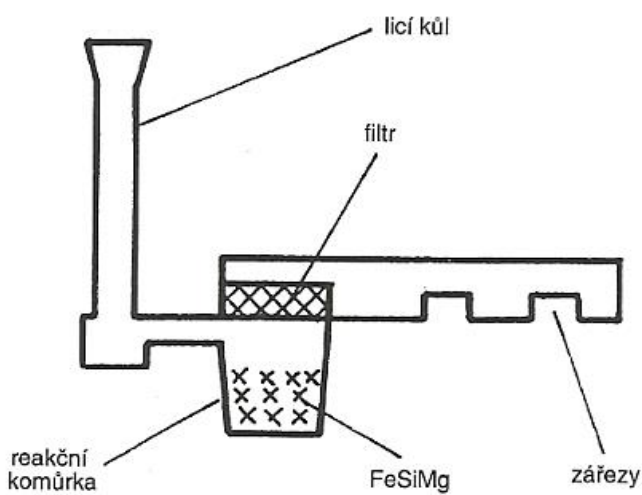
Obr. b): Modifikace metodou Flow-through [20]



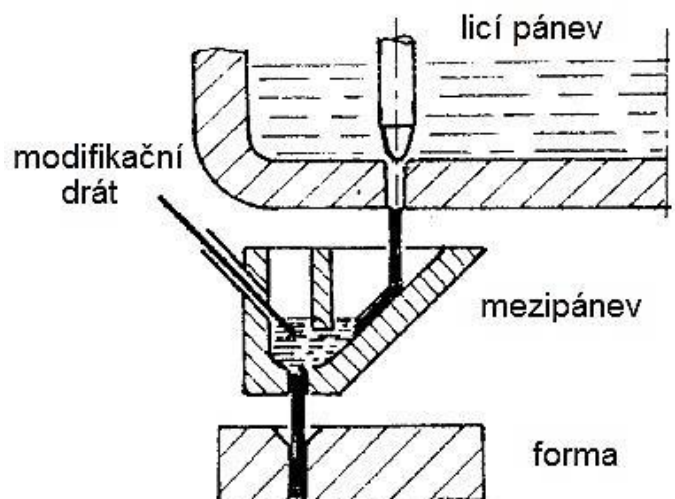
Obr. c): Pánev pro modifikaci metodou Sandwich [20]



Obr. d): Schéma zařízení pro modifikaci metodou T-nock [20]



Obr. e): Schéma zařízení pro modifikaci metodou In-mold [20]



Obr. f): Modifikace plněným profilem [3]