

MÍSTO ÚVODU

Litiny tvoří největší podíl ze všech slévárenských slitin. V ČR se ročně vyrábí kolem asi 400000 t litinových odlitků, což je asi 70 % hmotnosti všech odlévaných slitin. V současné době asi 85 % tonáže všech litinových odlitků tvoří litina s lupínkovým grafitem (LLG), méně než 15 % litina s kuličkovým grafitem (LKG) a dále malé množství odlitků z jiných druhů litin. I když podíl LKG se v ČR stále zvyšuje, neodpovídá uvedená struktura výroby trendu v průmyslově vyspělých státech, kde podíl litiny s kuličkovým grafitem představuje 20-35 % a dále se zvyšuje. Odlitky z LKG často nahrazují dražší odlitky ocelové a přináší některé výhodnější výrobní i uživatelské parametry. Nové typy litin, zejména litina s vermikulárním grafitem a izotermicky kalená litina (obvykle a ne zcela správně nazývaná jako baintická) přinesly vysoké mechanické a technologické vlastnosti. Uplatňují se zejména v automobilovém průmyslu a v dalších strojírenských oblastech.

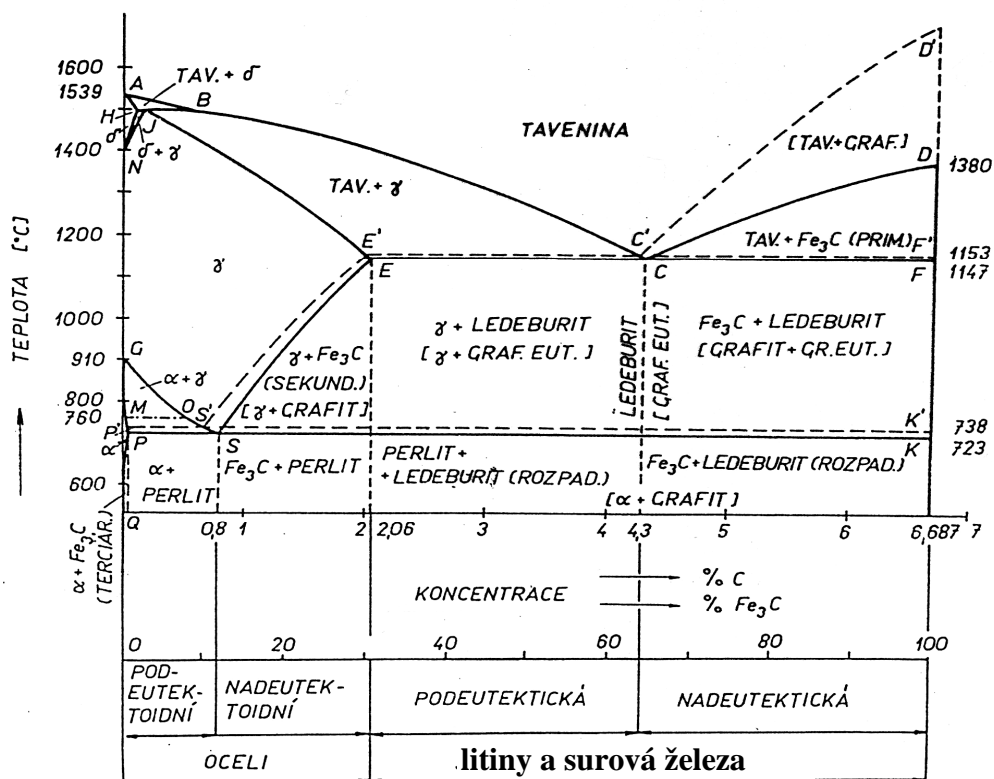
Výroba litinových odlitků má v České republice dlouholetou tradici a v současné době se s produkcí více než 40 kg na 1 obyvatele stále řadí na přední místa světového žebříčku.

1. KLASIFIKACE LITIN

1.1 DEFINICE LITIN

Litiny jsou slitiny železa, uhlíku a dalších prvků, v nichž je uhlík vyloučen jako grafit nebo vázán jako karbid Fe_3C , případně karbid jiného prvku. Obsah uhlíku v litinách je vyšší, než odpovídá jeho maximální rozpustnosti v austenitu, t.j. přibližně více, než 2 % C.

Litiny krystalizují podle stabilního nebo metastabilního diagramu Fe-C, resp. Fe- Fe_3C , případně se v průběhu tuhnutí a chladnutí uplatňují oba systémy - obr.1.1.



Obr. 1.: Rovnovážný diagram Fe - C ----- Fe - Fe_3C _____

1.2 DRUHY LITIN

Struktura litin je vždy tvořena primární fází a eutektikem {na rozdíl od oceli, kde nevzniká eutektikum). Litiny s eutektickým složením obsahují pouze eutektikum.

Při tuhnutí **podle stabilního diagramu Fe-C vzniká grafitické eutektikum, které tvoří austenit a grafit**. Tyto litiny se nazývají **litiny grafitické**. Mezi ně patří litina s lupínkovým grafitem (LLG), litina s kuličkovým grafitem (LKG) a vermikulární litina (LVG). Grafitické litiny tvoří drtivou většinu všech odlévaných litin.

Při tuhnutí **podle metastabilního systému je eutektikem ledeburit**. Ledeburit je tvořen austenitem a cementitem Fe_3C . Ve struktuře není přítomen žádný volný grafit a takové litiny se nazývají **bílé** nebo **karbidické**. Karbidické litiny se vyznačují vysokou tvrdostí, křehkostí a jsou téměř neobrobitelné. Podle metastabilního systému vzniká rovněž tzv. **zákalka**. Jako **zákalka** se označuje výskyt bílé struktury - ledeburitu (karbidů) v místech s rychlým odvodem tepla - tenké stěny, rohy apod. v odlitcích z grafitických litin. Přechodový typ mezi grafitickými a bílými litinami tvoří tzv. **maková litina**, která obsahuje jak grafitické, tak metastabilní eutektikum. Výskyt zákalky a makové struktury v odlitcích se obvykle pokládá za nežádoucí.

Tepelným zpracováním bílé litiny se vyrábí **temperovaná litina**. Odlitky z temperované litiny tedy tuhnou jako bílé a grafit vzniká až rozpadem cementitu při žíhání. Po temperování je tedy možné tyto litiny zařadit mezi grafitické.

1.2.1 GRAFITICKÉ LITINY

Základním kritériem pro určení druhu litin je tvar vyloučeného grafitu. Názvy jednotlivých druhů litin, značky a číselné označování uvedené ve skriptu, vychází z evropské normy ČSN EN 1560. Podle tvaru grafitu se litiny dělí na následující typy - obr. 1.2.

Litina s lupínkovým grafitem - LLG (častěji nazývaná jako šedá litina) - obsahuje grafit ve tvaru prostorových útvarů, podobných zelné hlávce, které na metalografickém výbrusu mají tvar lupínků. Délka lupínků je podstatně větší, než jejich tloušťka, konec lupínků je ostrý. Litina s lupínkovým grafitem je nejobvyklejším typem vyráběných litin.

Litina s kuličkovým grafitem - LKG (častěji nazývaná jako litina tvárná) - obsahuje grafit ve formě kuliček. Z hlediska vlastností litiny je ideálním tvarem dokonalá kulička, často se však vyskytuje grafit "nedokonale zrnitý".

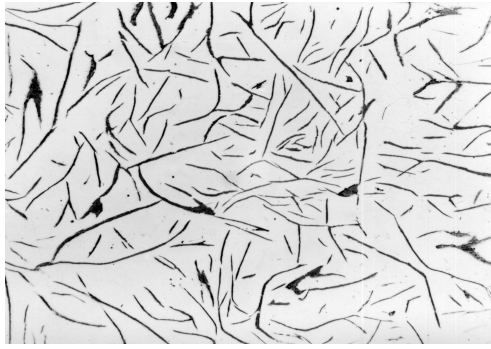
Litina vermikulární - LVG (nebo také litina s červíkovitým grafitem). Vermikulární grafit má podobný tvar jako grafit lupínkový. Ve srovnání s LLG jsou však útvary grafitu kratší, tlustší a jejich konec bývá zaoblený. Vermikulární litina obvykle obsahuje též určité množství lupínkového nebo kuličkového grafitu.

Temperovaná litina - TL (dříve též litina s vločkovým grafitem) obsahuje grafit ve tvaru vloček. Grafitové vločky vznikají rozpadem ledeburitického cementitu.

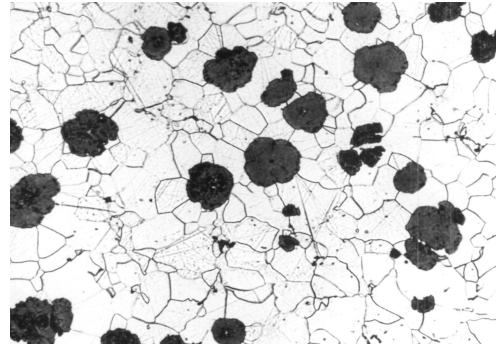
Lupínkový grafit vzniká obvykle bez jakýchkoliv metalurgických zásahů. Pro získání litiny s kuličkovým a vermikulárním grafitem je nutno provádět modifikaci.

Tvar a rozložení grafitu mají zásadní vliv na mechanické vlastnosti litin. Samotný grafit má velmi malou pevnost. Tím, že grafit zmenšuje nosný průřez základní kovové hmoty, snižuje pevnost litiny. Současně na koncích útvarů grafitu dochází ke koncentraci napětí - **grafit působí vrubovým účinkem**. Čím ostrohranější je zakončení útvarů grafitu, tím větší je vrubový účinek - obr.1.

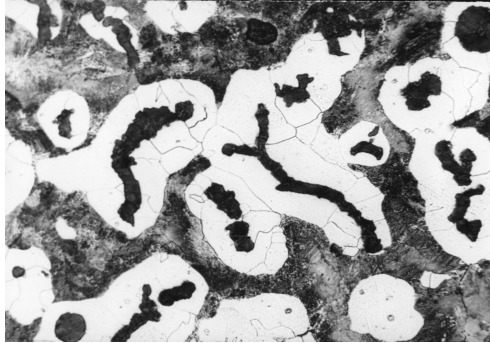
Z tohoto hlediska je nejméně výhodný lupínkový grafit, naopak nejpříznivější je grafit kuličkový. Proto má LKG podstatně vyšší mechanické vlastnosti, než LLG. Vermikulární litina a litina temperovaná svými vlastnostmi leží mezi těmito krajními body.



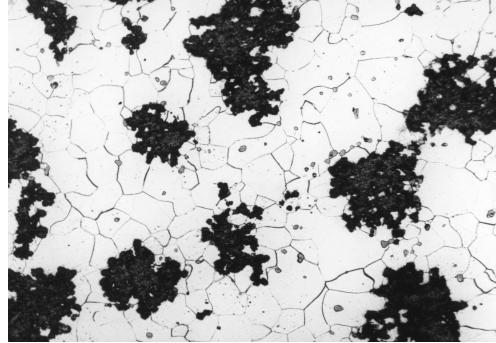
a)



b)



c)



d)

Obr. 2.: Tvar grafitu v litinách: a) lupínkový -LLG b) kuličkový - LKG
c) vermikulární - LVG d) vločkový - TL

1.2.2 KARBIDICKÉ LITINY

Grafit je zcela nebo částečně vázán jako karbid železa, manganu, chromu, molybdenu a dalších karbidotvorných prvků. Karbidické litiny mají vysokou tvrdost a otěruvzdornost.

1.3 STRUKTURNÍ SLOŽKY LITIN

Struktura litin je tvořena grafitem a základní kovovou hmotou. (U bílé litiny pouze základní kovovou hmotou.)

1.3.1 GRAFIT

Grafit je krystalická forma uhlíku.

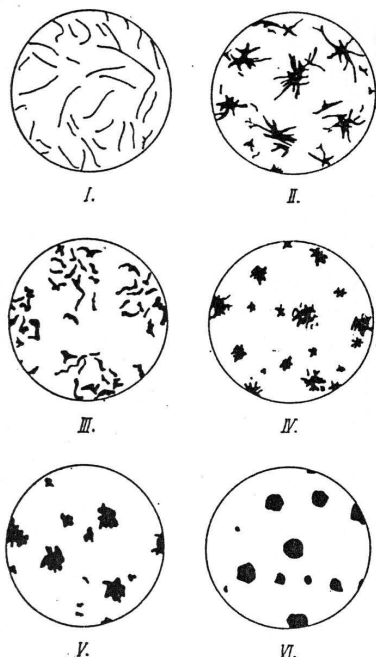
Druhy grafitu:

- **Eutektický** (lupínkový, kuličkový, červíkovitý) - vzniká při tuhnutí eutektika. S austenitem tvoří tzv. grafitické eutektikum.
- **Primární** - vzniká jako primární fáze při tuhnutí nadeutektických grafitických litin. Má tvar hrubých lupínků a při dostatečně pomalém tuhnutí odlitku nebo při odstátí litiny v pánvi vyplouvá na hladinu kovu a tvoří grafitický šum. U silnostěnných odlitků může zůstat uzavřen především v horních partiích stěn. Primární grafit ve struktuře litiny má nepříznivý vliv na její mechanické vlastnosti.

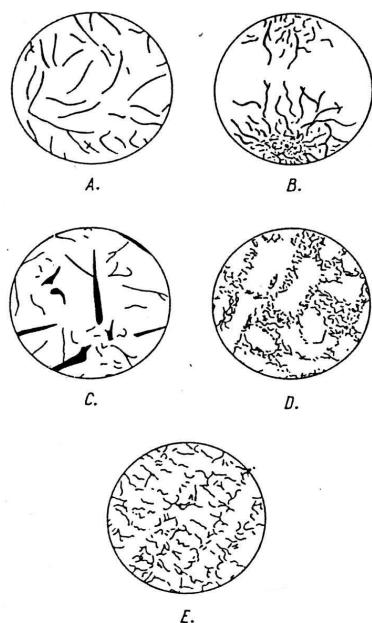
- **Grafit, vznikající rozpadem metastabilních složek při tepelném zpracování** (temperování, žíhání na odstranění karbidů).

Grafit, který vzniká v důsledku snižování rozpustnosti uhlíku v austenitu a při eutektoidní transformaci podle stabilního systému se obvykle připojuje k již existujícím útvarům grafitu a netvoří zvláštní fázi.

Tvar grafitu



Obr. 3. Tvar grafitu



Obr. 4: Rozložení grafitu

Tvar grafitu se hodnotí podle normy ČSN EN ISO 945 která, stejně jako dříve ČSN 420461, zařazuje grafit do 6-ti tříd - obr.2. Z nich II a V jsou tvary nežádoucí.

- I - lupínkový grafit**
- II - pavoučkový grafit**
- III - červíkový grafit**
- IV - vločkový grafit**
- V - nedokonale zrnitý grafit**
- VI - pravidelně zrnitý**

Rozložení grafitu

Grafit může být ve struktuře rozložen ve formě pravidelných, stejnoměrně velkých útvarů, nebo nerovnoměrně, kdy tvoří útvary nestejně velké nebo místně nahromaděné. **Rozložení grafitu** podle normy ČSN 420461 se hodnotí podle etalonové řady, uvedené na obr.3 do 5-ti tříd a značí se:

- A - rovnoměrné rozložení**
- B - růžicovité**
- C - smíšené**
- D - mezidendritické neusměrněné**
- E - mezidendritické usměrněné**

Z hlediska vlastností litin je optimální rozložení typu **A-grafit rovnoměrně rozložený, se stejnoměrnou velikostí**. Nepravidelné rozložení a výskyt hrubých grafitových útvarů je příčinou horších mechanických vlastností.

Typy grafitu D a E se nazývají též jako **přechlazený grafit**, vznikají při nedostatku krystalizačních zárodků a při rychlém ochlazení a jsou přechodem od stabilního k metastabilnímu tuhnutí.

1.3.2 VELIKOST GRAFITU

Z hlediska mechanických vlastností je u všech typů litin **výhodný jemnozrný grafit**, vyloučený ve formě drobných lupínků nebo kuliček. Zejména přítomnost hrubých lamel grafitu významně snižuje mechanické vlastnosti litiny.

Velikost grafitu se hodnotí metalograficky. Velikost lupínků se hodnotí jejich délkou. Velikost (disperzita) kuličkového grafitu podle počtu kuliček na mm^2 plochy výbrusu (obvykle 80-500 kuliček/ mm^2). Vyhodnocení se provádí obvykle opět pomocí etalonů.

1.3.3 ZÁKLADNÍ KOVOVÁ HMOTA

Základní kovovou hmotu v nelegovaných litinách za normální teploty tvoří: ferit, perlit případně ledeburit. Legováním nebo tepelným zpracováním lze získat rovněž austenit, martenzit, bainit nebo komplexní karbidy.

Struktura základní kovové hmoty závisí na:

- chemickém složení litiny
- rychlosti ochlazování v průběhu tuhnutí a chladnutí
- stavu krystalizačních zárodků
- tepelném zpracování

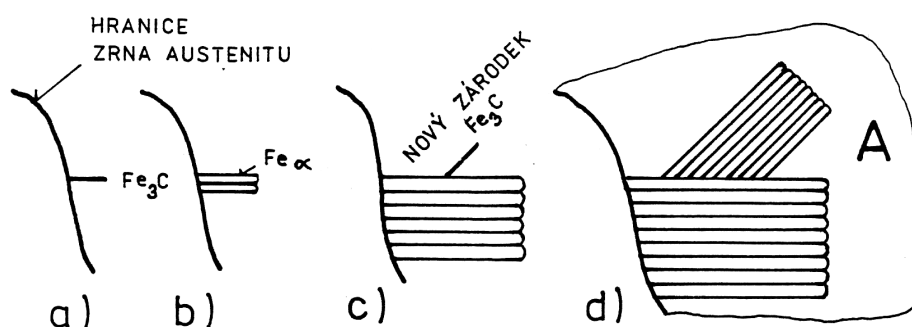
FERIT

Vzniká při eutektoidní transformaci austenitu podle stabilního diagramu. Pomalé ochlazování podporuje vznik feritu

Mechanické vlastnosti feritu: měkký, tvárný, má relativně nízkou pevnost, dobře obrobitelný, v litinách je nositelem houževnatosti. Na vlastnosti feritu mají značný vliv legury a doprovodné prvky. Všechny přísady zvyšují tvrdost a pevnost feritu a mají také vliv na jeho houževnatost. Poměrně významné je snížení houževnatosti feritu s rostoucím obsahem křemíku.

PERLIT

Eutektoid vzniklý rozpadem austenitu podle metastabilního systému. Je tvořen feritem a perlitickým cementitem, který mu dodává větší pevnost a tvrdost, než má ferit.

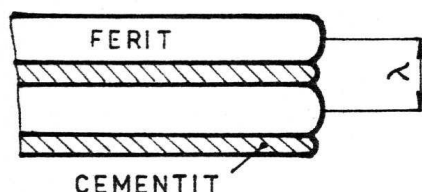


Obr. 5.: Schema vzniku perlitu

Perlit má dvě morfologické formy - lamelární a globulární:

- **lamelární perlit** - (v odlitcích obvyklá forma - vzniká při běžném chladnutí odlitků), je tvořen lamelami feritu a cementitu, které rostou rovnoběžně vedle sebe. Z jednoho zrna austenitu obvykle vzniká několik zrn perlitu s rozdílnou orientací lamel - obr.5.

- **globulární** - vzniká sbalením lamel cementitu při sferoidizačním žhání. Litiny s globulárním perlitem mají ve srovnání s perlitem lamelárním lepší obrobitelnost.



Obr. 6.: Dispersita lamelárního perlitu

Vlastnosti perlitu: Ve srovnání s feritem má perlit vyšší pevnost a tvrdost, horší plastické vlastnosti, horší obrobitelnost, vyšší odolnost proti opotřebení. **Perlit je v litinách nositelem pevnosti a tvrdosti** (R_m asi 800 MPa, HB = 280). Vlastnosti perlitu významně závisí na "hustotě perlitu" dané jeho dispersitou. Dispersita je určena vzdáleností dvou sousedních lamel feritu - obr.6. Čím hustější je perlit, tím vyšší jsou mechanické vlastnosti

AUSTENIT

V nelegovaných litinách je austenit stabilní jen při nadeutektoidních teplotách.

V odlitcích se vyskytuje pouze:

- v legovaných litinách (zejména legovaných niklem - nad 18% Ni)
- jako zbytkový austenit, po tepelném zpracování

Vlastnosti: měkký, výborně tvárný, odolný proti korozi a proti působení vysokých teplot, paramagnetický. Austenitické litiny se používají pro výrobu žáruvzdorných a korozivzdorných odlitků.

CEMENTIT

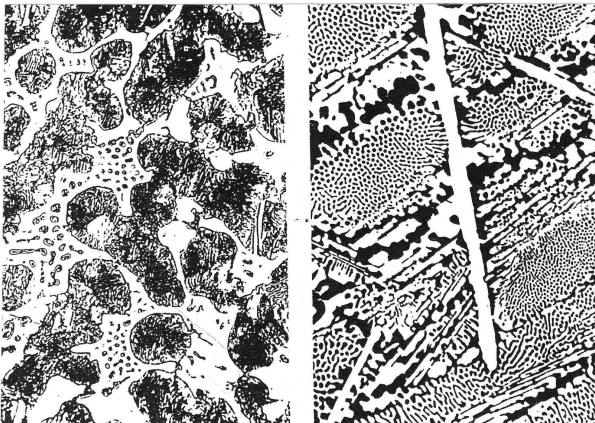
U nelegovaných litin je tvořen **karbidem železa Fe_3C** se 6,67 %C. Za přítomnosti legur (např. Mn, Cr, W, V, Mo) mohou být atomy Fe nahrazovány atomy těchto prvků za vzniku komplexních karbidů typu $(Fe,X)_3C$.

Vlastnosti: velmi tvrdý (660 až 850 HB, komplexní karbidy i více) a křehký. Při vyšším obsahu ve struktuře se litina stává neobrobitelnou.

Druhy cementitu v litinách:

- **primární** - vyskytuje se v nadeutektických bílých litinách ve tvaru hrubých jehlic (vzniká zřídka).
- **eutektický** - součást metastabilního eutektika - ledeburitu. Způsobuje velkou tvrdost, křehkost a neobrobitelnost bílé litiny.
- **perlitický** - součástí eutektoidu - perlitu. Zvyšuje pevnostní a snižuje plastické vlastnosti litiny.

LEDEBURIT



Eutektikum v metastabilní soustavě Fe- Fe_3C ,

obsahuje 4,3 %C. Je tvořen austenitem a ledeburitickým cementitem. Při eutektoidní teplotě ledeburitický austenit transformuje na perlit a vzniká tzv. transformovaný ledeburit. Ledeburit je jednou ze základních složek bílých litin. V grafitických litinách vzniká obvykle v místech s rychlým odvodem tepla jako tzv. **zákalka**.

Obr. 7: Ledeburit:

- podeutektická litina - perlit a ledeburit*
- nadeutektická litina - jehlice primárního cementitu v ledeburitu*

MARTENZIT

Vzniká bezdifuzním rozpadem austenitu **při kalení** nelegovaných nebo legovaných litin, v legovaných litinách někdy přímo v litém stavu. Martenzitické litiny se používají jen výjimečně.

Vlastnosti: velmi tvrdý (až nad 1000 HV), křehký

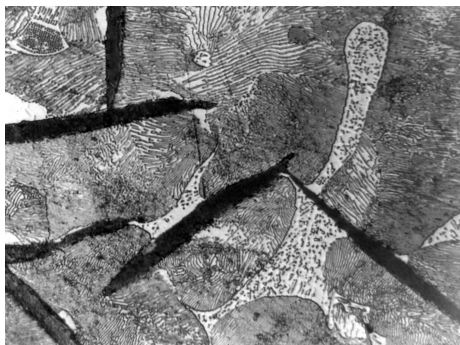
BAINIT (AUSFERIT)

Vzniká jako licí struktura v litinách legovaných zejména molybdenem a niklem, u nelegovaných litin při tepelném zpracování. Litiny s bainitickou strukturou mají vysokou pevnost a tvrdost při poměrně dobrých plastických vlastnostech. Bainitické litiny (správně se nazývají „izotermicky kalené litiny“) patří k moderním, vysoce progresivním materiálům.

Základní kovová hmota nelegovaných grafitických litin je obvykle tvořena feritem a perlitem. Podle podílu obou složek se struktura označuje jako feritická, ferito-perlitická nebo perlitická.

1.3.4 DALŠÍ STRUKTURNÍ SLOŽKY

FOSFIDY



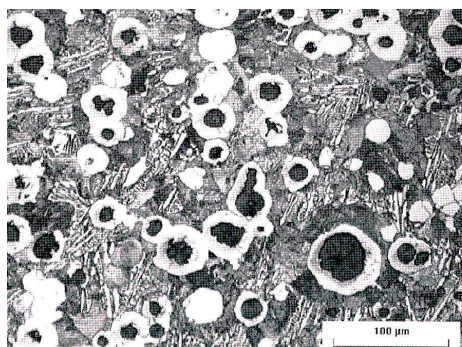
Vznikají v důsledku malé rozpustnosti fosforu v železe a vylučují se na hranicích zrn. Fosfidické eutektikum se nazývá **steadit a má teplotu tuhnutí až při teplotách kolem 950°C**. Díky tomu významně zlepšuje zabíhavost litiny. Ve struktuře se vyskytuje již při obsahu fosforu nad asi 0,1%. Vzhled steaditu je na obr. 8.

Vlastnosti: tvrdý, velmi křehký, vzhledem k nepříznivému vyloučení na hranici zrn významně snižuje dynamické vlastnosti litin. Výskyt fosfidů je zejména u LKG velmi nežádoucí.

Obr. 8: Fosfidické eutektikum

SIRNÍKY

V důsledku omezené rozpustnosti síra segreguje k hranicím zrn, kde spolu se železem tvoří sirník železa FeS, s teplotou tuhnutí až kolem 925°C. Síťový FeS významně **zvyšuje křehkost** litiny. Za přítomnosti některých dalších prvků, zejména manganu vznikají sirníky těchto kovů (např. MnS). Vznikají uvnitř zrn, což je příznivější, než vznik FeS na hranici zrn a negativní vliv síry je takto omezen.



KARBIDY

Vznikají za přítomnosti karbidotvorných prvků, nejčastěji chromu. V běžných nelegovaných litinách mohou vznikat i karbidy, obsahující mangan - $(Fe,Mn)_3C$, hlavně na hranicích zrn.. V nelegovaných litinách je výskyt karbidů nežádoucí, neboť zvyšují křehkost a výrazně zhoršují obrobiteľnosť. Jejich vzniku se zabraňuje zvýšeným očkováním, u hotových odlitků se odstraňují žíháním.

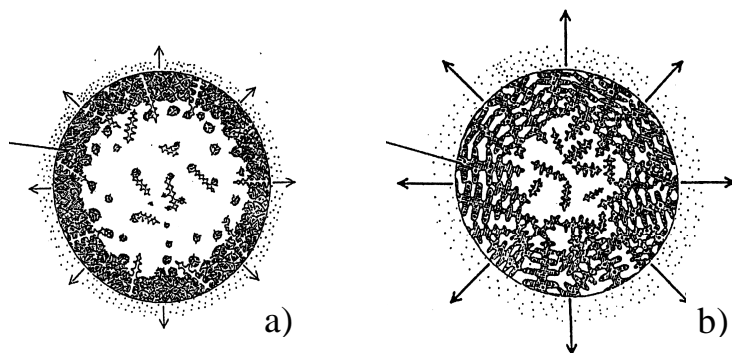
Obr. 9: Karbidy na hranicích zrn v tvárné litině

2. KRYSTALISACE LITIN

Tuhnutí litin probíhá ve dvou následných procesech, krystalisaci primární fáze a krystalisaci eutektika. Krystalisace eutektika není pokračováním krystalisace primární fáze, nýbrž se jedná o zcela samostatný proces, který je ovšem primární fází ovlivněn - např. vymezením prostoru pro vznik eutektika, obohacením zbylé taveniny o některé prvky v důsledku segregace z primární fáze a pod. Každý z těchto krystalizačních dějů je zahájen nukleací příslušné fáze a jejím následným růstem. Primární fází při tuhnutí podeutektických litin je austenit.

