



Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích

# Moderní slévárenské technologie

*Přednášky pro studijní program Strojírenství*


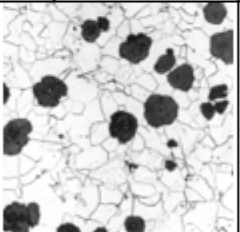

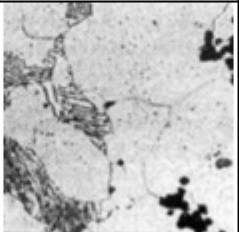
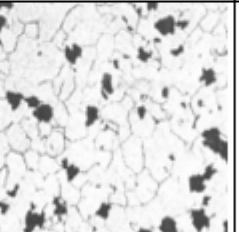
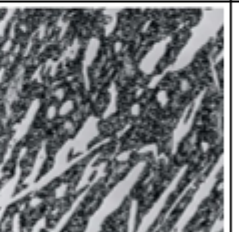
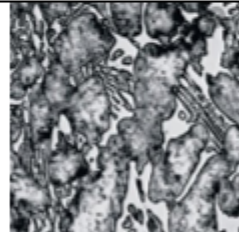




**Doc. Ing. Ladislav SOCHA, Ph.D. a kol.**



# Charakteristika metalurgických pochodů výroby a mimopecní zpracování litin

Přednáška č. 8

# Rozdělení litin

Název	Grafitické litiny				Karbidické litiny	Speciální litiny	
	Litina s lupinkovým grafitem LLG Šedá litina	Litina s kuličkovým grafitem LKG Tvárná litina	Litina s vermikulárním grafitem LVG Litina s červíkovitým grafitem	Litina s vločkovým grafitem LT Temperovaná litina		Bílá litina	Legované litiny
				S bílým lomem	S černým lomem		
Vlastnosti	Křehký materiál s nízkou tažností  Při dynamickém namáhání vlastnosti podobné oceli	Výroba modifikací čistým Mg nebo jeho předslitinami  Vysoce jakostní materiál, spojuje přednosti ocelí na odlitky a šedé litiny	Přechod mezi šedou a tvárnou litinou  Vznik modifikací Mg, ale v malém množství, aby nedošlo k tvorbě kuličkového grafitu	Vznik tepelným zpracováním bílé litiny – karbid železa se rozkládá na grafit  Obě litiny se liší hlavně obsahem C a Si Litina žíhaná v oduhličujícím prostředí		Uhlík vázán jako $Fe_3C$  Tvrdá, odolná proti opotřebení  Velmi křehká a špatně obrobitelná	Legující prvky nesmí ovlivnit vylučování grafitu, legování slouží k dosažení optimální kombinace mechanických vlastností Dělíme je na litiny legované hliníkem, křemíkem, chromem a niklem
Struktura							
Příklad využití	Odlitky částí strojů 	Ozubená kola 		Fitinky 	Mlecí koule 		

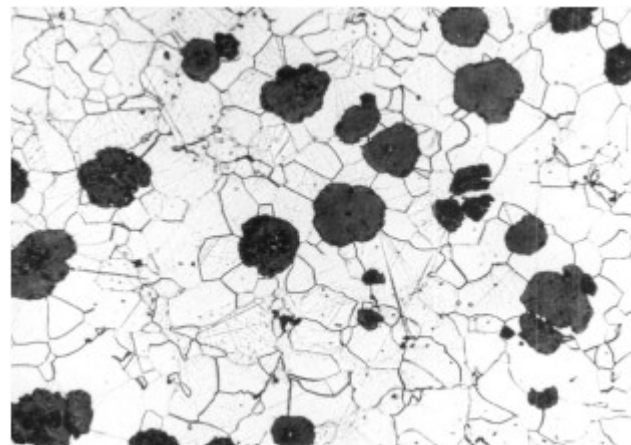
- ✓ Litiny tvoří největší podíl ze všech slévárenských slitin
- ✓ Většinu tvoří litina s lupínkovým grafitem (LLG) – asi 85 %, méně než 15 % litina s kuličkovým grafitem (LKG) a dále malé množství odlitků jiných druhů litin
- ✓ V české republice je tento poměr odlišný, litina s kuličkovým grafitem představuje 20–35 %
- ✓ Odlitky z LKG často nahrazují dražší odlitky z oceli
  
- ✓ **Litina s lupínkovým grafitem – LLG**
  - Častěji označovaná jako litina šedá
  - Obsahuje grafit ve formě prostorových útvarů připomínajících hlávku zelí, na výbrusu mají tvar lupínků
  - Vlastnostmi připomíná ocel – vysoká pevnost, tažnost, houževnatost
- ✓ **Litina s kuličkovým grafitem – LKG**
  - Častěji označovaná jako litina tvárná
  - Obsahuje grafit ve formě kuliček
  - Mezi vlastnosti LKG patří dobré kluzné vlastnosti, dobrá obrobitelnost, schopnost tlumit vibrace