Austenit vzniká mechanismem heterogenní nukleace na cizích částicích, vměstcích a na stěnách formy. Austenit tvoří dendrity, které rostou postupně od stěny směrem do tepelné osy odlitku - **vrstevné tuhnutí** - obr.10a. Mezi dendrity pak vzniká grafitické eutektikum. V místech, kde je pomalé ochlazování (ve středních částech stěn odlitků a zvláště u silnostěnných odlitků) roste tuhá fáze v objemu taveniny před frontou tuhnutí. Dochází k tzv. **objemovému tuhnutí**, při kterém se tavenina postupně „zahušťuje“

až ztrácí tekutost. V prostorech zbývající taveniny mezi zrny tuhé fáze pak **vznikají mikrostaženiny** - obr.10b. Sklon k tzv. exogennímu (od stěny) a endogennímu tuhnutí (v objemu) závisí na počtu



krystalizačních zárodků a na dalších vlivech. U tvárné litiny je větší sklon k objemovému tuhnutí a tvárná litina proto obsahuje obvykle více ředin.

Obr. 10: Dendritické a objemové tuhnutí litin
a) vrstevné
b) objemové

2.1 KRYSTALIZACE EUTEKTIKA

Problematika nukleace a růstu grafitu je nejdůležitějším jevem při krystalizaci grafitických litin. Z hlediska vlastností litin je žádoucí, aby se grafit vyloučil v celém průřezu odlitku rovnoměrně a ve stejnoměrně velikých útvarech. **Při nedostatku vhodných krystalizačních zárodků** a jiných, pro nukleaci nepříznivých podmínkách, vzniká nerovnoměrně rozložený grafit, „přechlazený grafit“ nebo karbidické oblasti (zákalka). Všechny tyto odchylky mají na kvalitu litiny nepříznivý vliv.

Tuhnutí grafitického eutektika probíhá mechanismem heterogenní nukleace. Vedoucí fází při tuhnutí eutektika je grafit. **Rozhodující roli při nukleaci grafitu mají zárodky na bázi oxidů, sulfidů nebo karbidů.** Z nich jsou nejdůležitější sirníky a oxidy.

Grafitizační zárodky musí splňovat tyto požadavky:

- Při teplotě tuhnutí litiny jsou v tuhém stavu a v tavenině jsou nerozpustné**
- Mají mikroskopickou velikost** (obvykle kolem 1 μm a menší), pokud možno se neshlukují, nevyploouvají a v tavenině jsou velmi rovnoměrně rozložené
- Krystalizační účinek působí na žádoucí fáze (grafit, nikoliv cementit).**

V každé litině se tvoří určité množství zárodků z běžně přítomných prvků. **V běžné litině s lupínkovým grafitem působí jako krystalizační zárodky zejména MnS, oxidy SiO_2 , z karbidů CaC_2 a Al_4C_3 .** Zvýšení počtu grafitizačních zárodků se dosahuje očkováním.

Sirníkové vměstky v LLG ke svému vzniku využívají běžně přítomnou síru a mangan. **Obsah síry, dostatečný pro nukleaci, je několik setin procenta, jako optimum se uvádí kolem 0,03-0,04 % S.** Litiny s extrémně nízkým obsahem síry mají horší grafitizační schopnost. (Avšak pozor, při vysokém obsahu působí síra antigrafitisačně.) **Optimální obsah síry tedy vede ke zvýšení počtu grafitizačních zárodků a k usnadnění růstu grafitu.**

Zárodky SiO_2 vznikají reakcí křemíku s kyslíkem, rozpuštěným v tavenině - [O]. Množství oxidických zárodků tedy úzce souvisí s množstvím [O]. Obsah kyslíku v litině je značně závislý zejména na způsobu tavení a velikosti přehřátí taveniny. Při tavení v kuplovnách, kde dochází k intenzivnímu styku kapek litiny s atmosférou, je v kovu rozpuštěno podstatně více kyslíku, než např. při tavení v elektrických indukčních pecích. U kuplovenských litin se proto snáze vylučuje grafit a litiny mají menší sklon k zákalkce. Při přehřívání taveniny na příliš vysoké teploty dochází k redukci zárodků SiO_2 uhlíkem. Tím se sníží počet grafitizačních zárodků a zvýší sklon k zákalkce - **při přehřátí na vysoké teploty se zhoršuje grafitizační schopnost.**

Samotné zárodky SiO_2 s výhodou vznikají na malých cizích zárodcích oxidů kovů se silnou afinitou ke kyslíku, především na oxidech Al, Zr, Ca, Sr nebo Ba. Z tohoto důvodu je nutné, aby při očkovadlu FeSi obsahovalo některé z těchto prvků.

Tvorba zárodků v LKG souvisí s přítomností prvků s vysokou afinitou k síře a ke kyslíku. Heterogenními zárodky pro krystalizaci grafitu v tvárné litině jsou velmi stabilní sulfidy MgS, CeS, sulfidy lanthanidů, oxisulfidy a oxidy $MgSiO_3$ a Al_2O_3 .

2.2 OČKOVÁNÍ

2.2.1 ÚČEL OČKOVÁNÍ

Očkováním se rozumí vnášení takových látek do roztavené litiny, které vedou ke vzniku zárodků pro krystalizaci grafitu.

Očkování není přímo vnášením zárodků. Zárodky vznikají až vzájemnou interakcí mezi aktivními prvky v očkovaadle a některými prvky, přítomnými v litině. Zvýšením počtu aktivních zárodků se zlepšují podmínky pro nukleaci a růst grafitu. **Důsledkem očkování je zmenšení sklonu ke vzniku zákalky, zjemnění grafitu a rovnoměrné vyloučení grafitu v celém odlitku.** Čím větší je počet aktivních zárodků, tím dokonalejší je grafitizace.

Litina s jemnozrnnou strukturou má obvykle lepší mechanické vlastnosti, než litina s hrubou strukturou. Vysoký počet eutektických buněk má však negativní vliv na vnitřní homogenitu litiny. Čím větší je dispersita grafitu (čím jemnější je grafit), tím více má litina sklon k endogennímu, kašovitému tuhnutí a ke vzniku pórovitosti. Příliš vysoký počet eutektických buněk proto není žádoucí.

Význam očkování je tím větší, čím nepříznivější jsou podmínky pro grafitizaci - čím rychlejší je ochlazování odlitku a čím je chemické složení pro grafitizaci méně příznivé - nízký uhlíkový ekvivalent, dále malý obsah grafitizačních a naopak velký obsah karbidotvorných prvků. Při nedostatečném očkování vzniká nepravidelně rozložený grafit typu B, přechlazené formy grafitu typu D a E, nebo oblasti s metastabilní strukturou (zákalka). Důsledkem jsou špatné mechanické vlastnosti, nepříznivé slévarenské technologické vlastnosti a vysoká tvrdost. Pomocí očkování se zlepšuje obrábitelnost.

2.2.2 SLOŽENÍ A PRINCIP PŮSOBENÍ OČKOVADEL

Očkovadlo je tvořeno nosičem a krystalizační složkou.

Nosič tvoří hlavní část hmoty očkovaadla, sám o sobě však nemá očkující účinek. Nejčastější jsou očkovaadla na bázi slitin Fe-Si.

Očkovací složka je v očkovaadle obsažena pouze v malé koncentraci, ale pro funkci očkovaadla je nepostradatelná. Bylo prokázáno, že čistá slitina Fe-Si nemá očkovací účinek. **Aktivními prvky jsou zejména Ca, Al, Sr, Ba nebo Zr.** Tyto prvky reagují zejména s kyslíkem a sírou, tvoří s nimi nukleační zárodky grafitu. Tuto úlohu má ve ferosiliciu obvykle Ca a Al. Oba prvky tvoří oxidy typu $CaO \cdot SiO_2$ nebo $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, které obalují jádro zárodku. Podobně působí stroncium a barium, které rovněž tvoří hexagonální silikáty typu $SrO \cdot SiO_2$ nebo $BaO \cdot SiO_2$, případně také společně s Al_2O_3 . Jádro zárodku tvoří oxidy (např. $MgO \cdot SiO_2$) nebo sirníky CaS, MgS, CeS a jiné. Aktivní prvky tedy nemusí sami tvořit zárodky, ale aktivizují zárodky v litině již přítomné.

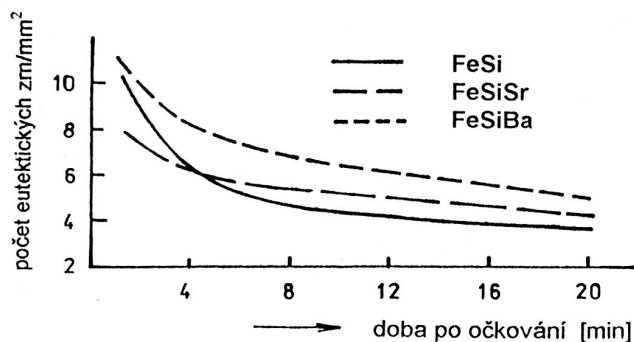
Méně používaným typem jsou **uhlíkatá očkovaadla**. Aktivní složkou je krystalický uhlík, jehož účinek je založen na mřížkové identitě s grafitem v litině. Uhlíkatá očkovaadla kromě grafitické složky obsahují i část FeSi, kterým se vnášejí aktivní prvky Ca a Al.

2.2.3 ODEZNÍVÁNÍ OČKOVACÍHO ÚČINKU

Účinek očkovaadla na krystalizaci grafitu je časově omezený. Největší je bezprostředně po naočkování a s časem odeznívá. **Odeznívání je způsobeno zejména koagulací zárodků, jejich hrubnutím a v**

důsledku toho rychlejšímu vyplouvání a rovněž v důsledku chemické homogenizace taveniny. Při homogenizaci mizí oblasti s místním přesycením grafitotvorných prvků (Si, Al), které podporovalo nukleaci grafitu.

Rychlost odeznívání je závislá zejména na druhu očkovadla (rovněž na složení litiny, teplotě, pohybu taveniny atd.). Odeznívání se projevuje snižováním grafitizační schopnosti, zvětšováním zákalky a postupným snižováním počtu eutektických buněk na výchozí stav před očkováním - obr.11. Z



tohoto důvodu je nutno litinu odlít co nejdříve po naočkování, obvykle do 10 minut. Některé prvky, zejména Ba a Sr zpomalují rychlost Obr. 11: Odeznívání účinku očkovacího a tím prodlužují maximální dobu

do odlití, přibližně na 20 i více minut.

Na obr.11 je znázorněno odeznívání očkovacího účinku jako pokles počtu eutektických buněk. Je zřejmé, že po

očkování obvyklým FeSi je odeznívání rychlé. Očkovadlo s obsahem baria odeznívá pomaleji, z počátku však dává vysoký počet eutektických buněk. Očkovadlo se stronciem je výhodné tím, že dává jen menší počet eutektických buněk a přitom jeho účinek odeznívá pomalu.

2.2.4 DRUHY OČKOVADEL

OČKOVADLA NA BÁZI KŘEMÍKU

Nejběžnějším druhem očkovadla je **ferosilicium** s obsahem kolem **65-75 % Si** a obvykle **1-2 % Al** a **0,2-1 % Ca**. Nejlepšího očkovacího účinku se dosahuje, když jsou v očkovadle přítomny současně Ca i Al. Příliš vysoký obsah Al však podporuje vznik bodlin, vysoký obsah Ca vede ke vzniku struskovitých vměstků. Obsah obou prvků se proto volí s ohledem na konkrétní způsob použití.

Komplexní očkovadla na bázi ferosilicia obsahují další krystalisačně aktivní prvky, jejichž účelem je zlepšení očkovacího účinku, zpomalení rychlosti odeznívání nebo zlepšení rozpustnosti při nízkých teplotách. **Obvyklými prvky v komplexních očkovadlech jsou:**

Sr - (0,5-1,0 % Sr) zvyšuje rychlost rozpouštění očkovadla a to i při nízkých teplotách kovů. Očkovací účinek je i při nízkém dávkování dlouhodobý a velmi dobrý. Výhodou rovněž je, že se **jen málo zvyšuje počet eutektických buněk**.

Ba - (1-6 % Ba) tvoří chemicky stálé zárodky s vysokou hustotou, které jen pomalu vyplouvají do strusky. **Barium prodlužuje dobu očkovacího účinku**.

Zr - (1-6 % Zr) - má vysokou desoxidační schopnost, zajišťuje dobrý očkovací účinek, **zpomaluje odeznívání**. Váže dusík a tím omezuje nebezpečí vzniku bodlin.

Mn - (až 10 % Mn) - **zlepšuje rozpustnost očkovadla při nízkých teplotách litiny**

Ce - (0,5-1,0 % Ce, případně společně s dalšími kovy vzácných zemin) - tvoří velmi stabilní oxidy a sirníky, snižuje rychlost odeznívání. V očkovadlech se používá zřídka, častěji jako součást modifikátorů **při výrobě LKG**, kde **kompenzuje antiglobulitisační účinek některých nečistot**.

Ti - (až 10 %) - používá se dosti zřídka a to pro očkování LLG a LVG (ne LKG, neboť Ti zabraňuje vzniku kuličkového grafitu). Váže dusík a snižuje nebezpečí bodlin. Titan však může spolu s uhlíkem tvořit karbidy TiC, které mají za následek zvýšené opotřebení řezných nástrojů.

OČKOVADLA NA BÁZI UHLÍKU - obsahují obvykle kolem 30% krystalického uhlíku a asi 40-50 % křemíku. Tento typ nemá očkující účinek u litin s velmi nízkým obsahem síry - nelze jej tedy použít u LKG. Uhlíkatá očkovačidla se obvykle hůře rozpouštějí a tvoří strusku. Pro očkování je proto **nutná poměrně vysoká teplota kovu až nad 1450°C. Dávkují se obvykle do pánve v množství 0,4-0,8 %.**

SILIKOKALCIUM - je typem očkovačidla s velmi silně desoxidáčním a desulfuračním účinkem. Pro očkování litiny není příliš běžné. Očkovačící účinek se u litiny projevuje i při velmi nízkém obsahu síry. Tvoří značné množství strusky. Pro očkování litiny se obvykle používá **silikokalcium s asi 30 % Ca a 65 % Si, dávkováání 0,2-0,4 %.** Očkující účinek CaSi poměrně rychle odeznívá.

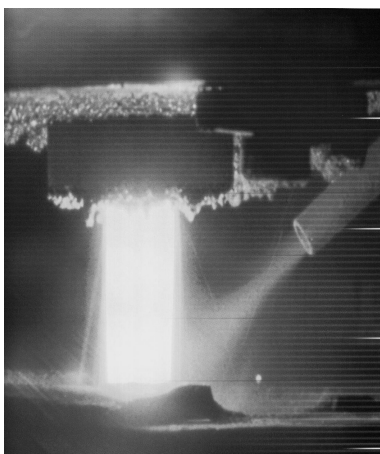
KARBID KŘEMÍKU – je očkovačdlem, které se začalo používat až v nedávné době. Karbid křemíku má tavicí teplotu nad 1700 °C, v litině se tedy netaví, nýbrž postupně rozpouští. Tím se zárodky tvoří postupně po delší dobu a **očkovačící účinek je dlouhodobý.** Očkovačdlo obsahuje obvykle mezi 85-90 % SiC. Potvrdilo se, že očkování pomocí SiC je účinné i v krystalizačce nepříznivých podmínkách, např. při vysokém podílu oceli ve vsázce, nebo při tavení pouze z ocelového šrotu. Vzhledem k dlouhodobému účinku je možno očkovačt již do lázně v tavicí peci. Dávkováání bývá kolem 0,5 %. Provozní zkušenosti s očkovačím pomocí SiC nejsou zcela spolehlivé a proto tento způsob není příliš častý.

2.2.5 ZPŮSOB OČKOVÁNÍ

Při očkovačím litiny je nutno zajistit rozpuštění očkovačidla a homogenisaci taveniny. Podmínkou účinného očkovačím je **dostatečná teplota kovu, obvykle nad 1400 °C. Vzhledem k odeznívání očkovačícího účinku je vhodné očkovačt co nejpozději**, aby se co nejvíce zkrátila doba mezi očkovačím a litím, případně očkovačt až v průběhu odlévání. To umožní výrazně snížit dávkováání očkovačidla.

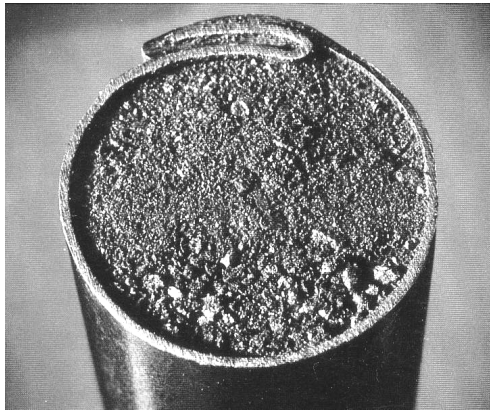
Hlavními metodami očkovačím jsou:

- **Očkovačím v pánvi** - očkovačdlo s vhodnou zrnitostí se vhodí do licí pánve v průběhu nalévání kovu z pece nebo z transportní do licí pánve v době, kdy je již zakryté dno kovem. Nemá se očkovačt do úplně prázdné pánve, neboť je nebezpečí, že se očkovačdlo nalepí na dno, naopak očkovačím do téměř plné pánve nezajistí jeho rozpuštění a homogenizaci lázně. **Zrnitost očkovačidla** se volí podle teploty a zejména podle objemu kovu, od 2-4 mm u malých pánví do asi 30 i více mm u pánví velkých. Frakce pod 1 mm se nemají používat, neboť je nebezpečí jejich nalepování na stěny pánve a obalení do strusky. Z hlediska využití očkovačidla je tato metoda nejméně výhodná, neboť vzhledem k dlouhé době od očkovačím do lití je nutné vysoké **dávkováání u LLG 0,2-0,4% u LKG 0,5-1,2 % i více.** Tato metoda se často používá při přelévání z transportních do licích pánví.



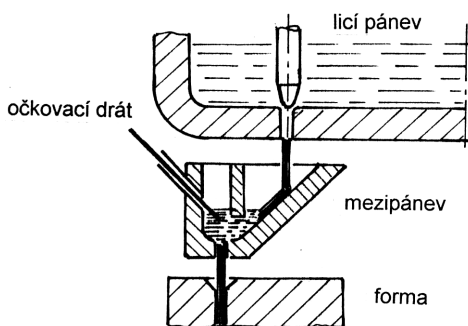
- **Očkovačím do proudu kovu** (obr. 12) - používá se zejména při odlévání pomocí automatických licích zařízení. Očkovačdlo s malou **zrnitostí kolem 1 mm** je kontinuálně, po celou dobu lití, vzduchem foukáno pomocí trubky do proudu kovu, který vytéká z pánve do formy nebo do mezipánve. Časový režim očkovačím a množství očkovačidla se reguluje dávkovačem. Ovládání dávkovače bývá automaticky spřaženo s odlévacím zařízením. Očkovačím do proudu kovu se používá zejména u LLG, **dávkováání je 0,1-0,2 % FeSi.**

Obr. 12: Očkovačím do proudu kovu

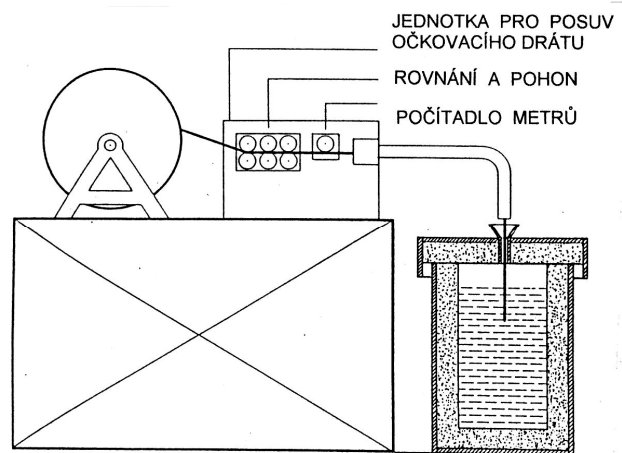


Obr. 13: Plněný profil

- **Očkování plněným profilem** – jemně drcené očkovadlo je obsaženo v dutém tenkostěnném ocelovém profilu o průměru obvykle 9 nebo 13 mm – obr. 13, který se při očkování posouvá do taveniny. Rychlost posunu se reguluje podle teploty kovu tak, aby se ocelový plášť taval (a očkování tak probíhalo) ve spodní části pánve. (Příliš rychlý posun, kdy neroztavený profil naráží do vyzdívky dna způsobuje poškození vyzdívky a naopak při pomalém posuvu dochází jen k očkování kovu v blízkosti hladiny.) Plněný profil se dodává navinutý na bubnech a součástí očkovacího zařízení musí být podavač s počítačem metrů - obr.14



Obr 14: Zařízení pro očkování plněným profilem v mezipánvi

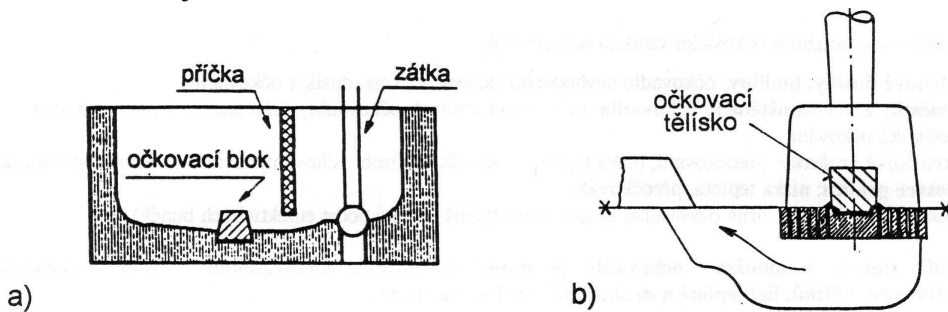


Obr. 15:

Očkování plněným profilem do pánve

Složení očkovadla se volí podle zkušeností sléváren a doporučení výrobce. Obsah očkovadla se udává v gramech v jednom délkovém metru. Dávkování se pak určuje jako délka profilu na určité množství kovu. Výhodou metody je snadné a jednoznačné dávkování a vysoké využití očkovadla. Nevýhodou vyšší cena plněného profilu oproti volnému očkovadlu. **Dávkování při očkování LLG v licí pánvi je 0,1-0,2 %, u LKG 0,2-0,4 %.** Očkování se provádí někdy i v mezipánvi - obr. 15.

- **Očkování očkovacími tělísky** - očkovadlo na bázi FeSi má tvar tělísek, které se umísťují do osazení na **dno licí jamky, pod vtokový kůl, nebo do filtru** (obr.16) .Velikost tělísky se volí podle množství kovu ve formě, dávkování je 0,05-0,1 %.



Obr. 16: Očkování očkovacími tělísky: a) ve vtokové jamce, b) na filtru

- **Očkování ve formě - metoda In-mold** - očkovadlo se dávkuje do speciální komůrky, předformované ve vtokové soustavě. Kov, protékající komůrkou při lití postupně očkovadlo rozpouští a průběžně se očkuje. Tento způsob očkování vyžaduje odzkoušení pro každý druh formy. Je **nutné dodržovat konstantní podmínky lití** - složení kovu, lící teplotu, a zajistit spolehlivost dávkování očkovadla. **Metoda je vhodná pro hromadnou výrobu**, např. automobilních odlitků, kde je rovněž možno využít robotů pro dávkování a ukládání očkovadla do formy.

Dávkování očkovadla

Se zvýšeným dávkováním se zvyšuje počet eutektických buněk a zlepšuje se očkovací účinek, avšak pouze do určité meze. Příliš **málo očkovadla znamená nedostatečný očkovací účinek a zákalku**. **Příliš mnoho očkovadla vede ke vzniku vysokého počtu eutektických buněk, tavenina tuhne v celém objemu endogenním způsobem (jako houstnoucí kaše) a důsledkem je vznik ředin**. Očkovací účinek se přitom již nezvyšuje **Vysoké dávkování, nevhodné složení očkovadla nebo nízká teplota kovu jsou příčinou struskovitosti odlitků**.

Vzhledem k ceně očkovadel je při dávkování důležitá i ekonomická stránka problému.

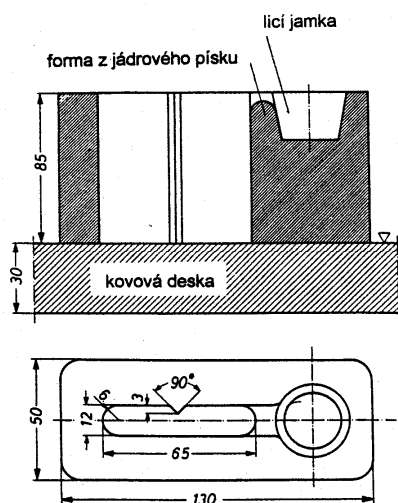
2.2.6 KONTROLA OČKOVACÍHO ÚČINKU

Očkovací účinek je možno kontrolovat:

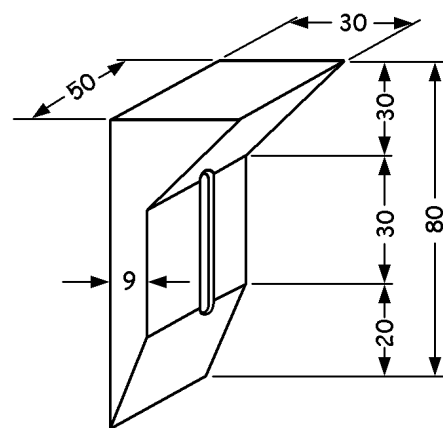
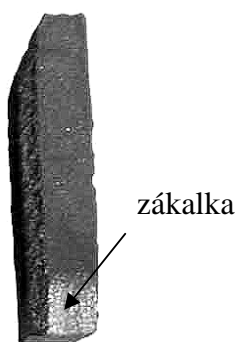
- hloubkou zákalky na zákalkových zkouškách
- pomocí křivek ochlazování
- podle počtu eutektických zrn (podle disperzity grafitu)

Pro provozní posouzení je pravděpodobně nejvhodnější hodnocení na zákalkových zkouškách, podle nichž zkušený tavič určí úroveň očkování poměrně dobře. Zkouška je velmi rychlá a nenáročná.

Princip zákalkové zkoušky spočívá v odlití vzorku kovu do zkušební formy, přelomení ztuhlého vzorku a změření hloubky zákalky (metastabilní struktury bez vyloučeného grafitu). Používají se buď zkoušky konstantního průřezu s intenzivním odvodem tepla v jednom směru pomocí kovové chladicí desky – např. zkouška ISO (obr.17) nebo zkoušky s proměnným průřezem (a tudíž proměnnou rychlostí chlazení) – tzv. klínové zkoušky (obr.18).

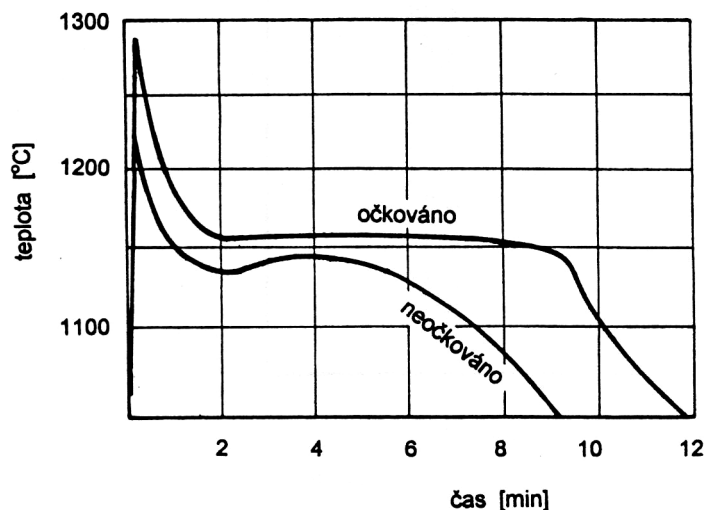


Obr. 17: Zákalková zkouška ISO



Obr. 18: Klínová zkouška

Hodnocení očkovacího účinku pomocí termické analýzy je založeno na vyhodnocení teplot a tvaru křivky v oblasti tuhnutí eutektika. Čím lepší očkování, tím menší je přechlazení pod rovnovážnou teplotou TE_{rov} . obr.19.



Metalografické hodnocení struktury je časově náročnější a je možné ho provádět až následně. Pro provozní posouzení se nehodí.

Obr. 19: Změna průběhu křivky ochlazování v oblasti eutektické teploty po naočkování litiny

Skladování očkovaadel

Očkovadla, která jsou delší dobu vystavena vlivu atmosférické vlhkosti oxidují a ztrácejí účinnost. Rovněž se zvětšuje množství vznikající strusky a mohou se objevit problémy se vznikem plynových dutin. Očkovadla by se měla skladovat **v uzavřených kontejnerech** nebo sudech, vždy **v suchu** a být **chráněna před vlhkostí**. Pokud se očkovadla ve slévárně drtí, měla by se drtit pouze dávka pro kratší období několika dnů.

2.2.7 VADY SPOJOVANÉ S OČKOVÁNÍM

Nesprávným použitím očkovaadel vznikají některé vady:

- **plynové dutiny, bodliny**: očkovadlo nevhodného složení, vlhkost, dusík v očkovadle
- **vměstky z nerozpuštěného očkovadla**: příliš velká zrnitost očkovadla, nízká teplota kovu, nevhodná technika očkování
- **struskové vměstky**: přeočkování, nízká teplota kovu, nevhodný způsob očkování
- **flotace grafitu**: nízká teplota kovu, přeočkování
- **staženiny a řediny**: nevhodný druh očkovadla, přeočkování

Druh, složení a množství očkovadla je nutné přizpůsobit konkrétnímu způsobu očkování, sortimentu odlitků, lící teplotě a druhu odlévaného materiálu.

3. CHEMICKÉ SLOŽENÍ A STRUKTURA LITIN

Litiny obsahují vedle železa další základní prvky, legury a nečistoty.

Základními prvky jsou C, Si, Mn, P a S. Tyto prvky jsou obsaženy v každém druhu litin a jejich množství je pro vlastnosti litiny obvykle rozhodující.

Legury jsou prvky, které ovlivňují strukturu litiny, vedou ke vzniku takových strukturních složek, které v nelegované litině běžně nevznikají, nebo pomocí nich litina získává speciální mechanické, fyzikální nebo chemické vlastnosti. Podle účinku na strukturu se legury obvykle dělí na perlitotvorné (např. Sn, Cu), karbidotvorné (např. Mn, Cr, V, Mo), austenitotvorné (Ni). Podle fyzikálních a chemických vlastností jsou mohou být litiny žáruvzdorné, korozivzdorné, ořezuvzdorné a jiné typy.

Pokud je obsah prvků menší, než je smluvní mez, považují se litiny za nelegované, při vyšším obsahu některého z prvků, za litiny legované. Mezní obsahy prvků podle ČSN 421241 a 421242 udává tab.3.1.

Nečistoty jsou takové nežádoucí prvky, které se do litiny dostávají ze surovin nebo během tavicího procesu. Obvykle mají negativní účinek na vlastnosti litin a jejich obsah má být co nejnižší (např. olovo, arsen, antimon, telur a další). Účinek nečistot (nazývají se také jako „doprovodné prvky“) je u různých typů litin rozdílný - u LKG působí obvykle více škodlivě, než u LLG.

Tab. 1: Mezní obsahy prvků v nelegovaných litinách.

Prvek	Obsah [%]	
	LLG	LKG
křemík	3,0	3,5
mangan	1,0	1,0
fosfor	0,5	
síra	0,15	
chrom	0,2	0,3
nikl	0,2	0,3
měď		0,3
cín		0,05
ostatní	0,05	

Chemické složení u litin ovlivňuje zvláště:

- grafitizační schopnost při tuhnutí litiny
- strukturu litiny

3.1 VLIV PRVKŮ NA GRAFITIZACI

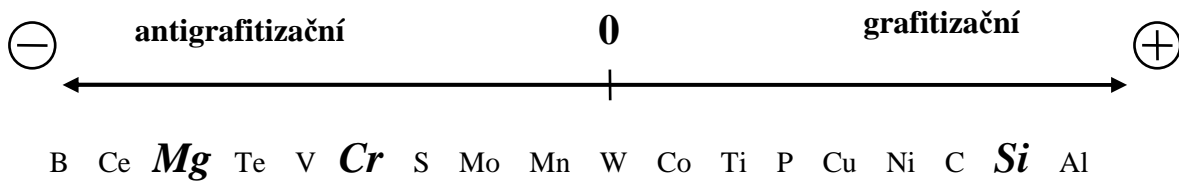
Podle účinků na grafitisaci při tuhnutí eutektika se prvky dělí na:

- **grafitizační** - Si Al (silně), Ni, Cu, C, P, Ti
- **antigrafitizační** - Cr, V, Mg, Te, Ce, B, S
- **neutrální** - Mn, Co, Zn

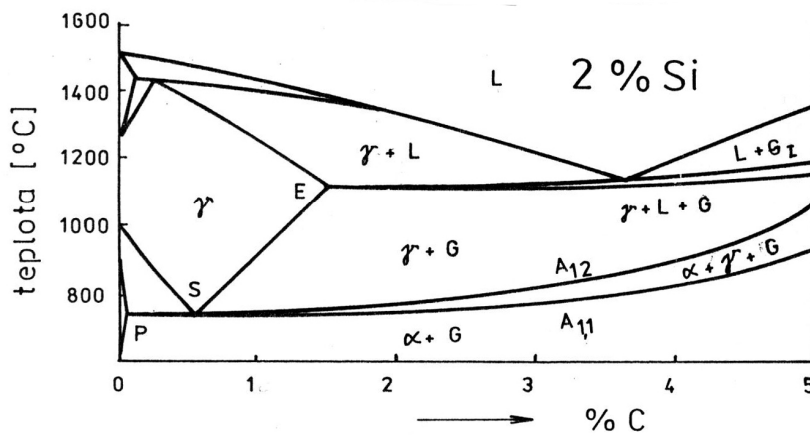
Grafitizační prvky podporují tuhnutí podle stabilního systému a **vyloučení uhlíku v podobě grafitického eutektika. Nejdůležitějším grafitizačním prvkem je křemík.**

Antigrafitizační prvky podporují vznik metastabilního eutektika - ledeburitu. Důležitým antigrafitizačním prvkem v litinách je zejména chrom, v LKG působí antigrafitizačně i hořčík.

Míru vlivu na grafitizaci lze znázornit na grafitizační ose:

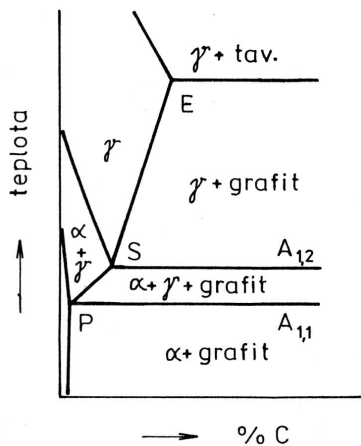


Feritotvorné prvky podporují transformaci austenitu podle stabilního systému. Z feritotvorných prvků je důležitý **zejména křemík**. Křemík způsobuje změny v průběhu krystalisace jak v oblasti tuhnutí, tak eutektoidní transformace. Diagramy Fe-C-Si se obvykle znázorňují jako řezy ternárním diagramem pro určitý obsah křemíku. Na obr. 20 je diagram Fe-C při obsahu 2 %Si. Je zřejmé, že dochází k posunu eutektického bodu doleva na hodnotu odpovídající



teplotního pásma v oblasti eutektické teploty, v němž je v rovnováze tavenina, austenit a grafit. Nejvýznamnější změnou je vliv křemíku na transformaci austenitu.

Obr. 20: Rovnovážný diagram Fe-C-2 %Si



Za přítomnosti křemíku probíhá transformace austenitu v rozmezí teplot, v oblasti, která je v diagramu Fe-C-Si vymezena teplotami $A_{1,1}$ a $A_{1,2}$ - obr.21. V této oblasti vedle sebe existují ferit, austenit a grafit. Eutektoidní transformace austenitu začíná na teplotě $A_{1,2}$ vylučováním feritu a grafitu, který difunduje k již existujícím útvarům grafitu. Tato přeměna je ve stabilním systému skončena při teplotě $A_{1,1}$. Pokud eutektoidní transformace probíhá podle metastabilního diagramu, vzniká pod teplotou $A_{1,1}$ ze zbytku austenitu perlit.

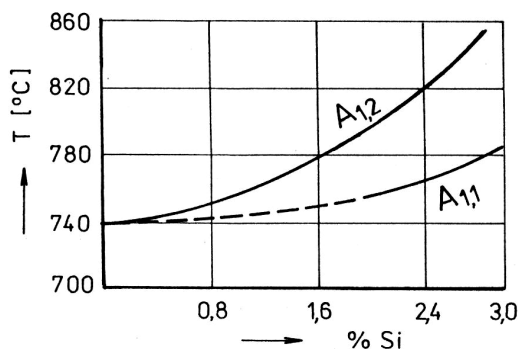
Obr. 21: Transformace austenitu v diagramu Fe-C-2% Si

3.2 VLIV PRVKŮ NA STRUKTURU A VLASTNOSTI LITIN

3.2.1 ZÁKLADNÍ PRVKY

U h l í k - spolu s křemíkem má největší vliv na strukturu a vlastnosti litin. Čím více uhlíku je vyloučeno jako grafit, tím menší je stahování litiny při tuhnutí. Tento fakt umožňuje omezit, případně až zcela vyloučit nálitkování litin. Při vysokém obsahu uhlíku ale dochází ke zhrubnutí grafitu.

K ř e m í k - je kromě uhlíku nejvýznamnějším prvkem v litinách. Při tuhnutí výrazně podporuje grafitisaci, při transformaci austenitu podporuje vznik feritu. (Při nízkém obsahu křemíku mají litiny silný sklon ke tvorbě zákalky.)



Z vlivů na mechanické vlastnosti litin je významné, že **křemík zvyšuje tvrdost feritu**, snižuje tažnost a rázovou houževnatost (důležité u LKG). Za nízkých teplot křemík podporuje vznik křehkých lomů.

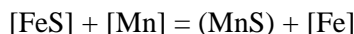
Křemík má za následek zvyšování austenitizační teploty obr.22. To je nutno respektovat zejména při tepelném zpracování.

Obr. 22: Zvýšení austenitizační teploty vlivem křemíku

M a n g a n - má při tuhnutí litiny pouze malý vliv na grafitisaci. Při obsahu nad 0,5 % působí mírně antigrafitisačně. Při vyšším obsahu (přibližně nad 1 %) může podporovat vznik přechlazeného grafitu. Při pomalém ochlazování může mangan v tlustých stěnách odlitku tvořit karbidy.

Mangan stabilizuje ve struktuře perlit (zejména u tvárné litiny), zjemňuje perlit, zvyšuje pevnost litiny, tvrdost a odolnost proti otěru.

Důležitou funkcí manganu u LLG a bílé litiny je, že váže síru. K reakci se sírou dochází podle vztahu

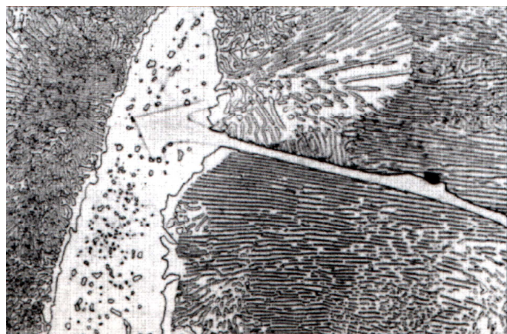


Minimální obsah manganu v LLG a v temperované litině se doporučuje volit:

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

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

U tvárné a vermikulární litiny přejímá odsiřovací úlohu manganu hořčík nebo kovy vzácných zemin. Obsah manganu proto může být nízký (u feritických LKG i pod 0,15 %).



Obr. 23.: Fosfidické eutektikum

F o s f o r - mírně podporuje grafitisaci. Fosfor se během tuhnutí výrazně odměšuje do zbylé taveniny a na hranicích zrn tvoří fosfidické eutektikum, které se nazývá **steadit**. Fosfidické eutektikum má teplotu tuhnutí kolem 955 °C (tuhne tedy jako úplně poslední). Tato fáze je tvrdá a křehká a významně snižuje houževnatost litiny. Proto je nutné u LKG a LVG udržovat co nejnižší obsah fosforu (obvykle pod 0,08 % P).

V LLG bývá obsah fosforu vyšší, obvykle 0,2 - 0,4 % P. Někdy se volí vyšší obsah fosforu z důvodu zvýšení oteřuvzdornosti odlitků (např. vodicích ploch obráběcích strojů).

V důsledku tvorby nízkotavitelného eutektika **fosfor zvyšuje zabíhavost litin**. Z tohoto důvodu se u velmi tenkostěnných a uměleckých odlitků obsah fosforu zvyšuje, někdy až na 1%.

S í r a - je v litinách nežádoucí prvek. Zdrojem síry jsou vsázkové suroviny, nauhličovala a při tavení v kuplovných koks. Síra má silný sklon k segregaci (tvorí FeS) a při vyšším obsahu, pokud není vázána jako siričnan manganu, zabraňuje grafitezaci a způsobuje křehkost litiny. (Vliv na grafitezaci je tím nepříznivější, čím nepříznivější jsou ostatní grafitezací podmínky.) Proto je většinou snaha udržet obsah síry v litinách co nejnižší.

3.2.2 LEGURY, STOPOVÉ PRVKY A NEČISTOTY

M ě ě d' - mírně podporuje grafitezaci. V množství 0,5-1,5 % se používá **pro stabilizaci perlitu v LKG, zvýšení mechanických vlastností a tvrdosti litiny**. Zejména u LLG se s výhodou kombinuje s chromem, obvykle v poměru Cu:Cr=4:1, kdy se dosahuje perlitické struktury s jemným grafitem a vysokými mechanickými vlastnostmi. Pro legování je nutno používat velmi čistou měď bez příměsí prvků, které způsobují degeneraci grafitu.

N i k l - má podobné účinky jako měď - působí mírně grafitezaci, stabilizuje perlit, zvyšuje mechanické vlastnosti, rovněž při nízkých teplotách. Pro tyto účely se přidává do obsahu až 4 %. **Při obsahu nad asi 18 %** (za přítomnosti Cu již od asi 13 %) **nikl stabilizuje ve struktuře austenit**.

C h r o m - silně karbidotvorný prvek. Podporuje metastabilní tuhnutí. Zdrojem chromu bývají vsázkové suroviny - surové železo a zejména ocelový nebo litinový šrot. Chrom zjemňuje grafit, často však způsobuje vznik mezidendritického grafitu. Zvyšuje pevnost a tvrdost litiny. Pokud ve struktuře vzniknou **volné karbidy, významně se zhoršuje obrobitelnost**. Pro zvýšení mechanických vlastností se leguje obvykle v množství do 0,3-0,5 % Cr, sklon ke vzniku karbidů se kompenzuje mědí. Ve feritických litinách má být obsah Cr co nejnižší (< 0,04 %).

M o l y b d e n - velmi významná, avšak velmi drahá legura. Používá se v kombinaci s jinými perlitotvornými prvky (zejména s Cr), a dále s Cu a Ni. Zvyšuje pevnost perlitické základní kovové hmoty a **stabilizuje strukturu a vlastnosti litin za vyšších teplot**. Snižuje citlivost struktury na rychlost ochlazování, uplatňuje se proto u odlitků s nestejně tlustými stěnami. Leguje se v množství do maximálně 0,8-1,0 %.

C í n - používá se **pro stabilizaci perlitické struktury** zvláště u odlitků z LLG, je ho však možné použít i u LKG. Pro dosažení zcela perlitické struktury obvykle stačí množství do 0,1 - max. 0,15 % Sn. Cín zvyšuje hustotu perlitu, zvyšuje pevnost a tvrdost litiny. U LKG se pro dosažení perlitické struktury místo cínu leguje obvykle mědí do 1-1,5 %.

STOPOVÉ PRVKY A NEČISTOTY

Stopové prvky a nečistoty se do litiny dostávají **zejména ze špatně vytríděného šrotu**. Jejich škodlivý účinek se projevuje obvykle tím, že **způsobují vznik degenerovaných tvarů grafitu**.

O l o v o a v i z m u t jsou jedněmi z neškodlivějších prvků v grafitických litinách. Již v množství setin procenta **způsobuje degradaci lupínkového a v množství tisícín procenta kuličkového grafitu** a snižují mechanické vlastnosti až několikanásobně.

Škodlivý účinek v litinách má rovněž arsen, kadmium a další prvky. **Nároky na nízký obsah nečistot jsou u LKG podstatně vyšší, než u ostatních druhů litin**. Řada prvků (např. Sb, Ti a další), které v šedé litině příliš nevaří, nebo jsou někdy dokonce přidávány záměrně, mají u LKG velmi škodlivý účinek.

3.3 HODNOCENÍ CHEMICKÉHO SLOŽENÍ LITIN

3.3.1 UHLÍKOVÝ EKVIVALENT

Souhrnný vliv uhlíku a dalších prvků v litině se vyjadřuje uhlíkovým ekvivalentem C_E . Vztah pro výpočet uhlíkového ekvivalentu je obvykle uváděn ve tvaru

$$C_E = C + 1/3 (Si + P)$$

Podle hodnoty C_E se pak hodnotí složení litin:

- $C_E < 4,3$ - litiny podeutektické
- $C_E \sim 4,3$ - litiny eutektické
- $C_E > 4,3$ - litiny nadeutektické

Např. litina s obsahem 3,6% C, 2,4 % Si a 0,3 % P má $C_E = 3,5 + 1/3 \cdot (2,4 + 0,3) = 4,4$ a je tedy nadeutektická.

3.3.2 STUPEŇ EUTEKTIČNOSTI

Stupeň eutektičnosti S_E je jiným prostředkem pro vyjádření chemického složení.

$$S_E = \frac{C}{4,3 - \frac{1}{3} (Si + P)}$$

- $S_E < 1$ - litina podeutektická
- $S_E = 1$ - litina eutektická
- $S_E > 1$ - litina nadeutektická

Hodnocení chemického složení podle stupně eutektičnosti zcela odpovídá hodnocení podle uhlíkového ekvivalentu (je jedno, které se používá).

3.3.3 POMĚR C/SI

Čím nižší je hodnota poměru C/Si při stejném uhlíkovém ekvivalentu (nižší uhlík, vyšší křemík), tím dokonalejší je grafitezace - menší sklon k zákalce a větší podíl feritu ve struktuře. Poměr C/Si se běžně pohybuje v rozmezí 1,2 - 2,4.

3.3.4 VLIV RYCHLOSTI OCHLAZOVÁNÍ NA STRUKTURU LITIN

Litiny jsou materiálem, u kterého, vedle chemického složení, má velký vliv na krystalizaci a vlastnosti odlitků i rychlost ochlazování.

Rychlé ochlazování podporuje:

- vznik metastabilní struktury (zákalky, karbidů)
- vznik perlitu

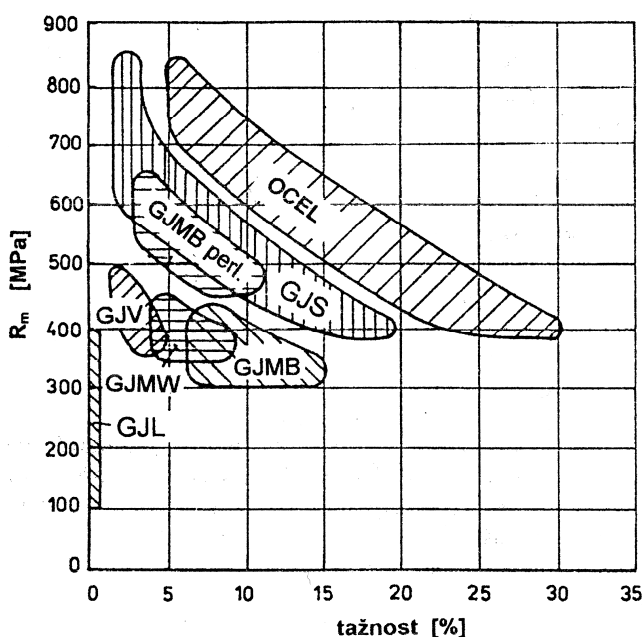
V důsledku citlivosti litiny k rychlosti ochlazování vzniká různá struktura a různé mechanické vlastnosti v tenkých a tlustých stěnách odlitků. V tlustých stěnách je více feritu a jsou v nich nižší mechanické vlastnosti, než tenkých stěnách téhož odlitku. Údaje o vlastnostech litin se proto musí vždy vztahovat ke konkrétní tloušťce stěn. **Souvislost mezi chemickým složením a výslednou strukturou udávají strukturní diagramy.**

4. DRUHY A VLASTNOSTI LITIN

4.1 MECHANICÉ VLASTNOSTI

U litin se standardně hodnotí následující mechanické vlastnosti:

- **pevnost** - mez pevnosti v tahu R_m , u LKG, LVG a TvL rovněž mez $R_{p0,2}$
- **plastické vlastnosti** - tažnost A_5 , hodnotí se pouze u LKG, LVG a TvL
- **dynamické vlastnosti** - rázová houževnatost KCV na tělesech s V-vrubem, obvykle pouze u LKG
- **tvrdost** - hodnota tvrdosti HB



Velká variabilita struktury litin má za následek i velmi široké spektrum mechanických vlastností. Na obr. 24 jsou znázorněny oblasti pevnosti v tahu a tažnosti různých druhů nelegovaných litin. (Zkratky materiálů odpovídají značení dle ENČSN- viz dále.) Pro srovnání je uvedena i oblast uhlíkatých ocelí. Mezi pevností a tažností litin (a rovněž rázovou houževnatostí) platí nepřímá úměrnost - **materiály s vysokou pevností mají obvykle nižší tažnost a rázovou houževnatost. U nelegovaných litin je nositelem pevnosti perlit, nositelem plastických vlastností a houževnatosti ferit.**

Obr. 24: Mechanické vlastnosti nelegovaných litin

Tvrdość litin závisí zejména na struktuře základní kovové hmoty a její disperzitě. Čím jemnější je perlit, tím vyšší bývá tvrdost. Orientační hodnoty tvrdosti jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2: Tvrdość litin s různou strukturou (orientačně)

litina	tvrdost HB
feritická	120-150
ferito-perlitická	140-200
perlitická	180-260
nízkolegovaná perlitická	210-280
austenitická (pozn.)	130-170
bainitická	260-420
bílá nelegovaná (dle obsahu C)	400-500
martenzitická	350-550
martenziticko-karbidická	550-700

Pozn: austenitická litina legovaná Cr až 220 HB

Tvrdość litiny má velmi významný vliv na obrobiteľnosť a na životnosť obráběcích nástrojů. Indexy životnosti nástrojů vůči struktuře jemného perlitu jsou uvedeny v tab.3.

Tab.3: Vliv mikrostruktury litiny na životnost obráběcích nástrojů

základní kovová hmota	tvrdost [HB]	index životnosti nástroje
ferit	140	20
50% ferit-50% perlit	170	10
zrnitý perlit	195	2
střední perlit	210	1,5
jemný perlit	225	1,0
jemný perlit - 5% volné karbidy	240	0,3

4.2 ZNAČENÍ LITIN

Značení norem jakosti litin v České republice se od roku 1997 sjednotilo s označováním podle evropských norem. Druhy litin se uvádí jako ve formátu **EN ČSN** Způsob značení za těmito písmeny se řídí normou EN ČSN 1560. Litiny se označují podle vlastností, nebo číselně.

Číselné značení je jen označením a nemá s vlastnostmi žádnou souvislost.

Podle vlastností se litiny značí pomocí symbolu a čísla, které udává hodnoty některých mechanických vlastností. Dále může uvádět podmínky zkoušek a určovat původ zkušebních těles. Struktura symbolu je uvedena na příkladech.

Příklad 1: EN ČSN-GJL-250 S:

GJ - litina

tvár grafitu: L - s lupínkovým grafitem - GJL
S - s kuličkovým grafitem - GJS
M - temperovaná litina - GJMW - s bílým lomem
- GJMB - s černým lomem
V - s červíkovitým grafitem - GJV
H - ledeburitická - GJH
X - se speciální strukturou
250 - pevnost v tahu v MPa
výroba zkušebních vzorků: S - odděleně litá zkušební tyč
U - přilítý zkušební vzorek
C - zkušební vzorek vyříznutý z odlitku

Příklad 2: EN ČSN-GJS-400-18 LT:

značení za pevností: - 18 minimální tažnost [%]
LT - zkoušení při nízkých teplotách
RT - zkoušení při normální teplotě

Příklad 3: EN ČSN-GJL-200 H155:

H 155 - tvrdost Brinella

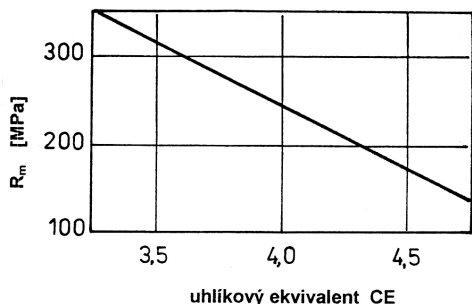
Příklad 4: EN ČSN-GJMW-400-5

temperovaná litina: W - s bílým lomem
400 - pevnost v tahu 400 MPa
5 - tažnost $A_5 = 5\%$

4.3 EN ČSN 1561: LITINA S LUPÍNKOVÝM GRAFITEM - LLG

Normalizovány jsou jakosti LLG s pevností v tahu 100 až 350 MPa. Rozmezí pevnosti v každé třídě je omezeno intervalem mezi nominální pevností R_m a hodnotou $R_m + 100$ MPa.

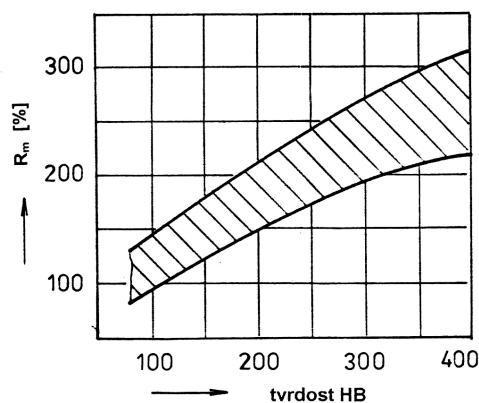
(Podle ČSN se litina s lupínkovým grafitem dříve značila jako ČSN 4224xx, kde poslední dvojčíslí udávalo pevnost v tahu v desítkách MPa. - např. ČSN 422425 znamenalo litinu s $R_{m\min}$ 250 MPa.)



Pevnost a tvrdost úzce souvisí s chemickým složením, vyjádřeným stupněm eutektičnosti (nebo uhlíkovým ekvivalentem). Nejčastěji se uvádí vztah - obr.24.

$$R_{m\text{ vyp}} = 1000 - 809 S_E \quad [\text{MPa}]$$

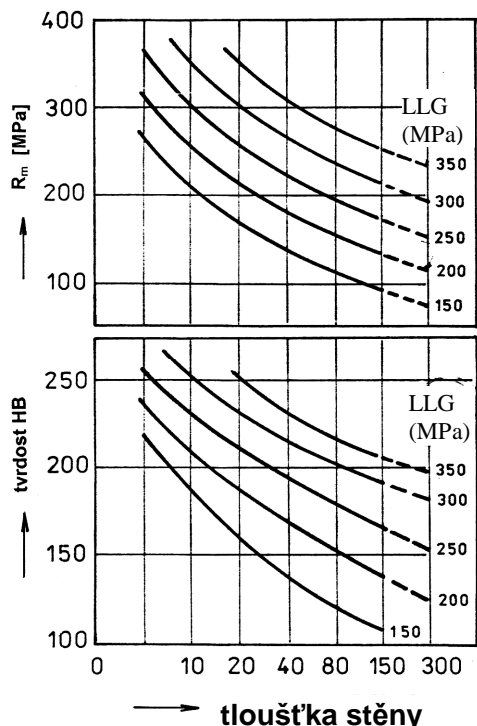
Obr. 24.: Závislost pevnosti na chemickém složení



Mezi pevností v tahu a tvrdostí platí přímá úměrnost, pro nelegovanou LLG je znázorněna na obr.25.

U nelegovaných litin není normalisován obsah jednotlivých prvků. Chemické složení musí být voleno tak, aby se dosáhlo požadovaných vlastností.

Obr. 25.: Souvislost mezi tvrdostí a pevností nelegované LLG



Litina s lupínkovým grafitem je materiálem s velkou citlivostí na rychlost chladnutí. Na obr. 26 je znázorněna závislost pevnosti v tahu a tvrdosti litiny na tloušťce stěn. Normované hodnoty pevnosti se vztahují ke zkušebnímu tělesu $\varnothing 30$ mm, to odpovídá tloušťce stěn 15 mm. V tenších stěnách budou pevnosti vyšší, v tlustších stěnách i dosti podstatně nižší.

Modul pružnosti litin rovněž souvisí se strukturou, tj. s pevností a tvrdostí. Čím vyšší je pevnost litiny, tím větší je i modul pružnosti. Modul pružnosti se u nelegovaných litin s lupínkovým grafitem obvykle pohybuje v rozmezí $(0,8-1,4) \cdot 10^5$ MPa.

Tažnost litiny s lupínkovým grafitem je zanedbatelná, nižší než 1 % a její hodnota se při zkoušení obvykle nezjišťuje.