# Ovlivnění krystalizace litin

- ✓ Tvar a rozložení grafitu v litině má zásadní vliv na její mechanické vlastnosti
- ✓ Lupínkový grafit obvykle vzniká bez nutnosti metalurgického zásahu, pro získání litiny s kuličkovým grafitem jsou ale třeba metalurgické operace
- ✓ Z hlediska mechanických vlastností je kuličkový grafit příznivější, LKG má podstatně vyšší mechanické vlastnosti než LLG



LLG



LKG

- ✓ Mezi možnosti zásahu do struktury grafitu patří mimopecní zpracování litin v podobě **očkování** a **modifikace**

# Očkování

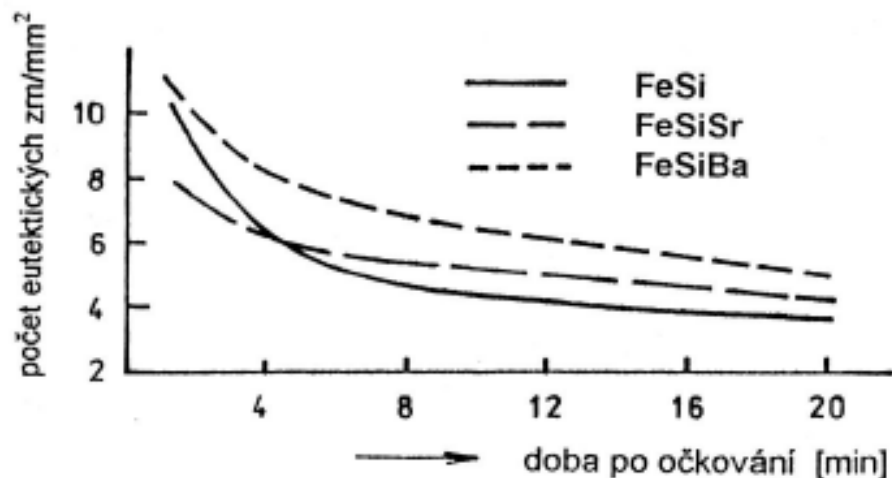
- ✓ Očkování je jeden z hlavních způsobů mimopecního zpracování roztavené litiny (ovlivnění konečné struktury litiny v odlitku)
- ✓ Podstatou očkování je vnášení takových látek do roztavené litiny, které vedou ke vzniku zárodků pro krystalizaci grafitu, nejedná se o přímé vnášení zárodků
- ✓ Čím větší je počet aktivních zárodků, tím dokonalejší je grafitizace
- ✓ Důsledkem očkování je zmenšení sklonu ke vzniku zákalky, zjemnění grafitu a rovnoměrné vyloučení grafitu v celém odlitku
- ✓ Očkování je velmi složitý proces ovlivněný řadou proměnných faktorů jako dodržování teploty, základního chemického složení, vhodného typu očkovačla, zrnitosti
- ✓ Používá se k ovlivnění struktury základní kovové hmoty (u LKG – litiny s kuličkovým grafitem) a způsobu vyloučení grafitu ( u LLG – litina s lupínkovým grafitem, šedá litina)
- ✓ Význam očkování je větší, pokud jsou nepříznivé podmínky pro grafitizaci, tzn. rychlé ochlazování odlitku, důsledkem jsou špatné mechanické vlastnosti, nepříznivé slévárenské technologické vlastnosti a vysoká tvrdost
- ✓ **Obecně platí následující požadavky na očkovačla:**
  - *Dobrá rozpustnost v tavenině*
  - *Obsah prvků, které zvyšují aktivitu uhlíku (Al, Si)*
  - *Obsah prvků, které mění mezifázové napětí zvýšením povrchového napětí taveniny (Ba, Ca, Zr)*

# Očkování – složení a princip působení

- ✓ Očkovadlo je tvořeno nosičem a krystalizační složkou
- ✓ **Nosič** tvoří hlavní část hmoty očkovadla, nemá ale očkující účinek
  - *Nejčastější jsou očkovadla na bázi slitin Fe-Si, přičemž samotná slitina Fe-Si nemá očkovací účinek a slouží pouze jako nosič*
- ✓ **Očkovací složka** je v očkovadle obsažena pouze v malém množství, aktivními prvky bývají zejména **Ca, Al, Sr, Ba** nebo **Zr**
  - *Výše zmíněné prvky reagují zejména s kyslíkem a sírou, s nimiž tvoří nukleační zárodky grafitu (ve ferosiliciu obvykle tuto úlohu plní většinou Ca a Al, oba prvky tvoří oxidy, které obalují jádro zárodku)*
  - *Jádro zárodku je tvořené oxidy (např. MgO-SiO<sub>2</sub>) nebo sulfidy (CaS, MgS, CeS)*
  - *Méně používaná jsou uhlíková očkovadla, kde je aktivní složkou krystalický uhlík, jehož účinek je založen na mřížkové identitě s grafitem v litině. Tato očkovadla obsahují ale i část Fe-Si, kterým se vnáší aktivní prvky Ca a Al*