Pevnost v tlaku - R_D je až 2,5 až 4 krát vyšší, než pevnost v tahu a bývá v rozmezí hodnot 600 - 1100 MPa. Z tohoto důvodu mají být litinové součástky konstruovány tak, aby kritické průřezy byly namáhány tlakem.

Obr. 26.: Závislost pevnosti a tvrdosti LLG na tloušťce stěn

Významnou vlastností grafitických litin obecně, zejména však litin s lupínkovým grafitem, je **malá vrubová citlivost. Litiny proto mají, překvapivě vysokou hodnotu meze únavy. Čím nižší je pevnost litiny, tím menší je vrubová citlivost.**

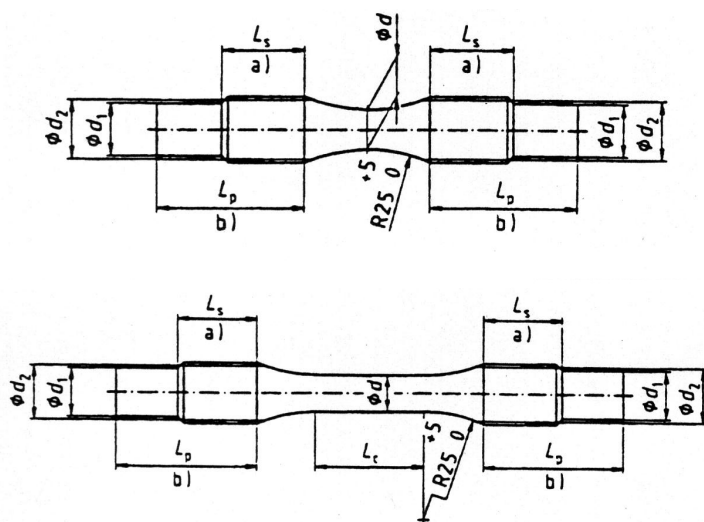
Tab. 4: Vlastnosti a složení nelegovaných litin s lupínkovým grafitem (na odděleně lité tyči $\phi 30$ mm)

EN-ČSN-GJL	100	150	200	250	300	350
R_m [MPa]	100-200	150-250	200-300	250-350	300-400	350-450
$R_{p0,1}$ [MPa]		98-165	130-195	165-228	195-260	228-285
R_D [MPa]		600	720	840	960	1080
$E \cdot 10^3$ [MPa]		78-103	88-113	103-118	108-137	123-143
$HB_{max}^{(1)}$	180	200	220	240	260	270
S_E	1,05-1,11	0,99-1,05	0,93-0,99	0,87-0,93	0,81-0,87	0,75-0,81
Chem.slož. ⁽²⁾						
C	3,5-3,7	3,4-3,6	3,3-3,5	3,1-3,3	3,0-3,2	2,8-3,1
Si	2,3-2,5	1,9-2,2	1,8-2,1	1,7-1,9	1,6-1,8	1,5-1,7
Mn	0,4-0,6	0,5-0,7	0,6-0,8	0,8-1,0	0,9-1,1	1,1-1,3
P_{max}	0,7	0,6	0,5	0,5	0,3	0,25
S_{max}	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,
doporučená tl. stěn [mm]	4-15	5-30	8-45	15-70	25-100	40-150 i více
struktura	ferit + stopy perlit	ferit + perlit	ferit + perlit	perlit + ferit	perlit	perlit

(1) - uvedené hodnoty tvrdosti jsou pouze orientační

(2) - chemické složení není normalizováno

Zkušební tělesa pro zkoušení mechanických vlastností LLG.



Mechanické vlastnosti se stanoví na zkušebních tělesech, vyrobených, z odděleně litých tyčí $\phi 30$ mm délky obvykle 300 nebo 600 mm, odlévaných ve svislé poloze do syrové formy, nebo se odlévají zkušební vzorky přilité k odlitku. Pevnosti litin, vyplývající z jejich značky, se vztahují k tyči $\phi 30$ mm. Tvar zkušebních těles je znázorněn na obr.27. Průměr tyče po obrobení je ve zkoušené části $\phi 20$ mm.

Obr. 27: Zkušební tělesa pro zkoušku tahem LLG

4.4 EN ČSN 1563: LITINA S KULIČKOVÝM GRAFITEM - LKG

Podle EN ČSN 1563 jsou normalizovány nelegované LKG s pevností v tahu 350-900 MPa. Základní mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 5.

Dříve platnou normou byla ČSN 422303-08. V ní značí poslední dvojčíslí minimální pevnost v tahu ve stovkách MPa (u 422303 - $R_{m \min} = 380$ MPa, u 422304 - $R_{m \min} = 420$ MPa).

Chemické složení LKG je eutektické až nadeutektické, přibližně v rozmezí CE = 4,2-4,7 a volí se především v závislosti na směrodatné tloušťce stěn odlitků.

Tab.5: Mechanické vlastnosti nelegovaných LKG na odděleně litych zkušebních tělesech

označení materiálu	pevnost v tahu R_m [MPa]	mez 0,2 $R_{p0,2}$ [MPa]	tažnost $A_{5 \min}$ [%]	tvrdost HB 4)	struktura	pozn .
EN-GJS-350-22	350	220	22	< 160	F	1)
EN-GJS-400-18(15)	400	250	18 (15)	130-175	F	2)
EN-GJS-450-10	450	310	10	160-210	F	
EN-GJS-500-7	500	320	7	170-230	F + P	
EN-GJS-600-3	600	370	3	190-270	P + F	
EN-GJS-700-2	700	420	2	225-305	P	
EN-GJS-800-2	800	480	2	245-335	P, S	
EN-GJS-900-2	900	600	2	270-360	B, S	3)

1) Dále varianty se zaručenými vlastnostmi za nízkých teplot

2) Varianty s tažností 15 a 18 % a dále varianty se zaručenými vlastnostmi za nízkých teplot

3) Lze dosáhnout pouze tepelným zpracováním a/nebo legováním

4) Tvrdost na přilíthých zkušebních tělesech

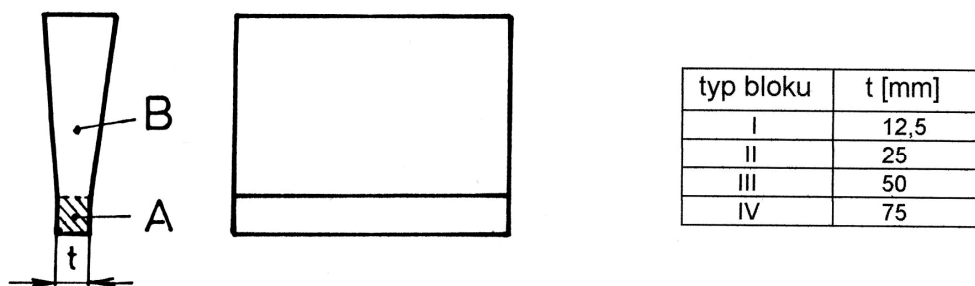
Struktura: F-ferit, P-perlit, S-sorbit, B-bainit

Mechanické vlastnosti nejsou příliš závislé na uhlíkovém ekvivalentu, nýbrž především na struktuře základní kovové hmoty. Litiny s feritickou strukturou mají velmi dobré plastické a dynamické vlastnosti, perlit způsobuje ke zvýšení pevnosti a tvrdosti. Zvýšení podílu perlitu se dosahuje při vyšším obsahu manganu nebo pomocí legur, stabilizujících perlit (zejména Cu). U LKG je nutno udržovat co nejnižší obsah fosforu, karbidotvorných prvků a dalších nečistot.

Modul pružnosti litin s kuličkovým grafitem je vyšší, než u litiny s lupínkovým grafitem a pohybuje se v rozmezí přibližně $(1,6-1,85) \cdot 10^5$ MPa.

Nárazová práce litiny s kuličkovým grafitem závisí především na její struktuře. Hodnota nárazové práce je normou předepsána pouze u značek s pevností 350 a 400 MPa. Zjišťuje se **na zkušebních tělesech s V-vrubem**.

Zkušební vzorky pro zkoušku mechanických vlastností tvárných litin se vyrábí z odděleně litych nebo přilíthých zkušebních těles. Ve slévárnách se jako odděleně litá tělesa používají zejména tzv. Y-bloky - obr.28, jejichž rozměry se volí v souladu se směrodatnou tloušťkou stěn odlitků tak, aby rychlosti ochlazování zkušebního tělesa a odlitku se co nejvíce blížily. Zkušební vzorky se vyrábí ze spodní části tělesa, označené A, část B je nálietek.



Obr. 28: Zkušební těleso tvaru Y

4.5 EN ČSN 1564: IZOTERMICKY KALENÉ LITINY S KULIČKOVÝM GRAFITEM

Izotermicky kalené LKG jsou litiny s kuličkovým grafitem, u nichž se vysokých mechanických vlastností dosahuje tepelným zpracováním, při kterém vzniká austeniticko-feritická matrice.

Tab. 6: Mechanické vlastnosti izotermicky kalených LKG:

označení	Rm _{min} [MPa]	Rp0,2 [MPa]	A5 _{min} [%]	HB
EN-LKG-800-8	800	500	8	260-320
EN-LKG-1000-5	1000	700	5	300-360
EN-LKG-1200-2	1200	850	2	340-440
EN-LKG-1400-1	1400	1100	1	380-480

4.6 EN ČSN 1562: TEMPEROVANÁ LITINA

Temperované litiny se vyrábí tepelným zpracováním bílé litiny. Grafit je v těchto litinách ve tvaru vloček, proto se tato litina často nazývá též jako litina s vločkovým grafitem. Dříve byla známa jako litina kůjná, neboť to byl jediný druh litiny s dobrými tvárnými vlastnostmi.

Dle způsobu tepelného zpracování a výsledné struktury se dělí na temperovanou litinu s bílým lomem (podle EN ČSN 1562 se značí EN ČSN-TLW) a s černým lomem (EN ČSN-TLB).

Objem výroby tohoto druhu litin se v posledních letech výrazně snižuje a je nahrazován zejména litinou s kuličkovým grafitem.

Mechanické vlastnosti se zjišťují na válcových zkušebních tyčích $\phi 12$ nebo 15 mm. Orientační hodnoty mechanických vlastností jsou uvedeny v tab.7:

Tab. 7: Mechanické vlastnosti temperovaných litin

druh litiny	Rm [MPa]	A3 [%]	HB
s bílým lomem	350 - 450	4 - 10	200 - 230
s černým lomem			
- feritická	300 - 350	6 - 12	max. 150
- perlitická	450 - 700	2 - 7	150 - 290

V ČSN byly dříve temperované litiny uvedeny v normě 4225xx:

Tab. 8: Chemické složení temperovaných litin

obsah prvku [%]	s bílým lomem	s černým lomem	
		feritická	perlitická
C	2,8 - 3,4	2,4 - 2,8	2,0 - 2,8
Si	0,4 - 0,8	0,9 - 1,5	0,7 - 1,2
Mn	0,2 - 0,4	0,3 - 0,5	0,4 - 1,0
P	max.0,1	max. 0,1	max. 0,1
S	max.0,2	max. 0,15	max. 0,12

4.7 VERMIKULÁRNÍ LITINA - LVG

Tato litina není dosud v ČR normalizována. Chemické složení je přibližně eutektické, s obsahem prvků:

3,2 - 3,6 % C	CE = 4,2 - 4,4
2,7 - 3,2 % Si	
0,1 - 0,6 % Mn	
max. 0,1 % P	

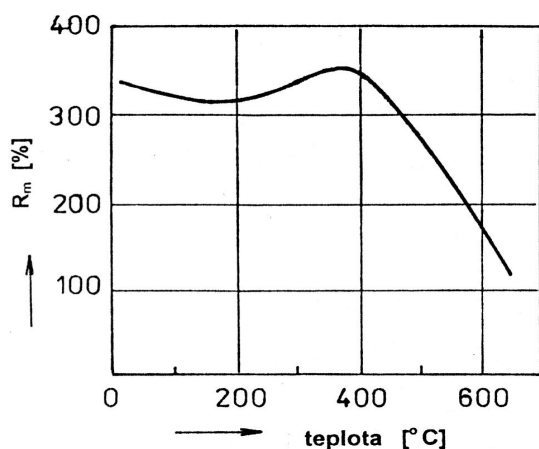
Mechanické vlastnosti se pohybují mezi vlastnostmi LLG a LKG, orientační hodnoty jsou:

R _m	=	300 - 500 MPa
R _{p0,2}	=	250 - 350 MPa
A ₅	=	3 - 6 %
E	=	(1,3-1,6).10 ⁵ MPa
HB	=	150 - 240

Struktura obvykle ferito-perlitická.

4.8 VLASTNOSTI LITIN ZA ZVÝŠENÝCH TEPLOT

Mechanické vlastnosti litin se při teplotách do 300-400 °C podstatně nemění. Nad teplotou 400-450 °C se pevnost snižuje, nad 450 °C již velmi strmě -obr.29. U nízkolegovaných litin (legovaných obvykle Cr,



Ni a Mo) se oblast prudkého poklesu mechanických vlastností posouvá o 50-100 K k vyšším teplotám.

Tažnost (LKG) se s teplotou snižuje na minimum kolem 400-500°C, pak se rychle zvyšuje.

Při dlouhodobém zahřátí na teploty nad 450-500 °C dochází pozvolna ke **sferoidizaci perlitického cementitu** a posléze k jeho rozpadu na ferit a grafit. Při teplotách nad asi 550-600 °C se tento proces značně zrychluje.

Obr. 29: Závislost pevnosti litiny na teplotě

Při teplotách nad asi 650 °C dochází ke zvýšení **oxidace litiny**. Zpočátku oxiduje hlavně ferit, nad 700 °C pak i grafit. Oxidace **postupuje do objemu kovu podél útvarů grafitu**, v LLG je proto oxidace litiny podstatně rychlejší, než v LKG, kde jsou jednotlivé částice grafitu navzájem oddělené. Ve struktuře s hrubým grafitem postupuje oxidace rychleji, než v litině s grafitem jemným. Vnitřní oxidace má spolu se změnami struktury za následek zhoršení mechanických vlastností (v pokročilém stadiu až jejich úplnou degradaci) a tzv. "**růst**" litiny. Zvýšení odolnosti litiny proti oxidaci a růstu se dosáhne zjemněním struktury a legováním zejména Cr, a dále Cu, Ni, Mo a jejich kombinací. Zvláště **molybden** je v tomto směru velmi účinný.

4.9 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

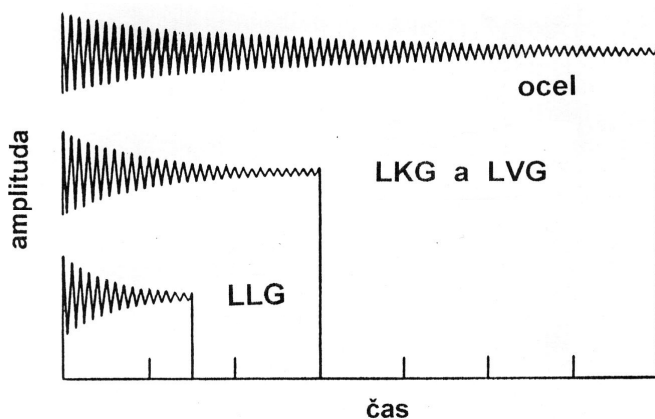
Fyzikální vlastnosti litin jsou ovlivněny přítomností grafitu ve struktuře, jeho tvarem a druhem základní kovové hmoty. Důležitými vlastnostmi, kterými se litiny značně liší od oceli jsou:

Hustota - snižuje se s rostoucím množstvím vyloučeného grafitu. Je přibližně o 10 % nižší, než hustota ocelí, za normální teploty obvykle v rozmezí 7100 - 7300 kgm⁻³.

Tepelná vodivost - souvisí s tvarem a množstvím vyloučeného grafitu a je podstatně vyšší, než tepelná vodivost ocelí. **Čím více je ve struktuře grafitu, tím větší tepelná vodivost**. Vodivost LLG s hrubým grafitem je vyšší, než litiny s grafitem jemným, **tepelná vodivost LLG je vyšší, než LKG**. Tepelná vodivost litiny s lupínkovým grafitem je v mezích 45-52 Wm⁻¹ K⁻¹, u litiny s kuličkovým grafitem přibližně 32-38 Wm⁻¹ K⁻¹.

Součinitel tepelné roztažnosti - je u grafitických litin menší, než u oceli a běžně se pohybuje v rozmezí 10-13.10⁻⁶K⁻¹. Dobrá tepelná vodivost, nižší E-modul a menší tepelná roztažnost, než má ocel, vede ve srovnání s ocelí ke vzniku menších teplotních pnutí, menšímu tepelnému borcení odlitků a k dobré odolnosti proti tepelným šokům.

Útlum - jedna z nejvýznamnějších fyzikálních vlastností litin. Tato vlastnost charakterizuje schopnost materiálu tlumit mechanické vibrace. **Vysoký útlum mají hlavně feritické LLG s hrubým lupínkovým grafitem**. Útlum LKG je podstatně menší, přesto však tyto litiny pohlcují až 10 x větší energii, než oceli. Průběh útlumu v různých slitinách železa je na obr. 30.



Obr. 30.: Útlum vibrací ve slitinách železa

4.10 NÍZKOLEGOVANÉ LITINY

Chemické složení nízkolegovaných ani vysokolegovaných litin není podle normy EN ČSN normalizováno.

Obsah legujících prvků v nízkolegovaných litinách je obvykle několik desetin až jednotek procent. Legováním se většinou nemění zásadně struktura (zůstává v ní ferit nebo perlit, někdy také karbidy).

Účelem legování u nízkolegovaných litin je zejména:

- zajištění perlitické struktury v celém průřezu odlitků
- zvýšení mechanických vlastností, tj. pevnosti, tvrdosti, odolnosti proti otěru
- zlepšení mechanických vlastností při zvýšených teplotách

Hlavními legujícími prvky jsou chrom, vanad, molybden, měď, nikl a cín. Přehled prvků, jejich dávkování a účel jsou v tab. 9. Možnosti legování LLG a LKG jsou v některých směrech odlišné.

Tab.9: Prvky, používané v nízkolegovaných litinách

prvek	obsah [%]	účel
chrom	0,2 - 1,0	zvýšení mechanických vlastností za normálních a zvýšených teplot
molybden	0,3 - 0,8	zvýšení pevnosti za normálních i vyšších teplot, snížení citlivosti na tloušťku stěn
měď	0,4 - 2,0	stabilizace perlitu u LKG, snížení citlivosti na tloušťku stěny, kompenzace karbidotvorného účinku chromu
nikl	0,5 - 3,0	podobně jako u mědi, též zlepšení prokalitelnosti
mangan	do 1,3	zjemnění perlitu, zvýšení mechanických vlastností
cín	do 0,15	stabilizace perlitu v LLG (méně často v LKG)
titan	do 0,1	zvýšení odolnosti proti otěru - pouze u LLG

4.11 VYSOKOLEGOVANÉ LITINY

Do této skupiny patří zvláště litiny:

- žáruvzdorné
- korozi-vzdorné
- otěruvzdorné
- se zvláštními vlastnostmi

Obsah legujících prvků je v jednotkách až desítkách procent. Struktura často obsahuje karbidy legujících prvků, austenit, martenzit nebo i jiné strukturní složky.

Žáruvzdorné litiny jsou legované především chromem (6-35 %Cr), někdy se používají křemíkové litiny.

Rovněž **otěruvzdorné litiny** obsahují chrom a další karbidotvorné prvky, často také nikl.

Významnou skupinou vysokolegovaných litin jsou **austenitické litiny**, známé pod názvem **Ni-Resist**. Austenitická struktura se dosáhne legováním **více než 18 % niklu (někdy niklu společně s mědí)**.

Austenitické litiny mají dobré mechanické vlastnosti za vysokých teplot **do 700 - 820 °C** a jsou **korozi-vzdorné a odolné proti okujení**. Vyrábí se z nich odlitky pro chemický průmysl, čerpadla a pro práci za vysokých teplot.

5. TAVENÍ LITIN

Tavicí agregáty ve slévárnách litiny musí zajistit:

- výrobu kovu s požadovaným chemickým složením a metalurgickou kvalitou
- dosažení dostatečně vysoké teploty roztaveného kovu - obvykle v rozmezí 1450-1550 °C

(Metalurgickou kvalitou se rozumí druh a stejnoměrnost struktury, rozložení a tvar grafitu, obsah plynů a další vlivy, které závisí na použitých surovinách, způsobu vedení tavicího procesu a ve svém důsledku rozhodují o vlastnostech odlitků.)

Pro tavení litin se používají následující **druhy pecí**:

- **kuplovný**
- **elektrické indukční pece (EIP)**
- **elektrické obloukové pece (EOP)**
- **bubnové pece**

V převážné většině sléváren se litina taví v kuplovných a EIP. Kuplovný jsou stále ekonomicky nejvýhodnějším agregátem, který obvykle zcela vyhovuje pro tavení LLG. Jejich nevýhodou je obtížné dodržování chemického složení, těžkopádná změna složení taveného kovu, limitovaná teplota kovu a nasíření litiny sírou z koksu. Značné problémy bývají rovněž s dodržováním exhalačních limitů. Z těchto důvodů přechází řada sléváren na tavení v EIP. Na druhou stranu mají litiny, tavené v kuplovných lepší grafitizaci, při tuhnutí tvoří menší staženiny a také je možné v kuplovných likvidovat některé druhy odpadu, vznikajícího ve slévárně (zejména prachové částice).

Elektrické indukční pece odstraňují nevýhody kuploven, jejich pořizovací a provozní náklady však bývají vyšší, než u kuploven. Výhody EIP se uplatní především při tavení litin s kuličkovým grafitem, legovaných litin a v podmínkách časté změny chemického složení litiny (tavení různých značek).

Obloukové pece nejsou typickým agregátem pro tavení litin. Používají je obvykle slévárny oceli, které později začaly vyrábět rovněž odlitky z LKG. Jako zařízení, určené pouze pro tavení litin, se však neinstalují.

Bubnové pece jsou novým typem tavicího agregátu. Po ekonomické stránce jsou jejich pořizovací i provozní náklady výhodné. Rovněž metalurgicky jsou pro tavení všech druhů litin vhodné. Kapacitně se hodí především pro menší až středně velké slévárny.

5.1 TAVENÍ LITIN V KUPLOVNÁCH

5.1.1 POPIS KUPLOVNY

Kuplovný jsou šachtové pece, které fungují jako protiproudý výměník tepla. Zdrojem tepla v kuplovnách je nejčastěji koks, použití jiných druhů paliv - plyn nebo tekutá paliva je spíše výjimečné.

Kuplovna je tvořena ocelovým pláštěm a po celé výšce, nebo částečně vyzdřená žáruvzdornou vyzdívkou.

Základními částmi, ve směru shora dolů jsou - obr.31:

komín - část nad zavážecím otvorem

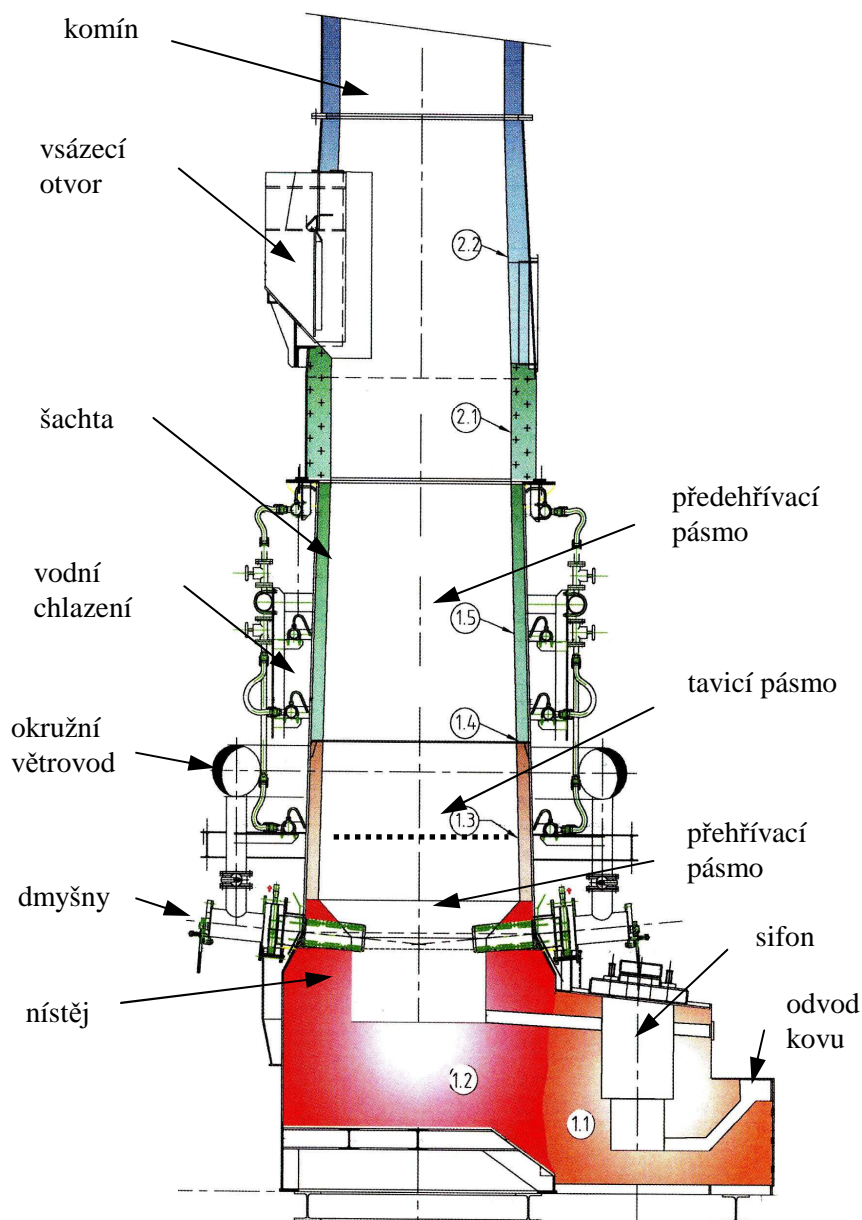
šachta - část mezi zavážecím otvorem a dmyšnami

nístěj - část mezi dmyšnami a dnem kuplovný

Komín - Odvádí celý objem spalin, nebo jejich část mimo prostor slévárny. Komín bývá osazen lapačem prachových exhalací. Moderní horkovětrné kuplovný komín nemají a všechny spaliny jsou odváděny již pod zážecím otvorem mimo prostor pece, do rekuperátoru a filtrů.

Sázecí otvor - slouží pro zavážení vsázky. Je přístupný ze sázecí plošiny. **Zavážení vsázky se provádí obvykle skipovým výtahem nebo zavážecím jeřábem se zavážecím okovem.** Zavážecí vozík skipu se pomocí konstrukce vedení překlápí a jeho obsah se vysype do šachty kuplovný. **Zavážecí okovy** pro zavážení zavážecím jeřábem bývají opatřeny dvoudílným vyklápěcím dnem. Každá dávka vsázky obsahuje všechny komponenty - kovovou vsázku, struskotvorné přísady a koks. Méně často se používají i jiné způsoby zavážení, např. vibrační.

Systém zavážení má zajistit rovnoměrné rozložení vsázky v celém průřezu kuplovný. Pokud má vsázka v průřezu pece nestejnou výšku nebo nestejnou kusovitost, (případně některé složky vsázky se koncentrují u některého okraje) dochází k nerovnoměrnému, jednostrannému chodu kuplovný.



Obr. 31: Schéma kuplovný s vyzdívkou

Šachta - u starších pecí válcová, u moderních kuploven se směrem k nístěji mírně rozšiřuje. **V horní části šachty dochází k přehřívání vsázky, ve spodní k tavení a přehřátí taveniny na odpichovou teplotu.** Oblast, ve které dochází k tavení vsázky, se nazývá **tavicí pásma** (viz obr. 31) Šachta kuplovný je obvykle vyzděna žáruvzdornou vyzdívkou. U bezvyzdívkových kuploven je šachta tvořena pouze

vodou chlazeným ocelovým pláštěm. Rovněž u některých pecí s vyzděnou šachtou se používá vodního chlazení pláště, aby se zvýšila životnost vyzdívky.

Velikost kuplovný se hodnotí průměrem šachty v oblasti dmyšen. Obvykle bývá mezi 700 - 1400 mm. S průměrem šachty (resp. s velikostí průřezu) souvisí tavicí výkon, který dosahuje asi 10-15 t kovu/m².hod

Dmyšny - slouží pro dopravu spalovacího vzduchu do kuplovný. Dmyšny bývají měděné, vodou chlazené. Počet dmyšen závisí na velikosti kuplovný. Obvyklý počet je 4 - 6. Každá z dmyšen má možnost samostatné regulace množství dmýchaného větru, která umožňuje řídit chod pece v dané oblasti. Průběh tavení je u každé dmyšny možno sledovat průzorem. Dmyšny je rovněž možno otevřít, aby bylo umožněno mechanické čištění v případě, že by docházelo k jejímu ucpávání natuhávající struskou.

Okružní větrovod - prstencové potrubí okolo kuplovný, z něhož se přivádí spalovací vzduch k jednotlivým dmyšnám. Spalovací vzduch se ve slévárenské terminologii označuje jako „vítr“.

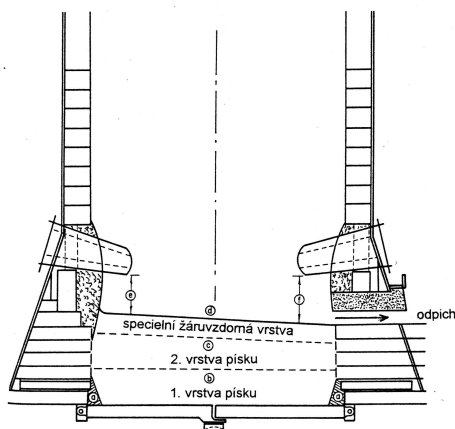
Nístěj - je část kuplovný pod úrovní dmyšen. U kuploven s **periodickým odpichem** (starší pece) slouží nístěj k akumulaci nataveného kovu. Odpich se provádí po zaplnění nístěje kovem, když hladina strusky dosahuje do blízkosti úrovně dmyšen. V tomto případě bývají dmyšny ve výšce přibližně 500 až 800 mm nade dnem kuplovný. Natavený kov se shromažďuje ve volných prostorách mezi kusy koksu. Využitelný objem tvoří asi 45 % objemu nístěje. Struska se vypouští struskovým otvorem, který je umístěn asi 200-300 mm nad odpichem kovu. Odpichový otvor pro kov i strusku se uzavírá jílo-grafitovou zátkou, kterou je nutno při dalším odpichu prorazit. Aby při odpichu nedocházelo k poškození vyzdívky kolem odpichového otvoru, je v těchto místech osazena speciální šamotová cihla. Tím, že je litina delší dobu ve styku se základovým koksem, dochází u těchto kuploven k většímu nauhličení a nasíření.

U modernějších kuploven je obvyklý **kontinuální odpich**. V tomto případě se nemá nístěj funkci zásobníku kovu a má menší výšku (kolem 300-400 mm). Natavený kov společně se struskou odtéká plynule odpichovým otvorem do sifonu, kde se struska odděluje od kovu.

Ve stěně nístěje nade dnem kuplovný jsou **pracovní dvířka**. Ta slouží obsluze k přístupu do pece při opravách, k vypěchování dna a tudíž se kuplovna také zapaluje. Po zapálení základového koksu se otvor zardí, dvířka uzavřou a zajistí.

Při tavení je nístěj a část šachty až do horního okraje tavicího pásma **zaplněna základovým koksem**. Základový koks tvoří v kuplovně jakýsi rošt, který nese celý sloupec vsázky. Při průchodu kapek roztaveného kovu vrstvou základového koksu do nístěje dochází k přehřátí kovu na konečnou teplotu a k řadě metalurgických reakcí mezi kovem, koksem, struskou a plynnou atmosférou, jejichž výsledkem je

propal nebo přípal jednotlivých prvků. **Správná výška vrstvy základového koksu je proto důležitým předpokladem správného chodu kuplovný. Jeho úroveň se kontroluje před zapálením pece (před zavážením kovové vsázky) měrkou. Během tavy dochází ke spalování základového koksu. Jeho úbytek se doplňuje pomocí vsázkového koksu.**



Obr. 32: Provedení vyzdívky dna

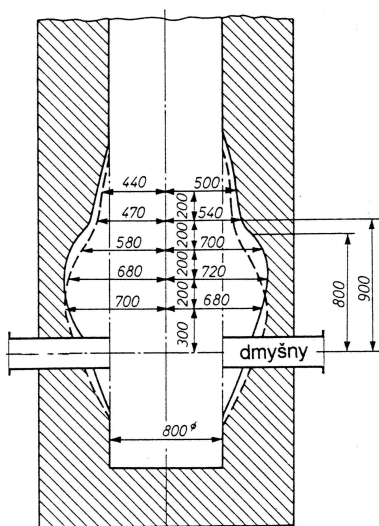
Dno - je u kuploven s periodickým provozem dvoudílné vyklápěcí. Během tavy musí být jeho uzavření spolehlivě zajištěno zaklínováním a podepřením. Po ukončení tavy se dvířka dna otevřou a zbytky vsázky vypadnou do prostoru pod kuplovnou. Otevřeným dnem je možný přístup pro opravu vyzdívky kuplovný. Dno je vypěchováno suchým pískem nebo speciální vyzdívkovou hmotou - obr.32.

U kuploven s dlouhodobým provozem je dno pece pevné, na pevných základech (viz obr. 31). Vstup do pece při opravách je možný pouze pracovním otvorem na boku pece.

Sifon - slouží u pecí s kontinuálním odpichem k oddělení strusky od kovu. Přepážka rozděluje sifon na dvě části. Struska, jako lehčí, se zachycuje v části před přepážkou, čistý kov pod přepážkou podtéká a pokračuje do druhé části a po licím žlábků do pánve nebo předpecí. Struska kontinuálně odtéká ze sifonu do granulárního žlabu, kde dochází k její granulaci v proudu vody.

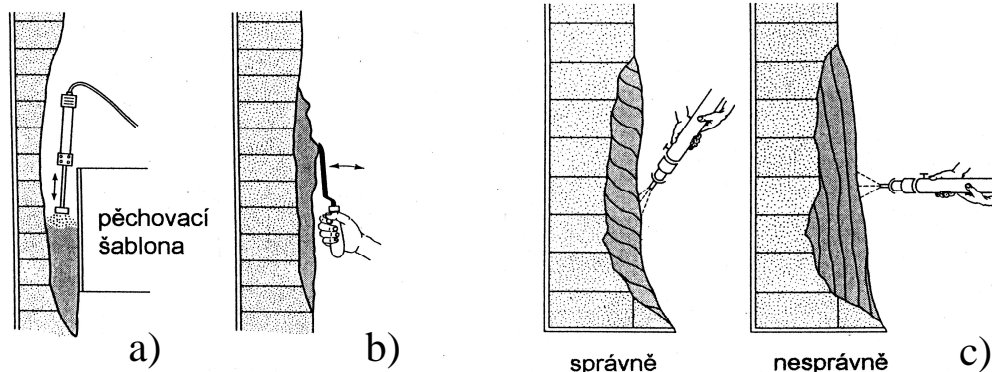
Vyzdívka - u kuploven s periodickým provozem je vyzděna níže a celá výška šachty. Různé části kuploven mohou být, podle mechanického, tepelného a chemického namáhání, vyzděny různými materiály. Z metalurgického hlediska je důležitá vyzdívka tavicího pásma a níže. Podle chemického

charakteru vyzdívky se rozlišují kuploven kyselé, neutrální nebo zásadité. Druh vyzdívky musí odpovídat charakteru strusky. Během tavy dochází k odtavení vyzdívky v nejméně tepelně namáhaných průřezech - zejména v oblasti dmyšen a v tavicím pásmu, k chemickému napadení tekutou struskou a rovněž k mechanickému opotřebení vyzdívky abrasivním účinkem vsázky - obr. 33. Opotřebení vyzdívky limituje maximální dobu tavy.



Oprava vyzdívky se provádí po vychladnutí pece (obvykle druhý den po tavně) vydusáním suché vyzdívkové hmoty podle šablony, nebo torkretováním (nastříkáním) vlhké žáruvzdorné hmoty torkretovacím zařízením - obr. 34.

Obr. 34: Opotřebení vyzdívky po skončení tavy



Obr. 34: Oprava vyzdívky: a) pěchováním podle šablony
b) vymazáním
c) torkretováním

5.1.2 REŽIM PROVOZU KUPLOVEN

Podle způsobu provozu se kuploven dělí na pece s periodickým nebo kampaňovým provozem.

KUPLOVNY S PERIODICKÝM PROVOZEM

V pecích s periodickým provozem se taví pouze jeden den. Pracovní cyklus se skládá z přípravy kuploven k tavně, zapálení, vlastního tavení a ukončení tavy.

Příprava kuplovný k tavbě spočívá z uzavření dna a jeho vydusání ve sklonu k odpichovému otvoru. Správné přípravě dna je nutno věnovat velkou péči, neboť může být příčinou předčasného ukončení tavby případně havarie. Důležité je zajistit **sklon dna směrem k odpichovému otvoru**, který je nejnižším místem nístěje. Velikost sklonu bývá asi **3-5°** (udává se rovněž 50-70 mm na 1 m průměru kuplovný).

Zapálení kuplovný se provádí po zavezení základového koksu. Optimální výška základového koksu je důležitým předpokladem správného chodu kuplovný. Při velké výšce základového koksu se musí nejprve jeho nadbytečné množství spálit, při malé výšce vytéká z pece studený kov. Výšku základového koksu je možno zvýšit mimořádnou dávkou vsázkového koksu.

Zapálení kuplovný se provádí pracovními dvířky, obvykle plynovým hořákem. Po rozžhavení koksu se pracovní otvor zazdí, omaže žáruvzdorným jílem, dvířka se uzavřou a zajistí. Po uzavření kuplovný se zaváže vsázka do zaplnění šachty.

Tavba začíná dmýcháním větru do kuplovný. První kapky roztaveného kovu je možno průzory ve dmyšnách pozorovat obvykle již za 8-10 min. Pokud to trvá déle, byla příliš vysoká úroveň základového koksu. V průběhu tavby se vsázka zaváže tak, aby se pec udržovala plná. K řízení zavážení se obvykle používají radioizotopová čidla, umístěná v horní úrovni šachty. Pokud je vsázka nad úroveň čidel, pohlcuje záření a systém zavážení je blokován. Po poklesu úrovně vsázky pod úroveň čidel se vydá automaticky povel pro zavezení dalšího vsázecího okovu.

Ukončení tavby se provádí ukončením zavážení. Vsázka v peci se postupně vytaví, vypustí se poslední kov a dno pece se tzv. "podrazí". Při podražení z kuplovný vypadne pouze malý zbytek koksu a strusky na předem připravenou podlahu. Z bezpečnostních důvodů je nutno dbát na to, aby prostor pode dnem kuplovný byl vydusán ze suchého písku do tvaru jakési ploché vany, ve které se tento zbytek z kuplovný zachytí.

Oprava se provádí po vychladnutí následující den. Oprava spočívá ve vyspravení opotřebovaných míst vyzdívky, odpichového otvoru a licího žlabu. Z tohoto důvodu se staví kuplovný s periodickým provozem vždy ve dvojicích - jedna pec taví, druhá se opravuje.

Délka tavby je limitována opotřebováním vyzdívky. Maximální doba tavby z tohoto důvodu nebývá delší, než 12-16 hodin denně, obvykle méně. **V důsledku opotřebování se během tavby zvětšuje průměr pece, zvětšuje její výkon a mění tavicí podmínky, teplota i chemické složení.** Při velkém opotřebování vyzdívky může hrozit nebezpečí propálení pláště.

KUPLOVNY S KAMPAŇOVÝM PROVOZEM

Moderní kuplovný pro vysoké tavicí výkony se konstruují pro kampaňový provoz. **Délka kampaň je obvykle několik týdnů.** Po tuto dobu se kuplovna nenechává vyhasnout, po skončení kampaň je nutno provést opravu nístěje a oblasti dmyšen. Jedná se převážně o velké kuplovný s průměrem nad 1200 mm. Šachta je často tvořena pouze ocelovým, vodou chlazeným pláštěm a nebývá vyzděna, nebo je vyzdívka pouze v části výšky.

Nístěj je vyzděna vysoce kvalitní vyzdívkou na bázi hlinitanových betonů nebo uhlíkovou vyzdívkou - obr.35. Životnost vyzdívky nístěje obvykle limituje délku kampaň.

Dno kuplovný je pevné - není otevíratelné. Na boku nístěje nade dnem jsou, v průběhu tavicí kampaň zazděná, pracovní dvířka. Pec bývá někdy opatřena dvěma sifony, neboť životnost jejich vyzdívky je podstatně kratší, než délka kampaň a musí během kampaň opravovat. Dmyšny jsou měděné, vodou chlazené. U bezvyzdívkových kuploven je možno pracovat s kyselou, neutrální i zásaditou struskou. Kampaňové kuplovný mohou tavit bez přerušení po celou dobu kampaň, což však v běžných slévárnách je málo obvyklé a taví se pouze po určitou část dne. Při přerušování provozu se pec nenechává vyhasnout, nýbrž se pouze utlumí. **Utlumení** se provádí tak, že se přestane vsázet kovová vsázka, místo níž se vsadí několik dávek koksu. Kov se z pece a ze sifonu vypustí a přestane se foukat vítr. V tomto stavu může kuplovna přečkat i několikadenní přerušení provozu. K obnovení tavby dochází po rozfoukání pece a zavezení kovové vsázky.

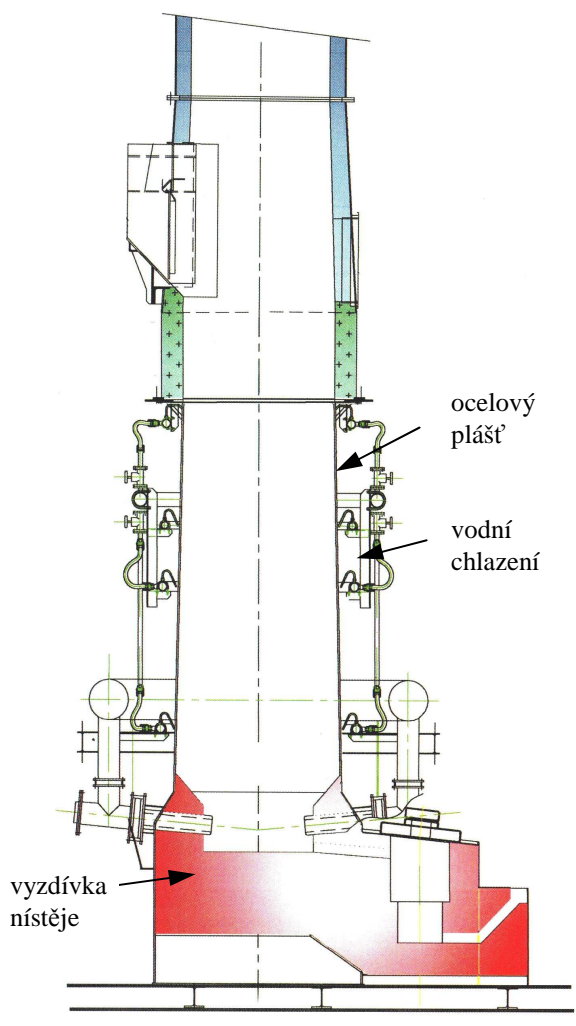
5.1.3 SPALOVACÍ VZDUCH

Spalovací vzduch, dmýchaný do kuplovný, se ve slévárenské terminologii nazývá **vítr**. Na vytavení 1 t litiny je zapotřebí kyslík z přibližně 600-700 Nm³ vzduchu. Množství dmýchaného větru se pohybuje kolem 100-130 Nm³ na 1 m² průřezu kuplovný za 1 min. Zdrojem větru jsou dmychadla. Používají se především dmychadla rotační nebo odstředivá.

Podle teploty větru se kuplovný rozdělují na **studenovětrnné a horkovětrnné**.

U studenovětrnných kuploven se dmýchá vítr s běžnou okolní teplotou. Jejich nevýhodou je nižší tepelná účinnost a velké ztráty tepla kychtovými plyny. Bývá problémem dosáhnout dostatečně vysokou teplotu kovu. Se studeným větrem pracují především starší a menší tavicí agregáty.

V horkovětrnných kuplovnách se do pece dmýchá vítr o teplotě 350-550 °C. K ohřevu se využívá tepla spalin, které se z kuplovný odsávají v úrovni pod vsázcím otvorem. Spaliny se odprašují, ve spalovací komoře se spaluje oxid uhelnatý, který je ve spalinách obsažen v množství kolem 15 % a vedou do rekuperátoru. Rekuperátor je tepelný výměník, ve kterém se teplem spalin teplotu kovu ohřívá vítr, který se pak dmýchá do pece.



Obr. 35: Řez bezvyzdívkovou kuplovnou

5.1.4 REGULACE CHODU KUPLOVNÝ

Tavicí výkon kuplovný závisí na množství dmýchaného větru, množství vsázkového koksu, eventuelně na obohacení větru kyslíkem. Optimálního chodu kuplovný - tavicího výkonu, teploty kovu a chemického složení kovu se dosahuje pouze v určitém rozmezí těchto parametrů. Změnou parametrů lze chod kuplovný do jisté míry regulovat. Trvalý chod mimo oblast optimálních parametrů je však ekonomicky i z hlediska kvality kovu nevhodný.

Zvýšením množství větru se přímo úměrně zvyšuje tavicí výkon. Při příliš malém, nebo příliš velkém množství větru ale klesá teplota kovu. Odstavením dmýchání je možné krátkodobě přerušit tavení. Tato doba je však poměrně krátká (řádově desítky minut), při delší odstávce může dojít k „zamrznutí“ kovu.

Zvětšením množství vsázkového koksu se snižuje tavicí výkon, ale zvyšuje teplota kovu. Mimořádných dávek vsázkového koksu se využívá také tehdy, kdy má slévárna krátkodobě malý odběr kovu. Přitom obvykle dojde k většímu nahlučení litiny.

Změny chemického složení

Všechny zásahy do chodu kuplovný mají za následek změnu chemického složení, zejména obsahu C a Si. Zásahy, které mají za následek zvýšení teploty kovu jsou doprovázeny zvýšením obsahu uhlíku a snížením popálu křemíku a manganu.

Obohacení větru kyslíkem

Za normálních podmínek je ve vzduchu obsaženo 21% kyslíku a téměř 79% dusíku. Dusík se nezúčastňuje hoření a na jeho ohřev se spotřebuje velké množství tepla. Zvýšením obsahu kyslíku se zvýší intenzita hoření, sníží se tepelné ztráty odvodem menšího množství spalin a dosahuje se zvýšení teploty kovu. Množství přidávaného kyslíku bývá v množství 1-4 %.

Obohacení větru se provádí:

- připouštěním kyslíku do větrovodu (méně často)
- dmýcháním kyslíku do jednotlivých dmyšen (obvykle)

Často se kyslíkem neobohacuje po celou dobu tavby, ale pouze na počátku tavby a v situacích, kdy je nutno rychle zvýšit teplotu kovu nebo tavicí výkon.

Kyslík se do slévárny dodává v kapalném stavu a uchovává se v nádržích o velkém objemu.

Významným efektem při obohacování větru kyslíkem je rychlé zvýšení teploty kovu a zvýšení operativnosti řízení chodu kuplovnů.

5.1.5 EMISE

Spaliny, odcházející z kuplovnů, obsahují značné množství plynných a pevných emisí, tvořených unášenými prachovými částicemi, zplodinami hoření a oxidace některých prvků. Tuhé exhalace tvoří koksový prach, nezestruskovaný popel a oxidy SiO_2 , FeO , CaO , Al_2O_3 , MgO , MnO , ZnO a jiné. Z kuplovnů odchází asi 8 kg tuhých částic na 1 t kovu. Ve spalinách je asi 10-15 % CO_2 , 14-20 % CO a asi 3-4 % SO_2 . Tyto exhalace je nutno ze spalin odstranit tak, aby byly splněny zákonné limity. Tuhé exhalace se zachycují pomocí gravitačních, odstředivých nebo jiných druhů odlučovačů. Jednoduchým typem jsou mokré odlučovače, založené na principu vodní clony. Složitější systémy se skládají z několika stupňů čištění. Dočištění exhalací se provádí v látkových nebo elektrostatických filtrech, které jsou schopny zachytit až 99 % částic s velikostí nad 0,5 μm . (Spaliny, vypouštěné z filtračního systému jsou často čistší, než nasávaný vzduch.) Oxid uhelnatý se ve spalinách likviduje dopalováním, oxid siřičitý neutralizací vápennou vodou. Voda, používaná k zachycování exhalací je mechanicky a chemicky velmi agresivní.

5.2 VSÁZKOVÉ SUROVINY PRO TAVENÍ LITIN V KUPLOVNÁCH

V kuplovnách se taví litiny s lupínkovým grafitem a litiny bílé (většinou pro temperovanou litinu). Tavení litiny kuličkovým grafitem je poměrně vzácné. Pro výrobu litiny s kuličkovým grafitem a litiny vermikulární je na závadu poměrně vysoký obsah síry, někdy také nedostatečně vysoká teplota kovu. Přesto je výroba těchto litin v kuplovně možná, jestliže se provede odsíření nebo se modifikuje čistým hořákem.

**Surovinami pro tavení litin v kuplovnách jsou:
kovová vsázka, palivo, struskotvorné přísady a legury.**

5.2.1 KOVOVÁ VSÁZKA

Kovovou vsázku tvoří:

- surová železa
- vratný materiál
- litinový odpad
- ocelový odpad

SUROVÁ ŽELEZA

Dodávají se ve tvaru housek, které podle typu a velikosti mohou být opatřeny vruby, usnadňujícími

jejich dělení. Surová železa se vyznačují nízkým obsahem síry a ostatních nečistot. Dělí podle obsahu křemíku, manganu, fosforu, případně dalších prvků.

Dle obsahu **křemíku** jsou surová železa

- slévárenská - Si > 1,2 % (obvykle 2-3,5 %)

- ocelárenská - Si < 1,2 %

- surová železa pro výrobu LKG - vyznačují se nižším obsahem doprovodných prvků

Obsah **uhlíku** u slévárenských želez bývá v rozmezí 3,7-4,3 %, u ocelárenských je vyšší - 4,2-4,7 %.

Celkově mají surová železa vždy nadeutektické složení.

VRATNÝ MATERIÁL

Vratný materiál pochází z vlastní produkce slévárny a tvoří ho vtoky, nálitky a zmetky. Před použitím by měl být otryskán a upraven na potřebnou kusovitost. V případě, že se taví různé značky nebo dokonce různé druhy litiny, je vhodné vratný materiál třídít. Výhodou vratného materiálu je známé chemické složení.

LITINOVÝ ODPAD (obvyklý název je zlomková litina)

Jedná se o spotřebitelský odpad, který pochází z vyřazených strojů a zařízení a ze sběru kovového odpadu. Jeho nevýhodou je nejisté chemické složení. Měl by být dodáván vyříděný podle původu a přibližně podle složení. Velmi pečlivě je nutno vyřídít legovaný odpad, ložiska valivá (Cr) i kluzná (Sn, Pb), díly ze slitin mědi, silně zoxidované díly (roštnice), velmi tenkostěnné odlitky (P) a další. Litinový odpad není příliš kvalitní vsázkovou surovinou. Čím se požaduje vyšší kvalita kovu, tím se ho používá méně.

OCELOVÝ ODPAD

Účelem používání ocelového odpadu je snížení obsahu C, Si, příp. P a S ve vsázce. Současně to je **nejlevnější část vsázky**, proto se slévárny snaží vsázet ocelového odpadu co nejvíce. V kuplovnách je možnost roztavení velkého množství oceli omezena a proto **jeho podíl ve vsázce je obvykle do 50 %, výjimečně více** (některé slévárny taví pouze z oceli a vratného materiálu).

Ocelový odpad má být pečlivě tříděn podle chemického složení, kusovitosti a tloušťky stěn. Tloušťka použitého odpadu musí odpovídat velikosti kuplovny, měla by být stejnoměrná a ne větší, než asi 1/2 tloušťky litinové části vsázky. Příliš tlusté kusy oceli se v kuplovně těžko taví.

TŘÍSKY

Třísky jsou nevhodnou složkou vsázky. Pokud se používají, mají být ne příliš rezavé a paketrované do balíků. Třísky mají velký propal - vzniká mnoho strusky. Používají se v množství maximálně do 5 % hmotnosti vsázky.

KUSOVITOST VSÁZKY

Vsázka musí být upravena na vhodnou kusovitost. Maximální velikost kusů vsázky nemá být větší, než asi 1/3 průměru kuplovny, optimálně 1/4. Větší kusy bývají příčinou zaklínění vsázky a tvoření "mostů". Silnostěnný ocelový šrot se vsází tak, aby pokud možno ležel přímo na vrstvě koksu. Kusovitost litinových složek vsázky se upravuje roztloukáním na roztloukacím zařízení (hruška). Ocelové složky vsázky se nejčastěji rozpalují plamenem.

LEGURY

Při tavení v kuplovnách se obvykle upravuje jen obsah křemíku a manganu. K tomuto účelu se používají feroslitiny a to ferosilicium (obvykle FeSi45) a feromangan (obvykle FeMn80), které se přidávají do vsázky. Zdrojem křemíku může být i karbid křemíku SiC, který se přidává do vsázky.

Pro dosažení perlitické struktury LLG se leguje většinou cínem v množství asi 0,1 %, u LKG mědí

v množství 0,5-1 %. Obě legury se přidávají jako čisté kovy do pánve nebo na žlábek kuplovný. Legování jinými prvky se provádí jen výjimečně.

Úpravu chemického složení je výhodné provádět v homogenizačních předpecích s dostatečně velkým objemem kovu, menší korekce obsahu C a Si je možné provést i v transportních pánvích. Přitom je ale vždy důležité, aby došlo k promíchání a homogenizaci kovu.

Moderní kuplovný mají možnost injektáže nejrůznějších prachových látek do dmyšen. Tak je možné přidávat i různé legury a nauhličovala. Injektáží je možno velmi rychle měnit chemické složení tekutého kovu.

5.2.2 PALIVO

Rozhodujícím druhem paliva v kuplovnách je koks. Výjimečně se část koksu nahrazuje antracitem, karbidem vápníku a jinými tuhými palivy. Bezkoksové kuplovný se vytápí zemním plynem.

Slévárenský koks obsahuje přibližně 90 % C, 8-10 % popela, kolem 1 % S a 1 % prchavých látek. Na kvalitu koksu se kladou vysoké nároky. Sledovanými vlastnostmi jsou zejména:

Kusovitost - za optimální se považuje koks s velikostí přibližně v rozmezí 80-100 mm. Drobný koks pod asi 50 mm a zejména koksový prach se nemají do kuploven vsázet.

Pevnost - rozhoduje o odolnosti koksu proti drcení a otěru při manipulaci, transportu i v důsledku vysokého mechanického zatížení v kuplovně. Vyžaduje se koks s vysokou pevností a odolností proti otěru.

Pórovitost - slévárenský koks má mít nízkou pórovitost. Pevný, hutný koks vydává při nárazu zvonivý zvuk.

Obsah popela - Popel je tvořen asi 50 % SiO_2 , 30 % Al_2O_3 , 10 % Fe_2O_3 , zbytek jsou jiné oxidy. Popel z koksu je hlavním zdrojem strusky. V dobrém koksu je obsah popela pod 10%.

Obsah síry - Koks je největším zdrojem síry. V dobrém koksu bývá do 1 % S, v méně kvalitním až 2 %.

Vlhkost - se dostává do koksu při transportu a skladování. V kuplovně dochází k rozkladu vody a reakci s uhlíkem, při níž se spotřebovává teplo a zhoršuje se tepelná účinnost. Proto vlhkost nemá kovu být vyšší, než asi 4 %.

Spotřeba vsázkového koksu - závisí na jeho jakosti, složení vsázky, velikosti kuplovný a na požadované teplotě kovu. Množství koksu se volí podle provozních zkušeností v rozmezí obvykle 10-15 % z hmotnosti kovové vsázky. Spotřeba koksu je důležitou nákladovou položkou tavírny.

5.2.3 STRUSKOTVORNÉ PŘÍŠADY

Účelem struskotvorných přísad je vázat popel, otěr z vyzdívky, písek, připečený na vratném materiálu a další nečistoty a vytvářet s nimi tekutou strusku, která odtéká z kuplovný společně s kovem. Struska obaluje každou kapku kovu, procházející tavicím pásmem a tím brání oxidaci taveniny. Ve strusce se také chemicky váže část síry, obsažená v koksu.

Jako struskotvorné přísada se používá **vápenec CaCO_3** . Přidává se do vsázky v množství asi 3-4 % z hmotnosti kovu. Optimální množství vápence se však musí u každé pece vyzkoušet během provozu. Závisí na kvalitě koksu, čistotě kovové vsázky a na dalších vlivech. Málo vápence je příčinou tvorby husté strusky, která špatně vytéká z pece. Příliš mnoho vápence zase způsobuje větší chemické reakce strusky s vyzdívkou a rychlejší opotřebení vyzdívky. Kusovitost vápence má být v rozmezí 20-60 mm.

Důležitou vlastností strusek je jejich dobrá tekutost. Tekutost strusek se významně zvyšuje s rostoucí teplotou. Zlepšení tekutosti se obvykle dosahuje **příšadou dolomitu, kazivce nebo karbidu vápníku**. Často se také používají speciální struskotvorné brikety.

Přípravky na úpravu strusek

Kromě uvedených látek se ve slévárnách ve stále větší míře používají komerčně vyráběné a dodávané přípravky na úpravu funkce a zvláště viskozity strusek. Tyto přípravky se aplikují obvykle **na hladinu kovu v kelímkových pecích nebo v pánvi**, vytvářejí "suchou" strusku, dobře ji vážou a usnadňují její stažení. Tyto přípravky jsou obvykle slitinou železa, obsahující zejména Si, Mg, KVZ a Ca v různém množství. Dávkování těchto přípravků je v množství kolem 0,1 %.

Přípravky na úpravu viskozity strusek se obvykle nahazují na hladinu kovu v pánvích nebo v pecních agregátech, kde upravují konzistenci strusky - z vazké, těžko odstranitelné formy na strusku "suchou".

5.2.4 PŘÍPRAVA VSÁZKY

Součástí každé tavnice je **surovinové hospodářství**. Zahrnuje sklady surovin, denní zásobníky, druhovací zařízení a zavážecí zařízení pece.

Po vyložení z dopravních zařízení jsou jednotlivé suroviny uloženy v surovinových boxech. Počet a velikost boxů musí zajistit, aby jednotlivé druhy surovin byly skladovány odděleně a zamezilo se jejich smíchání. Nekomové složky vsázky, zejména koks, se mají skladovat tak, aby byly chráněny před deštěm. Změna vlhkosti koksu dosti podstatně mění chod kuplovny. (Při vyšší vlhkosti je nutné zvýšit dávkování koksu.)

Kusovitost vsázkových surovin se upravuje roztloukáním, řezáním nebo pálením kyslíko-acetylenovými hořáky. Roztloukají se zejména velké kusy vratného materiálu, obvykle velké zmetkované odlitky. Housky surového železa a nakoupený litinový odpad svou kusovitostí obvykle vyhovují bez úpravy. Roztloukání se provádí padací "hruškou", což je těžké závaží, které se z výšky pouští na rozbíjené kusy. Ocelový odpad se pálí. Velikost kusů vsázky musí odpovídat velikosti průřezu pece. Velikost jednotlivých kusů ve vsázce nemá přesahovat 1/2 průměru kuplovny. Příliš velké kusy způsobují zaklínění vsázky a vznik "mostů". Ze zásobníků jsou podle potřeby jednotlivé suroviny přemísťovány do tzv. denních zásobníků. Denní zásobníky jsou umístěny v blízkosti druhovacího zařízení.

Transport vsázky. Kovová část vsázky se transportuje pomocí jeřábů s elektromagnety. Elektromagnety, používané pro druhování, mívají regulovatelnou magnetičnost a tím umožňují řídit množství přenášeného materiálu.

Při skladování a transportu koksu dochází k jeho drcení a oťeru. Tím může vznikat značný podíl prachu a drobných frakcí, které nelze do kuploven vsázet. Drcení koksu je nutno co nejvíce omezit, a to zejména tím, že se minimalizuje počet překládání a přesypání. Koks z koksovny je výhodné dopravovat ve speciálních kontejnerech, v nichž se transportuje i skladuje ve slévárně. Pokud je nutno koks překládat, má se transportovat pomocí vibračních dopravníků - nikdy se nemá nakládat drapáky. Také struskotvorné přísady (vápenec) a feroslitiny, případně další legury, se u moderních vsázecích zařízení transportují vibračními dopravníky.

Vážení vsázkových surovin. Jednotlivé složky vsázkových surovin je nutno při druhování vážít. K tomuto účelu se používají druhovací váhy. Druhovací váhy jsou buď samostatným zařízením, z něhož se po navážení příslušná surovina přesype do zavážecího okovu, nebo je okov umístěn přímo na vážicím zařízení.

Druhovací zařízení bývá opatřeno registrací, která zaznamenává hmotnosti všech složek vsázky. Překročil-li se v jedné dávce hmotnost některé složky, koriguje toto zařízení (obvykle automaticky) předepsanou hmotnost ve vsázce následující.

Pořadí surovin v zavážecím koši má respektovat tavitelnost jednotlivých složek a omezit drcení koksu při zavážení. Ocel a silnostěnné litinové kusy mají být zaváženy tak, aby v kuplovně byly na předchozí vrstvě koksu.

Druhování do jiných pecí, než jsou kuplovny bývá jednodušší, protože se obvykle používá méně složek a odpadá vsázení koksu a vápence. Naopak běžné je používání nauhličovadel. U indukčních pecí má způsob zavezení vsázky vliv na rychlost tavení a na využití uhlíku z nauhličovadla.

Druhování

Účelem druhování je sestavit vsázku tak, aby se získal kov požadovaného chemického složení, vlastností a požadované teploty při minimálních nákladech. Principem výpočtu je řešení bilančních rovnic.

Výpočet složení vsázky je značným problémem zejména při tavení v kuplovnách, při němž se uplatňuje velké množství různých vlivů, které způsobují kolísání chemického složení a teplot. Proto je nutné udržovat tavicí podmínky pokud možno konstantní. Nevýhodou při tavení v kuplovnách rovněž je, že chemické složení kovu, který z kuplovně vytéká, již nelze příliš měnit. Možná je pouze malá korekce legováním na žlábků nebo v pánvi. Z tohoto hlediska je výhodné používání dostatečně velkých předpecí, v nichž dochází k homogenizaci taveniny a je zde i podstatně lepší možnost úpravy chemického složení. V některých slévárnách se dokonce taví jen jednotný kov a v předpecí se upravuje na konkrétní značky nauhličením, zvýšením obsahu křemíku a manganu nebo smícháním s jinde nataveným kovem jiného chemického složení. Tavení v indukčních pecích je po této stránce jednodušší, neboť snadno umožňuje provádět potřebné změny.

Postup výpočtu vsázky

Během tavení litiny dochází ke změnách chemického složení kovu. Úbytek některého prvku se nazývá „propal“, zvýšení jeho obsahu jako „přípal“. Propaly resp. přípaly závisí na řadě vlivů. Obvykle v kuplovnách dochází k propalu křemíku asi 15 % z obsahu ve vsázce a k propalu manganu asi 25 %. Obsah fosforu se nemění, u síry dochází k přípalu, tj. zvýšení obsahu síry. Při výpočtu složení vsázky se postupuje následovně:

1) Z požadovaného chemického složení kovu a na základě velikosti propalu nebo přípalu se určí obsah jednotlivých prvků ve vsázce. Jestliže jsou zadány procentuelní hodnoty propalu, použije se vztahu:

$$X_{VS} = (1 + p_x) \cdot X_{lit}$$

X_{VS} - obsah prvku X ve vsázce [%]

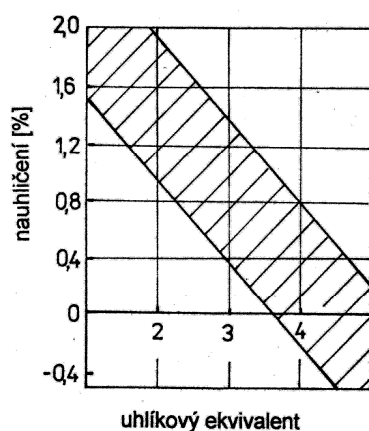
X_{lit} - požadovaný obsah prvku X v litině [%]

p_x - propal prvku X [%]

např.:

Požadovaný obsah křemíku v litině je 2,4 %Si. Propal křemíku v kuplovně je 15 %. Ve vsázce se proto musí nadruhovat obsah Si_{vs} :

$$Si_{vs} = (1 + 0,15) \cdot 2,4 = 2,76 \%$$



Obr. 36: Nauhličení v kuplovně

Změna obsahu uhlíku bývá často zadávána jako změna absolutního obsahu uhlíku ΔC (při nárůstu uhlíku v kuplovně je hodnota kladná, při úbytku uhlíku je záporná).. Pak obsah uhlíku v roztaveném kovu se určí pomocí vztahu

$$C_{lit} = C_{vs} + \Delta C$$

Pro změnu obsahu uhlíku je **velmi přibližně** možné použít obr. 36. Na ose X je průměrný uhlíkový ekvivalent vsázky $C_{E vs}$,

C_{lit} je obsah uhlíku v tekuté litině v %

(Ve skutečnosti závisí změna obsahu na více vlivech, které jsou závislé na konstrukci pece, kvalitě surovin, teplotě kovu atd. a v literatuře se uvádí řada postupů pro výpočet nauhličení)

Příklad:

Při obsahu uhlíku ve vsázce 2,5% C, křemíku 2,0% Si a fosforu 0,4% P je uhlíkový ekvivalent vsázky

$$C_E = 2,5 + 1/3(2,0+0,4) = 3,3$$

Z obr.36 je možné odečíst ΔC_{vs} přibližně 0,7%. V roztavené litině tedy bude $C_{lit} = C_{vs} + \Delta C_{vs} = 2,5 + 0,7 = 3,2\%$ uhlíku.

Optimalizace vsázky

Jestliže je zadáno rozmezí obsahu jednotlivých surovin, je možno vsázku sestavit různými způsoby. Výsledkem je stejné chemické složení, ale rozdílná cena vsázky. **Účelem cenové optimalizace je sestavení vsázky tak, aby její cena byla minimální.**

Aby bylo možno složení vsázky optimalizovat je podmínkou, aby byl k dispozici dostatečný sortiment surovin. Pro každou surovinu musí být zadána cena a minimální a maximální podíl ve vsázce. Optimalizační výpočty již nelze provádět manuálně a je nutné používat vhodných výpočetních programů. Výsledkem výpočtu je **vsázecí předpis**, zajišťující nejnižší cenu vsázky.

V praxi může docházet k odchylkám skutečného chemického složení litiny od požadovaného a to v důsledku mnoha metalurgických faktorů. Hlavními vlivy, které způsobují kolísání chemického složení jsou:

- nehomogenita chemického složení vsázkových surovin
- změna propalů v důsledku: změny množství a teploty větru
 - foukání kyslíku
 - změny složení a vlastností strusky
 - změny obsahu koksu ve vsázce
 - vlhkosti koksu

Z tohoto důvodu je nutno provádět operativní provozní kontrolu litiny a na základě jejích výsledků korigovat chod kuplovný, případně upravit složení vsázky.

5.3 TAVENÍ V ELEKTRICKÝCH INDUKČNÍCH PECÍCH

Elektrické indukční pece (dále EIP) jsou vedle kuploven nejdůležitějším tavicím agregátem pro výrobu litin. Zvyšování počtu instalací indukčních pecí ve slévárnách má důvody jednak ekologické, jednak metalurgické a provozní.

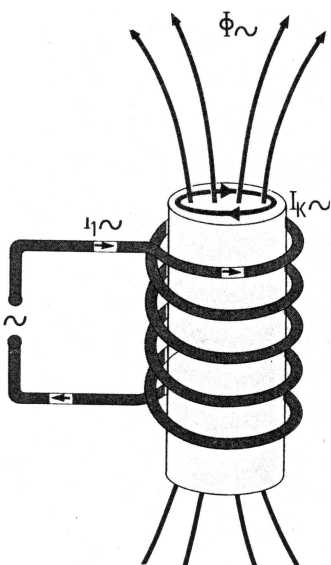
Ekologické výhody spočívají v mnohem menším množství plynných i prachových exhalací, než při tavení v kuplovnách a jejich snadnějším zachycování.

Metalurgickými výhodami EIP jsou zejména:

- velká operativnost provozu
- velká variabilita použitelných vsázkových surovin, je možno tavit i ze 100 % ocelové vsázky
- snadná regulace tavicího procesu a možnost dosažení vysokých teplot
- snadná možnost úpravy chemického složení, EIP jsou vhodné i pro tavení legovaných litin
- míchání lázně zaručující homogenizaci teploty a chemického složení
- menší propaly prvků

Provozní výhodou kelímkových EIP je zvláště velká operativnost a pružnost. Zejména v kelímkových pecích, v nichž se taví bez tekutého zbytku, je možné v po sobě následných tavných vyrábět litiny odlišného chemického složení. Roztavenou litinu je možno podle potřeby udržovat na teplotě.

5.3.1 INDUKČNÍ OHŘEV



K indukčnímu ohřevu dochází vlivem působení magnetického pole, které vzniká v indukční cívkě při průchodu střídavého proudu - obr. 37.

Podle frekvence proudu se indukční pece dělí na:

- středofrekvenční (obvykle 250-400 Hz)
- na síťovou frekvenci (tj. 50 Hz)

Proud s touto zvýšenou frekvencí se získává pomocí **měníče frekvence**. Pece na síťovou frekvenci pracují s běžnou frekvencí proudu 50 Hz a měnič tedy nepotřebují.

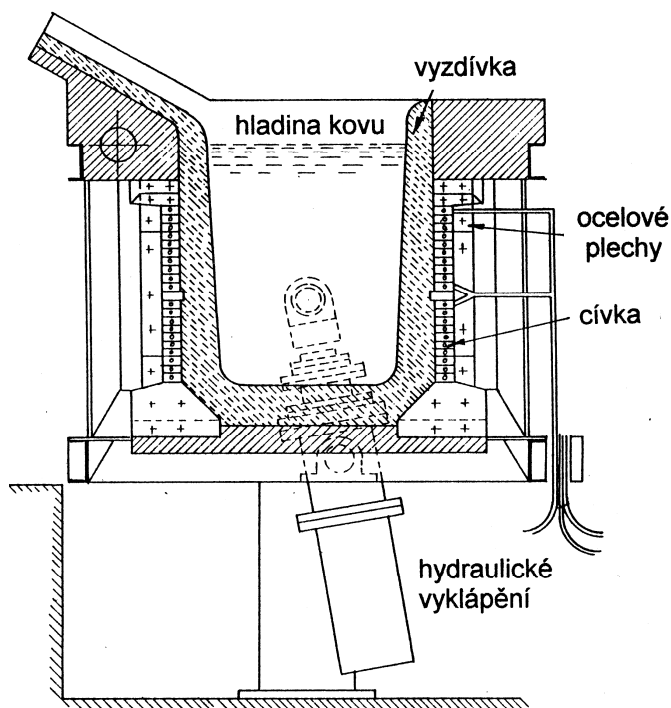
Část zařízení, v němž je umístěna cívka, se nazývá **induktor**. Indukční cívka je tvořena měděným dutým profilem, kterým protéká chladicí voda. **Podle umístění induktoru se indukční pece dělí na kelímkové a kanálkové.**

Obr. 37: Indukční ohřev kovové vsázky

Indukční kelímkové pece

U indukčních kelímkových pecí je tavicí kelímkem umístěn přímo v ose indukční cívky - obr.38. Kelímkové pece mohou být jak na síťovou frekvenci, tak středofrekvenční

Středofrekvenční kelímkové pece jsou nejčastějším druhem EIP, určených pro tavení. Skládají se z měniče frekvence, dalších elektrických částí, řídicí jednotky a z vlastní tavicí pece. K jedné napájecí jednotce bývají obvykle připojeny 2 tavicí kelímky, které lze přepínat, někdy mohou tavit i současně. Tavicí kelímkem je s napájecí jednotkou propojen pružným elektrickým vedením. Po natavení se obsah pece vylévá naklopením pece.



Kelímkem je vydušán žáruvzdornou vyzdívkou. Způsob provedení vyzdívky a zacházení s vyzdívkou během tavicí kampaně (čištění pece, způsob zavážení vsázky atd.) rozhodují o její životnosti. Průběžné opravy vyzdívky se provádí po každé tavbě (několika tavbách), po celkovém opotřebení se kelímkem vybourá a znovu vyzdívá.

Středofrekvenční kelímkové pece umožňují natavovat z pevné vsázky běžné kusovitosti. Chemické složení vsázky může odpovídat požadovanému chemickému složení natavené litiny, často se však taví jen z ocelové vsázky a vratného materiálu. Chemické složení lze snadno upravovat pomocí nauhličovače a feroslitin.

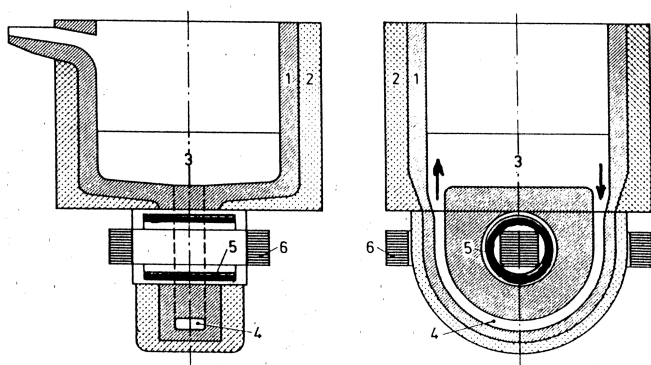
Obr. 38: Indukční kelímková pec

U kelímkových pecí na síťovou frekvenci je obtížné tavení z pevné vsázky běžné kusovitosti (potřebují větší kusovitost). Proto se taví buď na "startovací blok", nebo se pracuje s "tekutým zbytkem".

Startovací blok je masivní kus vsázky, který byl odlit při předchozí tavbě a do kelímku se vkládá jako první složka vsázky. Startovací blok umožňuje natavení. Po jeho roztavení se přidává vsázka běžné kusovitosti.

Způsob **tavení na tekutý zbytek** znamená, že se v peci trvale ponechává část taveniny, který se musí udržovat v tekutém stavu (nebo se použije kov, natavený v jiném agregátu). Oba uvedené způsoby jsou značně nepraktické.

Indukční kanálkové pece



1 - vyzdívka
2 - tepelná izolace
3 - tavenina

4 - tavicí kanál
5 - indukční cívka
6 - magnetické jádro

Indukčních kanálkové pece (obr. 39) mají induktor jako samostatnou část, výměnným způsobem spojenou s kelímkem. Ohřev kovu se uskutečňuje v kanálku induktoru, kolem kterého je indukční cívka. Kov v kanálku působením elektromagnetických sil intenzivně proudí a ohřátý kov se promíchává s ostatním kovem v kelímku. Pec nelze za provozu zcela vyprázdnit a **v induktoru a části kelímku musí stále zůstat tekutý zbytek.**

Obr. 39: Indukční kanálková pec

Tyto pece se při výrobě litiny používají obvykle pouze jako udržovací a homogenizační (při výrobě hliníkových slitin však často též jako tavicí). Rovněž lící pece, které slouží jako odlévací zařízení formovacích linek jsou konstruovány jako indukční kanálkové pece. Předností kanálkových pecí ve srovnání s pecemi kelímkovými je vyšší elektrická účinnost, mají však nižší elektrický výkon. Díky značnému pohybu lázně je v tomto agregátu možno dobře upravovat chemické složení, zásadní změna složení taveniny je však velmi těžkopádná. V důsledku intenzivního pohybu kovu je vyzdívka v kanálu induktoru mimořádně namáhaná a její životnost je podstatně menší, než životnost vyzdívky ve vaně pece. Induktor je proto proveden jako výměnný.

5.3.2 METALURGIE TAVENÍ V ELEKTRICKÝCH INDUKČNÍCH PECÍCH

Vsázka

Tavení litin v EIP umožňuje velkou variabilitu vsázkových surovin. Používá se jak kusová vsázka, tak je možno tavit z plechů i z třísek. Plechy a třísky však mají být pakety. Z ekonomického hlediska bývá výhodné používat co největší podíl ocelového šrotu. Vsázkový materiál má být pokud možno čistý, bez připečeného písku, aby nevznikalo zbytečně velké množství strusky. Vsázka, znečištěná olejem, pokud je zavedena do prázdné pece, nevádí, neboť během ohřevu se mastnoty rozloží. Mastná, vlhká nebo silně rezavá vsázka se však nesmí přidávat do tekuté lázně.

Struska

Při tavení litin se obvykle nepoužívají žádné struskotvorné přísady. Struska se tvoří z nečistot ve vsázce, opotřebením vyzdívky a propalem prvků. Struska při tavení v indukčních pecích je oproti kovu studená a

nemá metalurgický význam. Aby se usnadnilo stahování strusky, upravuje se viskozita strusky, obvykle pomocí komerčně dodávaných přípravků. Tímto způsobem se získá suchá struska, která se snadno odděluje od kovu a rovněž méně ulpívá na vyzdívice pece a na nářadí.

Nauhličování a legování

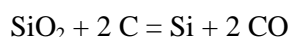
Vzhledem k tomu, že velký podíl vsázky často tvoří ocel, je obvykle nutno nauhličovat a dolegovat i další prvky. Tato úprava chemického složení je usnadněna intenzivním pohybem taveniny, která rovněž zajišťuje homogenisaci lázně.

K **nauhličování** dochází rozpouštěním uhlíku z nauhličovacích prostředků v kovové lázni. Pro nauhličování se obvykle používají nauhličující přípravky na bázi uhlí, koksu nebo produktů ropné destilace. U těchto přípravků je důležitá **rychlost rozpouštění**. Ta je závislá především na obsahu popela v těchto přípravcích a na teplotě lázně. Čím vyšší je obsah popela, tím obtížnější a pomalejší je rozpouštění uhlíku (současně vzniká i velké množství strusky). S rostoucí teplotou kovu se nauhličování urychluje a je možno dosáhnout celkově vyššího obsahu uhlíku. Pro rychlost nauhličování je důležitý současný obsah křemíku. (Při vysokém Si je nauhličování méně účinné.) Proto je vhodné vsázku nejprve nauhličít a až potom dolegovat obsah křemíku.

Při tavení LKG je velmi důležitým hlediskem při výběru nauhličovadel obsah síry, který musí být co nejnižší.

Propaly prvků

Propaly uhlíku a křemíku při tavení v EIP závisí na teplotě roztavené litiny. Při udržování kovu na **teplotách nižších**, než je tzv. „inverzní teplota“ dochází v důsledku „uhlíkové reakce“



hlavně **k propalu křemíku, při vyšších teplotách k propalu uhlíku. Hodnota této teploty se orientačně pohybuje kolem 1450 °C.** V důsledku uhlíkové reakce se hladina kovu při vyšších teplotách vyčistí od strusky a také v odlitcích je méně struskových vměstků. (Proto se nemá odlévat z příliš nízkých teplot.) Naopak dlouhodobé přehřátí kovu na příliš vysoké teploty vede v důsledku stejné reakce k rozpuštění vhodných krystalizačních zárodků a zvýšení sklonu k metastabilnímu tuhnutí.

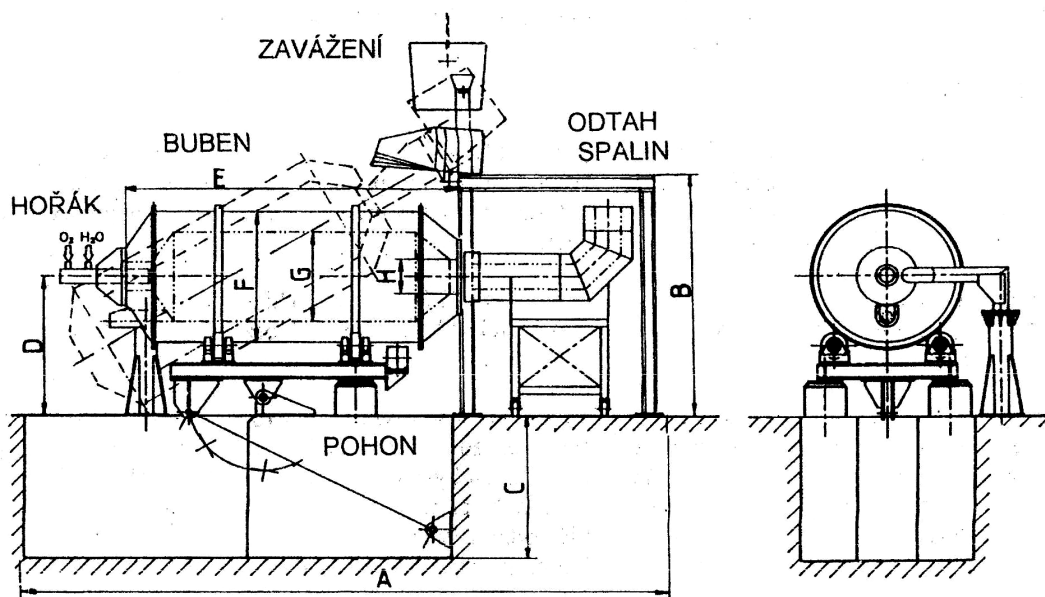
Hodnoty propalů základních prvků jsou při tavení v EIP obvykle malé v řádu několika málo desetin procenta, někdy se s nimi při druhování ani nepočítá.

5.4 TAVENÍ V ROTAČNÍCH BUBNOVÝCH PECÍCH.

Rotační bubnové pece jsou jedním z moderních tavicích agregátů, vhodným pro tavení všech druhů litin. Jejich předností jsou poměrně nízké investiční náklady, vysoká operativnost, umožňující následně tavit různé značky litin a volit teploty přehřátí a rovněž nízké provozní náklady. Díky spalování plynu kyslíkovými hořáky vzniká poměrně malé množství spalín, které je možno účinně odprášit. Bubnové pece jsou proto tavicím zařízením, které obvykle velmi dobře splňuje ekologické předpisy. Z hlediska tavicího výkonu jsou vhodné zejména pro malé a střední slévárny.

KONSTRUKCE PECE.

Bubnová pec je tvořena válcovou částí, na každém konci s kuželovým čelem. V ose předního čela je otvor pro usazení hořáku, otvorem v zadním čele se provádí zavážení vsázky a slouží pro odvod spalín. Ve válcové části pláště je odpichový otvor, který jsou během tavení uzavřeny žáruvzdornou hmotou. Pec je v celém vnitřním profilu opatřena žáruvzdornou vyzdívkou. Velikost pece je určena maximální hmotností vsázky, obvykle bývá v rozmezí 2-10 t.



Obr 40: Bubnová pec.

Pec je uložena na podpěrných válcích, poháněných elektromotory, zajišťující otáčení pece kolem podélné osy. Pomocí hydraulických válců je možno **pec naklápět až o 45° nahoru nebo dolů**.

Při zavážení se pec obvykle naklopí směrem nahoru a celé množství vsázky se zaveze zavážecím zařízením. (Při této operaci je z pece vysunut hořák aby nedošlo k jeho poškození a místo něho je v hořákovém otvoru zasazena vložka.)

Po zavezení vsázky se pec sklopí do horizontální polohy, v níž probíhá celý proces tavení a do pece se instaluje hořák.

K vytápění rotačních bubnových pecí se používají vodou chlazené hořáky na lehký topný olej, kapalný plyn nejčastěji ale na zemní plyn. **Spalování se provádí výhradně kyslíkem**. Nastavení výkonu, délky plamene a spalovacího poměru se pro jednotlivé fáze tavicího procesu provádí automaticky podle nastaveného programu. Hořák je upevněn na pantografickém zařízení, které jej umožňuje z pece vysunout při zavážení vsázky, odebírání vzorků kovu i při opravách vyzdívky. V důsledku používání kyslíku se dosahuje vysoké teploty plamene až kolem 2700 °C, přičemž (díky absenci dusíku) vzniká jen malé množství spalin.

Spaliny odcházejí z pece s vysokou teplotou přes 1500 °C a v odtahu se ochlazují připouštěním studeného vzduchu na teplotu pod 180 °C. Na výstupu z pece obsahují spaliny 100-300 mg prachu na 1 Nm³. Prach pochází ze vsázky, nahličovadla, oxidů železa a dalších oxidačních produktů. Prachové částice se zachycují nejprve v cyklonu a dále ve filtrech.

Při odpichu se prorazí zátka v odpichovém otvoru a obsah pece se pootočením bubnu vypustí z pece. Po odpichu se pec nakloní odtahovým otvorem směrem dolů a otáčením se vysype zbytek strusky.

TAVENÍ

Na počátku tavby není zapnuta rotace bubnu, aby se zabránilo poškození vyzdívky pece tvrdými kusy vsázky. Ohřev vsázky se v této fázi uskutečňuje přímým sáláním plamene a horní části vyzdívky. Po nahřátí vsázky do teplot, kdy se vsázka stává již částečně plastickou se zapne otáčení pece rychlostí asi 1 otáčka za minutu. Ohřev pak probíhá jak přímým sáláním plamene, tak zesponu z nahřáté vyzdívky, která se otáčením dostala na dno kovu.

Kontrola chemického složení, teploty kovu a odběr vzorků se provádí čelním otvorem bubnu po vypnutí

hořáku a jeho vysunutí z bubnu. Tudy je také možno do pece vpravit prostředky pro eventuální úpravu chemického složení - feroslitiny nebo nauhličovalo. Po takovém zásahu se hořák znovu instaluje a tavba pokračuje do dosažení požadované teploty.

METALURGIE

Metalurgické pochody v bubnové peci jsou určeny zejména charakterem atmosféry v peci (oxidačním nebo redukčním nastavením spalovacího poměru) a současně intenzivním stykem spalných plynů s kovem. Při natavování se obvykle volí mírně oxidační plamen, při přehřívání je nutný redukční plamen.

Velikost propalu základních prvků bývá obvykle:

- 10 - 15 % C
- 15 - 25 % Si
- 25 - 32 % Mn

S tímto propalem se počítá již při sestavování vsázky, drobné korekce je však bez problémů možno provést během tavby v peci nebo po odpichu v pánvi. .

Vsázka do bubnových pecí se skládá obvykle z 30-50 % surového železa (u LLG méně, u LKG více), zbytek tvoří vratný materiál, litinový a ocelový odpad. Obsah uhlíku se koriguje nauhličovadly, přidávanými pokud možno již do vsázky. Využití uhlíku bývá kolem 40-60 %. Do vsázky se přidává kolem 0,5-1 % vápence, který váže oxidy z opotřebené vyzdívky a oxidy vzniklé propalem prvků do strusky. Struskový film rovněž omezuje rozsah oxidace.

Délka tavby, podle velikosti pece, se pohybuje kolem 1,5-3 hodin. Znamená to, že tavicí výkon za jednu směnu se rovná asi 3-4 násobku obsahu pece. V bubnové peci lze dosáhnout teploty kovu až do 1550 °C, z hlediska životnosti vyzdívky by však neměla teplota překračovat 1480 °C.

VYZDÍVKA

V rotačních pecích se používá téměř výhradně dusaná kyselá vyzdívka nebo lité žáruvzdorné směsi. Vyzdění se provádí podle šablon. Tloušťka vyzdívky bývá 300 až 350 mm. Před zahájením tavicí kampaně je nutno vyzdívku důkladně vysušit a zesintrovat. Opotřebení vyzdívky je způsobeno mechanickým otěrem při vsázení, převalováním tuhého vsázkového materiálu a při vysokých teplotách chemickými reakcemi a otavováním vyzdívky. Obzvláště namáhaná místa je proto nutno během tavicí kampaně opravovat. Životnost vyzdívky je obvykle kolem 500, špičkově až 1000 taveb.

5.5 LICÍ PÁNVE

Licí pánve slouží k transportu tekutého kovu a jeho odlévání do forem. Podle velikosti jsou konstruovány jako ruční, závěsné nebo jeřábové. Pánve jsou vyzděny žáruvzdornou vyzdívkou. Před použitím musí být dobře vysušeny a nahřáty na dostatečně vysokou teplotu, aby se omezily teplotní ztráty kovu. Vhodné jsou vyzdívky z tepelně izolačních materiálů.

Podle způsobu vylévání kovu z pánve se dělí na sklopné, čajníkové a pánve se spodní výpustí.

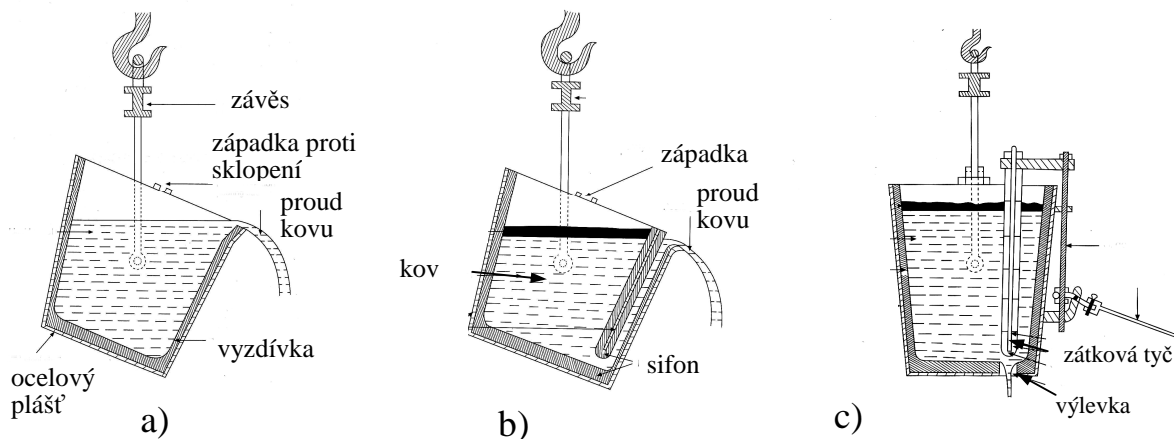
U sklopných pánví (obr. 41a) se odlévá kov z oblasti hladiny a hrozí nebezpečí, že s kovem poteče do formy i struska. Strusku je proto nutné před litím pečlivě stáhnout a zachycovat ji pokud možno i během lití.

Čajníkové pánve jsou rovněž sklopné, ale kov odtéká ode dna a struska se zachycuje pomocí sifonu (obr.41b). Pánve jsou poněkud náročnější na vyzdívání a na údržbu, než pánve sklopné.

Pánve se spodní výpustí mají odpichový otvor ve dně osazený šamotovou výlevkou. Výlevka je uzavřena zátkovou tyčí, na konci se zátkou. Zátková tyč se nazvedává ovládací pákou. Výhodou této pánve je, že

po celou dobu lití se odlévá čistý kov ode dna (v pánvi je nutno ponechat spolehlivý zbytek kovu, aby nevytékala i struska). Pánve se spodní výpustí se používají téměř pravidelně při lití oceli a často i litiny s kuličkovým grafitem a rovněž v automatických licích zařízeních. Litina s lupínkovým grafitem se odlévá obvykle pánvemi sklopnými nebo čajníkovými.

Po vylití kovu se má pánev okamžitě co nejlépe vyčistit od strusky a zbytků kovu, poškozená místa vyzdívky opravit.



Obr. 41: Druhy licích pánví

6. VÝROBA LITINY S KULIČKOVÝM GRAFITEM

6.1 STRUKTURA A VLASTNOSTI LKG

LKG obsahuje grafit vyloučený ve tvaru kuliček. **Kuličkového grafitu se dosahuje modifikací litiny pomocí hořčíku. K dosažení tohoto tvaru grafitu musí litina obsahovat nejméně asi 0,025 %Mg, obvyklý obsah hořčíku bývá 0,030-0,060 %Mg.** Sferoidizační účinek mají i některé jiné prvky, např. kovy vzácných zemin a jiné, jejich účinek je však nedostatečný a aplikace problematická. **Hořčík je proto jediným technicky vhodným modifikačním prvkem.**

Grafit

Grafit má být vyloučen jako dokonale kuličkový, jemný, rovnoměrně rozložený. Ve struktuře je někdy přípustné i malé množství nedokonale zrnitého grafitu (max. asi do 5 %). Hrubost grafitu, tzv. „**disperzita grafitu**“, se hodnotí počtem kuliček na mm^2 . U běžných odlitků by měla být alespoň **100-150 kuliček/ mm^2** (někdy se dosahuje až kolem 400-600). (Litiny s příliš jemně vyloučeným grafitem však mají horší technologické vlastnosti, zejména se zvětšuje rozsah mikrostaženin a pórovitost odlitků.) U silnostěnných odlitků je disperzita grafitu menší, až kolem 50 kuliček/ mm^2 . Velké částice grafitu jsou náchylné na tvoření nedokonale kulovitého tvaru. Mezi jednotlivými kuličkami grafitu dochází k velké segregaci prvků a na hranici zrn mohou vznikat karbidy (obvykle manganu). Dosažení dokonale kuličkového, pravidelně rozloženého grafitu s optimální disperzitou patří mezi nejobtížnější metalurgické problémy tohoto typu litiny.

Hlavními vadami tvaru grafitu jsou:

- **Nedokonale kuličkový grafit** - v důsledku nízkého obsahu hořčíku (nebo také přítomnosti titanu)
- **Mezizrnový grafit** - který se vylučuje zejména na hranicích eutektických zrn a jeho vznik je způsoben

přítomností prvků, jako Al, As, Bi, Cd, Pb, Sb, částečně i Cu.

- **Chunky grafit a explodovaný grafit** - grafit netvoří kompaktní kuličky ale „rozsypané“ částice. Tento typ grafitu vzniká hlavně u silnostěnných odlitků a při vyšším obsahu prvků Si, Ni, KVZ nebo Ca.

Vliv prvků, způsobujících vznik mezizrnového grafitu, může být kompenzován pomocí prvků ze skupiny podporující Chunky grafit a naopak.

Základní kovová hmota

Kovová matrice nelegované LKG je feritická až perlitická, s různým podílem obou fází. Množství feritu a perlitu ve struktuře nejdůležitěji rozhoduje o mechanických vlastnostech LKG. **Ferit je nositelem houževnatosti a plastických vlastností, perlit je nositelem pevnosti a tvrdosti.** Legováním nebo tepelným zpracováním lze získat ve struktuře také sorbit, strukturu ferito-austenitickou, martenzit nebo austenit.

Výskyt **ledeburitu** nebo jiných karbidů je ve struktuře nelegovaných LKG **velmi nežádoucí**. Jejich vznik má obvykle tyto příčiny:

- **Ledeburit**: velmi rychlé ochlazování, nevhodné chemické složení, nedostatečné očkování
- **Karbidické jehlice**: vysoký obsah Mg (Ce)
- **Karbidy na hranicích zrn**: v důsledku segregace Mn, zejména v tlustostěnných odlitcích (také obsah chromu).

6.2 MODIFIKACE LKG

Modifikace LKG se provádí hořčíkem nebo slitinami, které obsahují hořčík.

Důležité vlastnosti hořčíku:

- hustota: 1740 kg/m³ - je lehký, má snahu vyplavat na hladinu
- teplota tavení: 650 °C
- teplota vypařování: 1107 °C - při teplotě litiny se bouřlivě vypařuje a způsobuje rozstříkávání kovu
- hořčík má velmi silnou afinitu ke kyslíku a k síře
- podporuje vznik zákalky litiny - čím vyšší obsah Mg, tím větší sklon k zákalce

Z důvodu bouřlivé reakce hořčíku se obvykle nemodifikuje čistým Mg, ale předslitinami FeSiMg, nebo, ale spíše jen výjimečně, předslitinou NiMg. Modifikace kovovým hořčíkem se provádí jen u takových metod, kdy je možné omezit nebo regulovat bouřlivost modifikační reakce - např. v sferoklávu nebo +GF+ konvertoru.

Předslitiny FeSiMg obsahují asi 45 %Si a 3-15 %Mg. **Čím vyšší je obsah Mg, tím bouřlivější je reakce.** Obvykle se používá slitina s 5-8 % Mg. Tyto předslitiny jsou lehčí, než je modifikovaný kov, proto se musí v modifikační pánvi zabezpečit proti vyplavání na hladinu. Slitiny s niklem jsou těžší než litina a proto se samy ponoří ke dnu. Některé modifikační předslitiny obsahují také kovy vzácných zemin (hlavně cer). Jejich účelem je podpoření modifikačního účinku hořčíku a kompenzace vlivu škodlivých prvků.

Modifikace probíhá tak, že páry hořčíku probublávají ode dna taveninou. Přitom Mg reaguje se sírou a kyslíkem, rozpuštěným v litině a tvoří chemické sloučeniny, často také spolu s křemíkem. Tyto vměstky se nazývají „sekundární struska“. Část hořčíkových par unikne z taveniny a na hladině shoří. Jen ta část, která se při cestě bublin Mg k hladině rozpustí v kovu vede ke vzniku kuličkového grafitu. Tento obsah hořčíku se nazývá „zbytkový hořčík“ - Mg_{zbyt}. Obsah Mg_{zbyt} musí být obvykle větší, než 0,03 %, nemá však být zbytečně vysoký, neboť vzniká více vměstků a litina má větší sklon k zákalce. U tenkostěnných odlitků stačí obsahy Mg jen mírně nad uvedenou hranicí, u silnostěnných odlitků musí být vyšší, kolem 0,045-0,06 % Mg_{zbyt}.

Dávkování hořčíku se provádí podle požadovaného obsahu Mg_{zbyt}, podle množství síry ve výchozí litině

a podle předpokládaného využití Mg. Využití závisí hlavně na modifikační metodě a na teplotě kovu - čím vyšší teplota litiny, tím menší využití hořčíku. Dávkování je nutno pro každou slévárnu prakticky ověřit a je nutno dodržovat konstantní podmínky modifikace.

Se sírou se hořčík váže podle rovnice $Mg + S = MgS$. Konečný obsah síry po modifikaci je kolem 0,01 %S. Čím vyšší je tedy počáteční obsah S, tím vyšší musí být dávkování Mg (na odstranění 1 %S se spotřebuje 0,75 %Mg). Z tohoto důvodu by výchozí tavenina měla mít co nejnižší obsah síry. Pokud tavicí pec neumožňuje natavení kovu s nízkou S (kuplova), provádí se před modifikací odsíření kovu.

Množství modifikačního prostředku se vypočítá (trochu zjednodušeně) podle vztahu:

$$m_{\text{mod}} = \frac{Mg_{\text{zbyt}} + S}{\eta_{Mg} \cdot Mg_{\text{pred}}} \cdot 100 \cdot 100 \quad [\%]$$

- m_{mod} - množství modifikačního prostředku - [%] z hmotnosti kovu
- Mg_{zbyt} - zbytkový obsah hořčíku v litině [%]
- S - obsah síry v modifikovaném kovu [%]
- Mg_{pred} - obsah hořčíku v předslitině [%]
- η_{Mg} - využití hořčíku [%]

Pokud se modifikuje předslitinou FeSiMg, vnáší se do litiny velké množství křemíku. O tento křemík (a také křemík vnesený očkovadlem) je nutno snížit obsah křemíku ve vsázce. To často vede k omezení množství vratného materiálu ve vsázce.

Protože hořčík potlačuje vylučování grafitu, je nutné LKG dobře očkovat. Očkování se provádí současně s modifikací nebo i po modifikaci (někdy jako dvoustupňové - poprvé při modifikaci, podruhé během lití). Očkuje se předslitinami FeSi, dávkování bývá vyšší, než u LLG - obvykle v rozmezí 0,5-1 %.

Po nemodifikování litiny dochází k vypařování a dalším ztrátám hořčíku. Jeho obsah se postupně snižuje a modifikační účinek proto slábne. Tento děj se nazývá „odeznívání“ modifikace. Litinu je proto nutno odlít v době, kdy je modifikační účinek ještě dostatečně silný - obvykle do 15-20 min (za vhodných podmínek až do 30 min.). Pokud by se odlévalo po delší době, tvar grafitu by byl nedokonale zrnitý - litina by postupně přecházela do vermikulární litiny.

6.3 METODY MODIFIKACE

Modifikace se provádí celou řadou metod, které se liší způsobem vpravení hořčíku do kovu, druhem vhodných modifikačních prostředků, využitím hořčíku, kapacitou a v neposlední řadě též investičními nároky. Je zřejmé, že slévárna, v níž se LKG vyrábí jen příležitostně, bude používat jednodušší a méně investičně nákladnou metodu, než slévárna pro hromadnou produkci LKG. Metody se vzájemně liší i velikostí teplotních ztrát, což v řadě případů může rovněž hrát značnou roli.

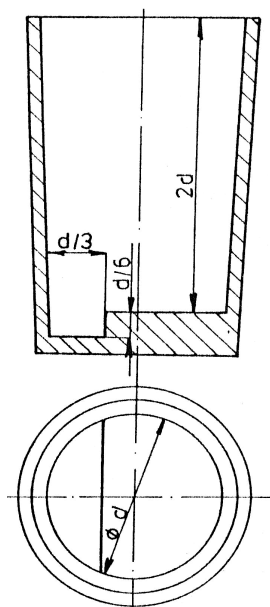
Metody se obvykle (nepřesně a poněkud zjednodušeně) dělí na metody polévací a ponořovací. (Některé z používaných metod lze těžko do těchto kategorií jednoznačně zařadit.)

U polévacích metod je modifikační prostředek umístěn na dně speciální modifikační pánve (obvykle ve zvláštní modifikační komůrce) a do této pánve se přelege kov, určený k modifikaci. Po ukončení reakce se modifikovaná litina přelege do transportní nebo licí pánve. Typickými polévacími metodami jsou metody Sandwich, Tundish a jejich modifikace, případně modifikace v konvertoru. Při modifikaci se obvykle pracuje s atmosferickým tlakem. Tyto metody patří obvykle k technicky jednodušším.

Ponořovací metody spočívají v ponoření modifikačního prostředku do taveniny ve speciální pánvi ponorným zvonem, nebo v jeho vpravení do taveniny jiným způsobem. Často se pracuje za

zvýšeného tlaku okolní atmosféry, která snižuje bouřlivost reakce a umožňuje používat prostředků s vyšší koncentrací hořčíku. Do této skupiny se řadí především modifikace ve sferoklávu, v tlakové pánvi, případně modifikace drátem plněným profilem. Tyto metody jsou obvykle investičně náročnější - zejména zařízení sferoklávu.

6.3.1 METODA SANDWICH



Modifikace se provádí v otevřené pánvi, v jejímž dně je komůrka, provedená jako prohlubeň, nebo od ostatního prostoru oddělena keramickou příčkou - obr. 42. Modifikace se většinou provádí jednostupňově a to tak, že **na dno komůrky se uloží dávka předlitiny Mg, na ni vrstva očkovačla FeSi a překryje ocelovým plechem nebo plechovými odstřížky**. Vrstva oceli brání vyplavání slitiny hořčíku a očkovačla (obě jsou lehčí, než litina) na hladinu a oddaluje začátek modifikační reakce. Ocel má tvořit pokud možno těsný kryt. Používají se předslitiny FeSiMg s obsahem 5-6 % Mg. Množství předslitiny bývá 1,2-2,0 %. Hmotnost krycí oceli bývá kolem 1 % hmotnosti zpracovávané litiny a její tloušťka nemá být menší, než 2 mm (rovněž v závislosti na objemu pánve).

Modifikace probíhá tak, že nalitý kov musí nejprve protavit plech a tak se oddálí okamžik nastartování reakce hořčíku. Během této doby se obvykle stačí pánev zaplnit a metalostatický tlak litiny snižuje bouřlivost reakce. Je výhodné, aby metalostatický tlak byl co největší, proto se často používají speciální štíhlé a vysoké pánve. Kov se nalévá mimo komůrku s předslutinami.

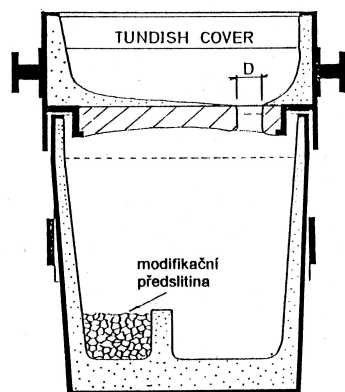
Obr. 42: Pánev pro metodu SANDWICH

Modifikační reakce bývá, dosti bouřlivá, zejména při vyšších teplotách litiny a dochází k rozstříkování kovu. Při modifikaci dochází ke ztrátě teploty kolem 30-50 K (u velkých pánví méně, u malých pánví více), využití hořčíku 40-50 %. Dochází rovněž ke ztrátám obsahu uhlíku asi 0,05-0,1 % C.

V případech, kdy se LKG ve slévárně vyrábí jen vyjímečně, je možno modifikaci podobným způsobem provádět i v obyčejné pánvi, v níž se všechny komponenty umístí na dně do rohu pánve a překryjí ocelovými odstřížky. Je ovšem nutno počítat s nižším využitím Mg a s větším kolísáním obsahu Mg_{zbyt} .

6.3.2 METODA TUNDISH

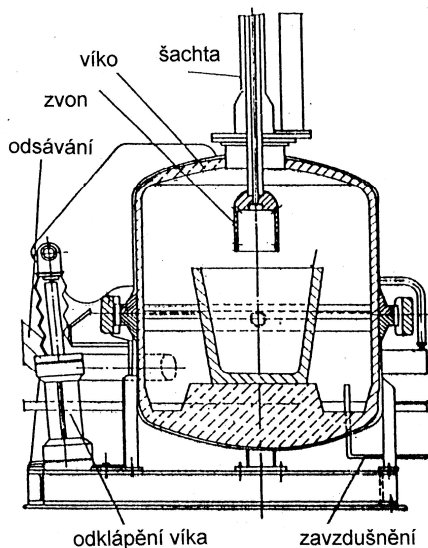
Pánev TUNDISH je modifikací a zdokonalením metody SANDWICH. Pánev je opatřena víkem s nalévacím otvorem. Na víku je licí bazén (jamka) tak velký, aby při nalévání bylo možno udržet v tomto bazénu hladinu kovu. Víko je odklápěcí nebo přenosné jeřábem. Při modifikaci musí být pevně zajištěno k pánvi, aby tlakem plynů nedošlo k jejímu odklopení. Předslitiny se ukládají do komůrky ve dně nebo tvořené příčkou, po odklopení víka, stejně jako u metody SANDWICH. Otvor ve víku je umístěn tak, aby kov padal mimo komůrku - obr.43.



Pro modifikaci se používá předslitin FeSiMg5-8. Využití hořčíku se zvýší na 60-70 %, snižuje se teplotní ztráty, ztráty rozstříkem kovu a omezuje množství plynných exhalací. Metody TUNDISH se stala v současné době nejpoužívanější polévací metodou s minimálními investičními nároky.

Obr. 43: Pánev pro metodu TUNDISH

6.3.3 MODIFIKACE VE SFEROKÁVU (AUTOKLÁVU PRO SFEROIDISAČNÍ ZPRACOVÁNÍ)



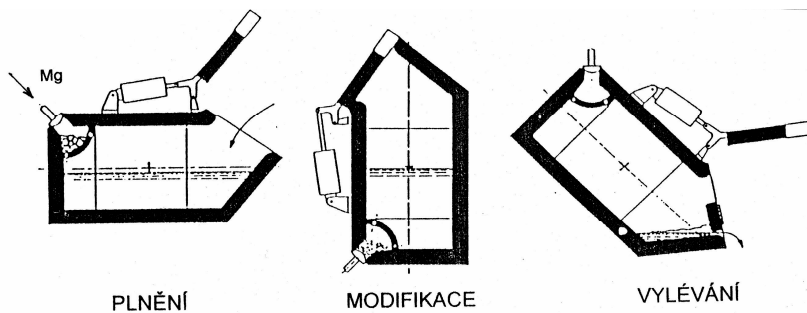
Obr.44: Schema sferoklávu

Modifikace probíhá za zvýšeného tlaku. Modifikační pánev s kovem se zaveze do nádoby sferoklávu, opatřené odklopným víkem, kterým prochází ponořovací tyč se zvonem. U uzavření víka se zvýší tlak atmosféry v nádobě na 0,4-1,0 MPa a zvon s předslitinou, případně i s očkovadlem se ponoří ke dnu. V důsledku vysokého tlaku probíhá reakce vypařování hořčíku pomaleji, než při atmosferickém tlaku. Regulací tlaku v tlakové nádobě lze řídit bouřlivost reakce.

U této metody lze používat předslitiny s vyšším obsahem hořčíku, obvykle 15-25 % Mg, nebo i čistý hořčík. Využití Mg se pohybuje v mezích 60-80 %. Výhodou metody je menší nebo dokonce žádné množství křemíku, vnášeného při modifikaci. To umožňuje tavit s vysokým křemíkem a tedy bez problémů přetavovat vratný materiál. Hlavní nevýhodou však jsou značné investiční i provozní náklady. Schema zařízení je na obr. 44.

6.3.4 MODIFIKACE V KONVERTORU +GF+

Metoda byla vyvinuta v letech 1968-70 u firmy Georg Fischer ve Švýcarsku a v současné době je ve světě velmi rozšířená. Modifikace se provádí v nádobě konvertoru, která je sklopná podle příčné osy. Nádoba je na horní straně opatřena nalévacím otvorem a na boční straně dna je speciální modifikační komůrka.



Komůrka je vytvořena grafitovou deskou v níž je několik otvorů, spojujících komůrku s hlavní částí nádoby. Velikost otvorů, jejich počet a umístění, je pro průběh modifikace důležitá. Do komůrky se samostatným, uzavíratelným otvorem vkládá modifikační látka - používá se čistý hořčík (obr. 45).

Obr.45: Konvertor +GF+ a jeho polohy při modifikaci

Konvertor je plněn výchozí litinou ve vodorovné poloze, při níž reakční komůrka není ve styku s kovem. Po nalití kovu je konvertor otočen do svislé polohy, kov se otvory dostane do komůrky a začíná modifikační reakce. Potom se namodifikovaná litina vyleje do připravené pánve. Obsluha otevře víko otvoru komůrky, vyčistí od případných zbytků, vsype další dávku hořčíku a otvor uzavře a zajistí. Tím je konvertor připraven na další cyklus.

Modifikace probíhá poměrně klidně a to díky samoregulačního mechanismu, daného konstrukcí otvorů v přepážce. Tento mechanismus je založen na poměru tlaku hořčíkových par v reakční komůrce a metalostatického tlaku v otvorech.

Používání kovového Mg pro modifikaci umožňuje zpracovávat litinu s prakticky libovolným obsahem výchozí síry - je tedy možné modifikovat litinu z běžné kyselé kuplovný. Využití Mg mezi 50-70%.

Konvertory se vyrábí ve velikostech od asi 700 kg do 3 t. Aby se udržela dostatečná teplota konvertoru (bez nutnosti přídatného ohřevu) je nutné dodržet optimální frekvenci modifikačních cyklů, podle velikosti asi 5-3 cykly za hodinu. Metoda je proto vhodná pouze pro slévárny s velkou produkcí LKG. Konvertory mohou být stacionární, jeřábové nebo obsluhované transportními vozíky.

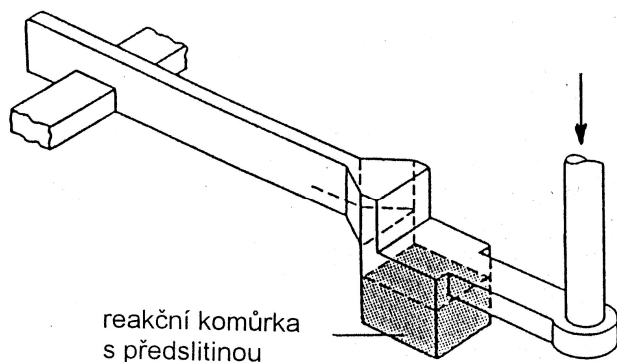
6.3.5 MODIFIKACE PLNĚNÝM PROFILEM

Modifikace plněným profilem se provádí stejným způsobem a pomocí stejného zařízení, jako očkování plněným profilem. Modifikační drát má průměr \varnothing 5-13 mm. Chemické složení náplně se liší dle výrobce, příp. požadavku slévárny, obvykle 13-25 %Mg, 20-40 %Si, 10-20 %Ca, 1 %KVZ, zbytek Fe. Množství modifikovačla se dává dle délky profilu, která se nastaví na podacím zařízení. Rychlost podávání musí být taková, aby k reakci docházelo u dna pánve, přitom však aby se profil do dna nezabodával. Optimální podmínky je nutno v každé slévárně ověřit.

Výhodou metody je, vedle vysoké čistoty kovu, malého vývinu kouře a malých teplotních ztrát, zejména velká operativnost a možnost provést domodifikování i během odlévání. Nevýhodou je vysoká cena plněného profilu.

6.3.6 METODA INMOLD

Prakticky u všech modifikačních metod je velkým problémem odeznívání modifikačního účinku a tím jeho omezená doba mezi modifikací a litím. Tuto nevýhodu odstraňuje metoda Inmold, u níž probíhá modifikace samostatně v každé formě.



K modifikaci dochází ve speciální modifikační komůrce, která je součástí vtokové soustavy - obr. 46. Do komůrky se vsype přesně odměřená dávka předslitiny FeSiMg s obsahem 3-5 % Mg. Neočkuje se. K modifikaci dojde v průběhu lití. Strusku, která při modifikaci vzniká, je nutno zachycovat v části vtokové soustavy, která následuje za komůrkou (obvykle pomocí filtrů). Aby množství strusky bylo malé, je bezpodmínečně nutné odlévat litiny s výchozím obsahem do 0,01 % S. Využití hořčíku je 60-80 %.

Obr.46: Vtoková soustava pro metodu Inmold

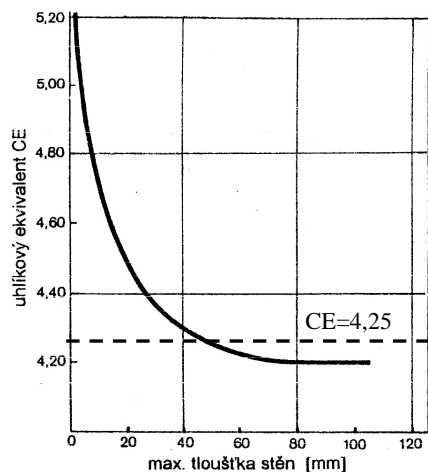
Konstrukce komůrky musí zajistit postupnou reakci po celou dobu lití. Pro volbu umístění, velikosti, tvaru a stupně zaplnění komůrky se uvádí řada doporučení. Konkrétní provedení je však bezpodmínečně pro každý druh formy (různé odlitky a jejich uspořádání ve formě) odzkoušet prakticky. Nevýhodou metody Inmold je snížení využití tekutého kovu a nižší využitelnost plochy dělicí roviny formy.

Mimořádné požadavky na stabilitu podmínek a nutnost ověření u každé položky sortimentu je příčinou toho, že metoda Inmold je použitelná pouze ve slévárnách s hromadnou výrobou, vysokým stupněm automatizace a kontroly výroby. Tyto podmínky splňují obvykle automobilky.

6.4 CHEMICKÉ SLOŽENÍ LKG

Při návrhu chemického složení LKG se vychází z požadované struktury odlitků v závislosti na tloušťce stěn a rychlosti ochlazování. U nelegované LKG by mělo chemické složení zajistit požadovanou strukturu již v litém stavu bez nutnosti tepelného zpracování.

Obsah uhlíku a křemíku - uhlíkový ekvivalent



LKG má **eutektické až nadeutektické složení**. Uhlíkový ekvivalent se volí zejména v závislosti na tloušťce stěny odlitku (rychlosti ochlazování) - obr. 47.

Podíl feritu a perlitu ve struktuře je ovlivněn zejména poměrem obsahu uhlíku a křemíku. Vyšší poměr C/Si vede, při stejném uhlíkovém ekvivalentu, k vyššímu podílu perlitu, menší poměr C/Si ke vzniku feritické struktury.

Typický obsah uhlíku v LKG se pohybuje v rozmezí 3,4-3,9 %C, obsah křemíku mezi 2,2-2,8 %Si.

Obr. 47: Doporučený uhlíkový ekvivalent LKG

Pro nelegované a nízkolegované LKG se doporučuje volit obsah C a Si podle tab.10.

Tab. 10: Doporučený obsah uhlíku a křemíku v LKG

Tloušťka stěny (mm)	Struktura v litém stavu					
	Převážně perlitická			Převážně feritická		
	C (%)	Si (%)	C _E	C (%)	Si (%)	C _E
6	3,85	2,65	4,7	3,85	2,85	4,8
12	3,70	2,45	4,5	3,70	2,60	4,55
25	3,60	2,35	4,4	3,55	2,50	4,4
50	3,45	2,20	4,2	3,40	2,35	4,2
75	3,40	2,20	4,15	3,35	2,35	4,15
100 a více	3,40	2,15	4,1	3,35	2,25	4,1

Obsah manganu

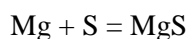
V LKG má mangan poměrně silný perlitotvorný účinek. **Pro dosažení feritické struktury** v litém stavu je proto nutno dodržet co nejnižší obsah manganu **do asi 0,15 %Mn**. U litin s perlitickou strukturou se volí obsah manganu maximálně **do asi 0,6-0,7 %Mn**. V silnostěnných, pomalu tuhnuících odlitcích dochází k výrazné segregaci manganu na hranice zrn a do osových partií. V místech s vysokým obsahem manganu pak dochází ke tvorbě karbidů. V těchto případech je proto nutné obsah manganu omezit do asi 0,3-0,4 % Mn. **Perlitické struktury LKG se spolehlivě dosáhne legováním 0,5-1,5 %Cu.**

Obsah fosforu

Fosfor segreguje k hranicím zrn, kde tvoří steadit a tak výrazně zhoršuje mechanické vlastnosti, zejména snižuje tažnost a lomovou houževnatost. Obsah fosforu v LKG má být **max. 0,08 %**, pokud možno nižší, **u silnostěnných odlitků až pod 0,02 %**.

Obsah síry

Síra se během modifikace váže na hořčík podle reakce



Konečný obsah síry v LKG je proto, bez ohledu na obsah výchozí, velmi nízký - kolem 0,01 %S.

Vysoký obsah síry v kovu před modifikací však způsobuje větší množství sekundární strusky, vyžaduje vysokou spotřebu modifikačního prostředku pro její vazbu na MgS, což zvyšuje náklady a (pokud se modifikuje předslitinou FeSiMg) se zvyšuje obsah křemíku v litině. Z tohoto důvodu se obvykle vyžaduje co nejnižší **výchozí obsah síry - nejlépe asi do 0,02-0,03 %S**. Pokud se ale modifikace provádí modifikačními metodami, které používají čistý hořčík, je možno vycházet i z litiny s obsahem síry až 0,1 % i více.

Karbidotvorné prvky a nečistoty

Účinek karbidotvorných prvků se u LKG projevuje silněji, než u LLG, jejich obsah proto musí být nízký (pro feritickou LKG má být Cr<0,04 %, pro perlitickou Cr<0,1 %).

Mnoho doprovodných prvků, jejichž běžný obsah v LLG nečinil velké problémy, má u LKG velmi nepříznivý vliv na tvar grafitu - způsobuje tzv. „degeneraci grafitu“. Mezi nejškodlivější patří zejména olovo, kadmium, vizmut a další, které se do litiny dostávají ze vsázkových surovin. Jejich maximálně přípustný obsah v LKG bývá několik setin, někdy i tisícín procenta. Z tohoto důvodu se pro tavení LKG používají suroviny vyšší čistoty a pokud možno se nepoužívá litinový šrot.

6.5 TAVENÍ LITINY S KULIČKOVÝM GRAFITEM

6.5.1 VSÁZKOVÉ SUROVINY

Pro výrobu litiny s kuličkovým grafitem je nutno používat suroviny s nízkým obsahem síry, fosforu, karbidotvorných prvků a nečistot, ovlivňujících tvar grafitu. Nároky na kvalitu surovin jsou značně vyšší, než pro výrobu litiny s lupínkovým grafitem. Požadavky závisí také na druhu použitého tavicího agregátu. Při tavení v obloukových pecích s možností metalurgických rafinačních reakcí jsou nároky na vstupní suroviny nižší, než u ostatních tavicích zařízení.

Surové železo

Běžné typy surových želez, používaných pro výrobu LLG obvykle výrobě LKG nevyhovují pro vyšší obsah Mn, P a nečistot. Proto se používají vysokopecní surová železa s vyšší čistotou, nebo speciální surová železa. Pro výrobu feritických druhů litiny je nutno používat železa s nízkým obsahem manganu. Vzhledem k jejich vyšší ceně se používají pro metalurgicky náročné případy, kdy se jimi částečně nebo zcela nahrazuje běžně používané surové železo.

Ocelový odpad

U ocelového odpadu je nutno věnovat zvýšenou pozornost přítomnosti manganu a karbidotvorných prvků. Je nutné, aby byl ocelový odpad pečlivě tříděn. Do vsázky může zanést rovněž další škodlivé prvky a plyny (např. dusík). Velmi kvalitním vsázkovým materiálem je hlubokotažný plech.

Vratný materiál

Je možno vsázet pouze vrat LKG. Ve slévárnách, které vyrábí i LLG je proto nutno vratný materiál obou skupin pečlivě oddělovat. Stejně tak je nutno třídít vratný materiál LKG různých značek, které se liší zejména obsahem perlitotvorných prvků (především měďi). Vsázka bývá sestavována tak, aby slévárna

spotřebovala pokud možno všechn vlastní vratný materiál. Podíl vratu ve vsázce však někdy bývá v případech, kdy se modifikuje předslitinami na bázi Fe-Si-Mg, omezen dodržením maximálního obsahu křemíku.

Litinový odpad

Litinový odpad, stejně jako třísky, se vzhledem k nejistému složení obvykle nepoužívají.

6.5.2 TAVICÍ AGREGÁTY

Pro výrobu LKG se od tavicích zařízení vyžaduje obvykle splnění následujících požadavků:

- co nejnižší obsah síry v natavené litině (preferuje se do 0,02 %)
- relativně nízký obsah křemíku kolem 1,0-1,5 % v případech, kdy se modifikuje předslitinami Fe-Si-Mg
- vysoký obsah uhlíku kolem 3,6-4,0 %
- vysoká odpichová teplota mezi 1480-1540 °C, v závislosti na metodě modifikace a velikosti odlitků
- stabilita vlastností litiny a možnost kontroly její kvality

Pro tavení LKG je principiálně možno používat stejné tavicí agregáty, jako pro tavení LLG nebo LVG, ne všechny ale splňují výše uvedené předpoklady.

Kuplovny - nevýhodou u kyselých nebo neutrálních kuploven (zásadité se prakticky nepoužívají) je vyšší obsah síry. Takovou litinu je možno modifikovat buď metodami, které pracují s čistým hořčíkem, nebo je nutno ji před modifikací odsířit. Požadavku dostatečné teploty kovu obvykle nevyhoví studenovětrnné kuplovny.

Indukční pece - jsou nejčastěji používaným tavicím agregátem při výrobě LKG. Převážně se používají středofrekvenční kelímkové pece, méně často kelímkové pece na síťovou frekvenci. Splňují všechny výše uvedené požadavky, obsah uhlíku je nutno zvýšit nauhličením.

Obloukové pece - používají se spíše vyjímečně. Jejich výhodou je, že umožňují provést rafinaci taveniny, při níž se sníží obsahy převážného množství nečistot a plynů - lze tedy používat méně kvalitní vsázku..

Bubnové pece - jsou velmi vhodným tavicím agregátem. Umožňují dosáhnout dostatečnou teplotu, a chemické složení.

6.5.3 SESTAVENÍ VSÁZKY PRO TAVENÍ LKG

Sestavování vsázky pro tavení LKG je závislé na:

- Požadované kvalitě kovu.
- Druhu použitého tavicího agregátu.
- Způsobu modifikace, druhu a množství modifikátoru
- Cenových relacích vsázkových surovin a dalších metalurgických komponent.

Z kvalitativních důvodů se obvykle používá větší podíl surových želez, než při tavení LLG. Nároky na kvalitu surovin při výrobě feritických litin bývají vyšší, než litin perlitických, zejména je nutno udržet nižší obsah manganu a dalších perlitotvorných prvků.

Z hlediska sestavování vsázky je důležité vzít v úvahu, jaké množství křemíku se vnese do taveniny modifikací a očkovaním. Při modifikování slitinami FeSiMg představuje křemík téměř 50 % jejich hmotnosti a značné množství křemíku se vnáší i při očkování. Obsah křemíku v litině před modifikací (na který se počítá složení vsázky) se pak určí ze vztahu

$$Si_{vs} = Si_{lit} - Si_{mod} - Si_{oc}$$

Si_{vs} - obsah křemíku v litině před modifikací

Si_{lit} - konečný obsah křemíku

Si_{mod} - křemík vnesený modifikačním prostředkem

Si_{oc} - křemík vnesený očkovačem

Příklad:

Litina má mít konečný obsah křemíku 2,5 %Si. Pro modifikaci se používá 1,6 % modifikační slitiny FeSiMg5, která má obsah 45 %Si, pro očkování 0,8% FeSi75. Do taveniny se modifikováním vnese $1,6 \times 0,45 = 0,7$ %Si, očkovačem $0,8 \times 0,75 = 0,6$ %Si, celkem 1,3 %Si.

Vsázka proto musí být sestavena na obsah $Si_{vs} = 2,5 - 1,3 = 1,2$ %Si. Vsázku je nutno sestavovat z nízkokřemíkatých surovin a je omezeno i maximální množství použitelného vratného materiálu.

(Požadavek na spotřebování pokud možno všeho vratného materiálu, kterého při výrobě odlitků z LKG vzniká 25-40 % (i více), je důležitým, avšak někdy obtížně splnitelným kritériem při sestavování vsázky.)

6.6 VERMIKULÁRNÍ LITINA

6.6.1 CHEMICKÉ SLOŽENÍ, STRUKTURA A VLASTNOSTI

Vermikulární litina - LVG je relativně novým druhem litin, používaným pro své poměrně vysoké mechanické vlastnosti a současně dobré slévárenské vlastnosti. Je běžné, že vedle vermikulárního grafitu se ve struktuře vyskytuje i malý podíl (asi do 5-10%) grafitu kuličkového.

Struktura základní kovové hmoty: feritická až perlitická Struktura závisí na chemickém složení, rychlosti ochlazování a vlivu nečistot, podobně jako u LKG.

Mechanické vlastnosti:

pevnost v tahu	$R_m = 320 - 550$ MPa
mez O ₂	$R_{p0,2} = 240 - 420$ MPa
tažnost	$A_5 = 0,5 - 4,5$ %
tvrdost	140 - 260 HB (obvykle do 200 HB)

Chemické složení

Obsah uhlíku a křemíku odpovídá přibližně eutektickému složení - CE = 4,2-4,5.

Typické chemické složení:	3,5 - 3,8 % C
	2,4 - 2,7 % Si
	max. 0,6 % Mn
	max. 0,06 % P
	max. 0,02 % S

Pro sestavení vsázky se používají prakticky stejné suroviny, jako pro výrobu LKG.

6.6.2 MODIFIKACE VERMIKULÁRNÍ LITINY

U vermiikulární litiny je nutno dosáhnout tvaru grafitu mezi lupínkovým a kuličkovým. To je z metalurgického hlediska obtížnější, než vyrobit litinu s kuličkovým grafitem. Pro praktické použití připadají v úvahu 3 metody výroby LVG:

- 1) nedokonalá modifikace hořčíkem
- 2) zabránění dokonalé sferoidisaci grafitu některým deglobulitisačním prvkem
- 3) modifikace cerem nebo jinými KVZ

Nedokonalá modifikace hořčíkem

Červíkový grafit vzniká, když obsah zbytkového hořčíku leží v rozmezí cca 0,015-0,025 % Mg. Při nižším obsahu je grafit již převážně lamelární, při vyšší obsahu kuličkový. Dodržení této úzké tolerance je technicky poměrně obtížné. Kromě obsahu Mg_{zbyt} je struktura závislá i na rychlosti ochlazování. V tenkých průřezích vznikají snadno kuličky, zatímco v tlustých průřezích se ještě vyskytuje grafit lamelární. Odlitky proto musí být konstruovány se stejnoměrnými tloušťkami stěn.

Pro modifikaci je možné použít čistý hořčík, obvyklé předslitiny FeSiMg, nebo speciální přípravky pro modifikaci LČG, které vedle 5-6 % Mg obsahují kolem 5 % KVZ.

Aplikace deglobulitisačních prvků

Jako prvek, který ruší globulitisační účinek hořčíku, se používá nejčastěji titan. Tavenina se modifikuje hořčíkem podobně, jako při výrobě LKG avšak modifikační předslutinou s obsahem titanu. Přítomnost titanu způsobí, že se přeměna tvaru grafitu zastaví na červíkové formě a ani předávkování hořčíku nemá za následek vznik kuličkového grafitu. Dostačuje obsah asi 0,1 % Ti.

Přítomnost titanu v litině zvyšuje podíl feritu a snižuje tvrdost. Současně však vznikají velmi tvrdé karbidy TiC, které zvyšují opotřebení řezných nástrojů. Z těchto důvodů slévárny obvykle dávají přednost modifikaci čistým hořčíkem.

Modifikace kovy vzácných zemin

Používá se "Mischmetal" s obsahem kolem 50 % Ce, nebo jiné přípravky. Modifikovat je možné přímo do proudu kovu při přelévání lící pánve. Spotřeba Mischmetalů je závislá na obsahu síry. Při obsahu 0,02 % S je dávkování cca 0,15-0,20 % KVZ, při 0,03 % S se dávkuje asi 0,3 %. Nevýhodou tohoto způsobu je, že při předávkování KVZ se zvyšuje sklon litiny k zákalce. Tento způsob modifikace se používá vyjíměčně.

Metody modifikace

Lze použít stejné metody, jako pro modifikaci LKG.

Grafitizační očkování

Provádí se obvyklými očkovadly, nejčastěji ferosiliciem FeSi75, běžnými postupy. Dávkování při jednostupňové modifikaci je 0,4-0,7 %.

7. TEPelnÉ ZPRACOVÁNÍ GRAFITICKÝCH LITIN

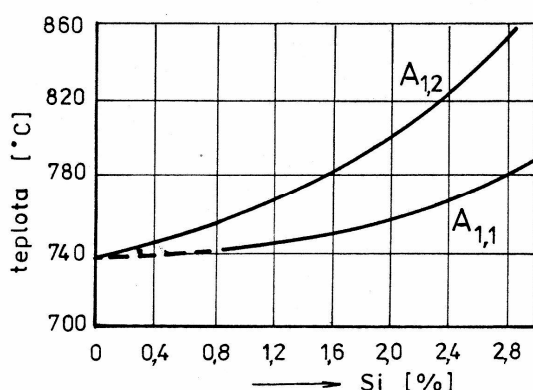
Tepelné zpracování litinových odlitků není tak běžnou operací, jako je tomu u odlitků ocelových a obvykle se slévárny snaží dosáhnout požadovaných vlastností již v litém stavu. Tepelné zpracování se provádí zejména tehdy, když není možné požadovaných vlastností dosáhnout v litém stavu. Tepelným zpracováním je možno měnit mechanické i technologické vlastnosti v širokém rozmezí tak, aby vyhovovaly konkrétním požadavkům zákazníka.

Cílem tepelného zpracování je zejména:

- snížení vnitřních pnutí
- zvýšení mechanických vlastností
- zlepšení obrobiteľnosti
- zvýšení otěruvzdornosti

Podle cíle a způsobu se provádí zejména tyto druhy tepelného zpracování:

- žíhání na odstranění vnitřního pnutí
- žíhání na měkko
- normalizační žíhání
- kalení a izotermické kalení bainitická litiny
- zušlechťování
- difusní termochemické zpracování



Teplotní režimy tepelného zpracování vychází principiálně z diagramu Fe-C s uvažováním vlivu ostatních prvků. Podle teploty ohřevu se rozlišuje

- tepelné zpracování za podkritických teplot
- tepelné zpracování za nadkritických teplot.

Jako kritické se označují teploty eutektoidní transformace A_{1,1} a A_{1,2}. Hodnotu těchto teplot oproti diagramu Fe-C zvyšuje křemík obr. 48.

Obr.:48: Závislost transformačních teplot na obsahu křemíku

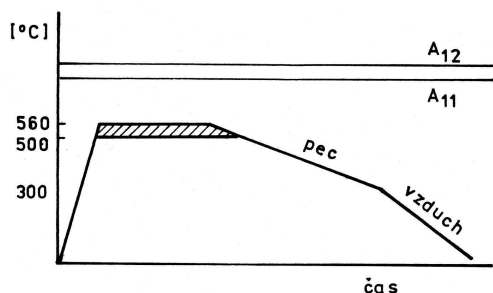
Jednotlivé způsoby tepelného zpracování jsou charakterisovány žíhací teplotou, délkou prodlevy a způsobem ochlazování.

Nejčastěji používaným způsobem tepelného zpracování je žíhání na odstranění vnitřního pnutí a feritizační žíhání.

7.1 ŽÍHÁNÍ NA ODSTRANĚNÍ VNITŘNÍHO PNUTÍ

Vnitřní pnutí v odlitcích způsobují **deformování odlitků**, jsou příčinou **vzniku prasklin** a při mechanickém namáhání zvyšují celkový napěťový stav a tím přispívají k porušení odlitků. Pnutí vzniká v odlitcích obvykle v důsledku:

- tuhé konstrukce odlitku, která zabraňuje smršťování
- brzděného smršťování odlitku formou nebo jádrem
- rozdílné rychlosti ochlazování jednotlivých stěn odlitku



Žihání se provádí za teplot 500-560 °C, legované litiny za teplot asi o 50 °C vyšších. Doporučená doba prodlevy na žhací teplotě je asi 1 hod + 1 hod/25mm tloušťky stěny. Pomalé ochlazování v peci na teplotu 250-300 °C, pak na vzduchu. Žhací diagram je na obr. 49.

Obr. 49: Žihání na odstranění vnitřního pnutí

7.2 FERITIZAČNÍ ŽIHÁNÍ

Účelem feritizačního žihání je rozpad perlitického cementitu a zvýšení podílu feritu ve struktuře. Feritizační žihání může navazovat na žihání pro odstranění volných karbidů. K rozpadu perlitického cementitu dochází již při podkritických teplotách s maximální rychlostí těsně pod spodní kritickou teplotou.

Feritizační žihání se provádí:

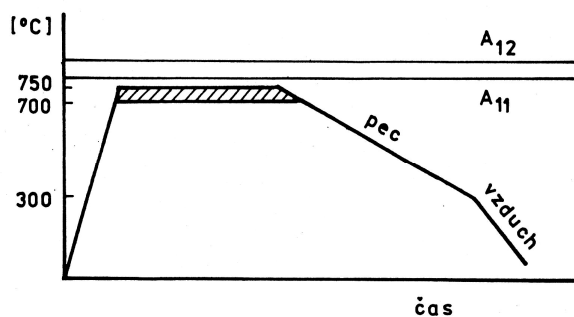
- za podkritických teplot
- za nadkritických teplot

FERITIZAČNÍ ŽIHÁNÍ ZA PODKRITICKÝCH TEPLŮT

Žhací teploty se volí asi 30-50 K pod $A_{1,1}$ - (nedochází tedy k austenitizaci litiny)

Režim žihání:

- teplota prodlevy: 700-760 °C
- délka prodlevy: 45 min až 1 hod/25 mm tloušťky stěny
- ochlazování: v peci do 580°C/20-50 K.hod⁻¹, (čím vyšší obsah Mn, tím pomalejší ochlazování), pak vzduch nebo pec/50-60 K.hod⁻¹ do 300°C



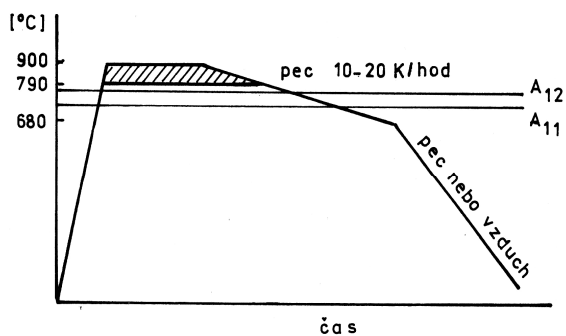
Obr. 50: Žhací diagram feritizačního žihání za podkritických teplot

FERITISAČNÍ ŽIHÁNÍ PŘI NADKRITICKÝCH TEPLŮTÁCH

Teploty se volí v oblasti horní kritické teploty nebo mírně nad ní (dochází tedy k austenitizaci), po prodlevě následuje pomalé ochlazování přes pásmo kritických teplot. Tento způsob žihání se používá v případech, kdy žihání za podkritických teplot by nezajistilo dostatečný stupeň feritizace, zejména při velmi nízkém obsahu křemíku nebo za přítomnosti prvků, stabilizujících perlit.

Režim žihání:

- teplota prodlevy: 790-850 °C
- délka prodlevy: 1 hod + 1 hod/25 mm tloušťky stěny
- ochlazování: v intervalu teplot 800-680 °C v peci rychlostí 10-20 K.hod⁻¹, pak vzduch nebo pec/50-60 K.hod⁻¹ do 300°C



Obr. 51: Žihací diagram feritizačního žhání při nadkritických teplotách

Podobný režim tepelného zpracování se volí, jestliže je ve struktuře litiny zákalka nebo karbidy doprovodných prvků. Teploty prodlevy se však volí vyšší - až kolem 900 °C.

Literatura

- (1) Roučka, J.: Metalurgie litin, PC DIR Brno 1998, ISBN 80-214-1263-1
- (2) Gedeonová, Z., Jelč, I.: Metalurgia liatin, HF TU Košice, 2000, ISBN 80-7099-516-5
- (3) Ferrous Foundrymans Handbook, 2000, ISBN 0 7506-4284 X

Obsah

1.	KLASIFIKACE LITIN.....	1
1.1	Definice litin	1
1.2	Druhy litin	2
1.2.1	Grafitické litiny	2
1.2.2	Karbidické litiny.....	3
1.3	Strukturní složky litin.....	3
1.3.1	Grafit	3
1.3.2	Velikost grafitu	4
1.3.3	Základní kovová hmota.....	5
1.3.4	Další strukturní složky	7
2.	KRYSTALISACE LITIN.....	7
2.1	Krystalizace eutektika	8
2.2	Očkování	9
2.2.1	Účel očkování	9
2.2.2	Složení a princip působení očkovadel.....	9
2.2.3	Odezňování očkovacího účinku.....	9
2.2.4	Druhy očkovadel	10
2.2.5	Způsob očkování	11
2.2.6	Kontrola očkovacího účinku	13
2.2.7	Vady spojované s očkováním.....	14
3.	CHEMICKÉ SLOŽENÍ A STRUKTURA LITIN	15
3.1	Vliv prvků na grafitizaci	15
3.2	Vliv prvků na strukturu a vlastnosti litin	17
3.2.1	Základní prvky	17
3.2.2	Legury, stopové prvky a nečistoty.....	18
3.3	Hodnocení chemického složení litin	19
3.3.1	Uhlíkový ekvivalent.....	19
3.3.2	Stupeň eutektičnosti	19
3.3.3	Poměr C/Si	19
3.3.4	Vliv rychlosti ochlazování na strukturu litin.....	19
4.	Druhy a VLASTNOSTI LITIN	20
4.1	Mechanické vlastnosti.....	20
4.2	Značení litin	21
4.3	EN ČSN 1561: Litina s lupínkovým grafitem - LLG.....	22
4.4	EN ČSN 1563: Litina s kuličkovým grafitem - LKG	24
4.5	EN ČSN 1564: Izotermicky kalené litiny	25
	s kuličkovým grafitem.....	25
4.6	EN ČSN 1562: Temperovaná litina	25
4.7	Vermikulární Litina - LVG	26
4.8	Vlastnosti litin za zvýšených teplot.....	26
4.9	Fyzikální vlastnosti	27
4.10	Nízkolegované litiny	27
4.11	Vysokolegované litiny.....	28
5.	TAVENÍ LITIN.....	29
5.1	Tavení litin v kuplovnách	29
5.1.1	Popis kuplovny.....	29
5.1.2	Režim provozu kuploven	32

5.1.3	Spalovací vzduch.....	34
5.1.4	Regulace chodu kuplovný 34	34
5.1.5	Emise	35
5.2	Vsázkové suroviny pro tavení litin v kuplovnách	35
5.2.1	Kovová vsázka	35
5.2.2	Palivo.....	37
5.2.3	Struskotvorné přísady	37
5.2.4	Příprava vsázky	38
5.3	TAVENÍ V ELEKTRICKÝCH INDUKČNÍCH PECÍCH.....	40
5.3.1	Indukční ohřev	41
5.3.2	Metalurgie tavení v elektrických indukčních pecích	42
5.4	Tavení v rotačních bubnových pecích.....	43
5.5	Licí pánve	45
6.	VÝROBA LITINY S KULIČKOVÝM GRAFITEM	46
6.1	Struktura a vlastnosti LKG.....	46
6.2	Modifikace LKG	47
6.3	Metody modifikace.....	48
6.3.1	Metoda Sandwich	49
6.3.2	Metoda Tundish.....	49
6.3.3	Modifikace ve sferokávu (autoklávu pro sferoidizační zpracování)	50
6.3.4	Modifikace v konvertoru +GF+	50
6.3.5	Modifikace plněným profilem	51
6.3.6	Metoda Inmold	51
6.4	Chemické složení LKG	52
6.5	Tavení litiny s kuličkovým grafitem	53
6.5.1	Vsázkové suroviny	53
6.5.2	Tavicí agregáty	54
6.5.3	Sestavení vsázky pro tavení LKG	54
6.6	Vermikulární litina	55
6.6.1	Chemické složení, struktura a vlastnosti	55
6.6.2	Modifikace vermikulární litiny.....	56
7.	Tepelné zpracování grafitických litin	57
7.1	Žihání na odstranění vnitřního pnutí	57
7.2	Feritizační žihání	58

Doc.Ing. Jaromír ROUČKA, CSc

METALURGIE LITIN