# Očkování – odeznívání očkovacího účinku

- ✓ Účinek očkovadla na krystalizaci grafitu je časově omezený, největší účinek je po naočkování a s časem odeznívá
- ✓ Odeznívání může být způsobeno koagulací zárodků nebo také v důsledku chemické homogenizace taveniny (mizí oblasti s místním přesycením grafitotvorných prvků, které podporuje nukleaci grafitu)
- ✓ Některé prvky (Ba, Sr) zpomalují rychlost odeznívání očkovacího účinku, viz obrázek
- ✓ Jak je vidět, při použití FeSi je odeznívání rychlé
- ✓ Při použití Ba nebo Sr je odeznívání očkovacího účinku výrazně zpomaleno
- ✓ Obecně je taveninu nutné odlít co nejdříve po naočkování, obvykle do 10 minut





# Druhy očkovaadel

- ✓ Existuje celá řada druhů očkovaadel, mezi ty nejpoužívanější patří **očkovaadla na bázi křemíku**:
- ✓ Nejběžnějším druhem je **ferosilicium** s obsahem kolem 65–75 % Si, 1–2 % Al a 0,2–1 % Ca
- ✓ Komplexní očkovaadla na bázi ferosilicia obsahují i další krystalizačně aktivní prvky, jejichž účelem je zlepšení očkovaacího účinku, a to:
  - **Sr** (0,5–1,0 %) zvyšuje rychlost rozpouštění očkovaadla i při nízkých teplotách, zaručuje dlouhodobý a velmi dobrý očkovaací účinek i při nízkém dávkování
  - **Ba** (1–6 %) tvoří chemicky stálé zárodky s vysokou hustotou, prodlužuje dobu očkovaacího účinku
  - **Zr** (1–6 %) má vysokou dezoxidační schopnost (snižuje obsah kyslíku v tavenině při výrobě oceli), váže dusík, čímž omezuje nebezpečí vzniku bublin
  - **Mn** (až 10 % Mn) zlepšuje rozpustnost očkovaadla při nízkých teplotách litiny
  - **Ce** (0,5–1,0 %) v očkovaadlech se používá pouze zřídka
  - **Ti** (až 10 %) používají se dosti zřídka a to pro očkování LLG a LVG (vermikulární litina), pro očkování LKG se nepoužívá jelikož zabraňuje vzniku kuličkového grafitu

# Druhy očkovaadel

✓ Mimo očkovaadel na bázi křemíku patří mezi známá očkovaadla následující druhy:

✓ **Očkovaadla na bázi uhlíku**

- *Cca 30 % krystalického uhlíku a 40–50 % křemíku*
- *Nemá účinek u litin s nízkým obsahem síry (nelze použít u LKG)*
- *Hůře se rozpouštějí a proto je nutná vysoká teplota kovu (až nad 1450 °C)*
- *Dávkují se do pánve v množství 0,4–0,8 %*

✓ **Silikokalcium**

- *Silně dezoxidační a desulfurační účinek*
- *Pro očkování litiny není příliš běžné*
- *Očkovací účinek i při velmi nízkém obsahu síry v litině, očkovací účinek velmi rychle ode.*
- *Cca 30 % Ca a 65 % Si, dávkování 0,2–0,4 %*

✓ **Karbid křemíku**

- *Poměrně nové očkovaadlo, účinné i v krystalizačně nepříznivých podmínkách*
- *Očkovací účinek je dlouhodobý, zárodky se tvoří postupně, jelikož karbid křemíku se v litině kvůli vysoké tavicí teplotě neroztaví, ale postupně se rozpouští*
- *Očkovaadlo obsahuje asi 85–90 % SiC, dávkování okolo 0,5 %*



Karbid křemíku



Silikokalcium

# Způsob očkování

## ✓ Podle typu očkovačla můžeme rozlišovat:

- *Očkování tekutým očkovačlem (méně častý způsob)*
- *Očkování granulovaným očkovačlem (nejčastější způsob) – rozměr zrn od 0,2 mm až po 8–10 mm*
- *Očkování kompaktními tělísky vkládanými buď do licí jamky nebo do reakční komůrky ve vtokové soustavě*
- *Očkování plněnými profily*

## ✓ Hlavními metodami očkování jsou:

- *Očkování v pánvi – očkovačlo 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 pánve taveninou, nemělo by se očkovat do prázdné ani plné pánve, jelikož nebude zajištěno rozpuštění a homogenizace. Zrnitost se volí podle objemu kovu (malé pánve od 2–4 mm; velké pánve do 30 mm). Tato metoda není velmi výhodná, mezi očkováním a litím je poměrně dlouhá doba, proto je třeba používat větší množství očkovačla (u LLG 0,2–0,4 %; u LKG 0,5–1,2 %)*

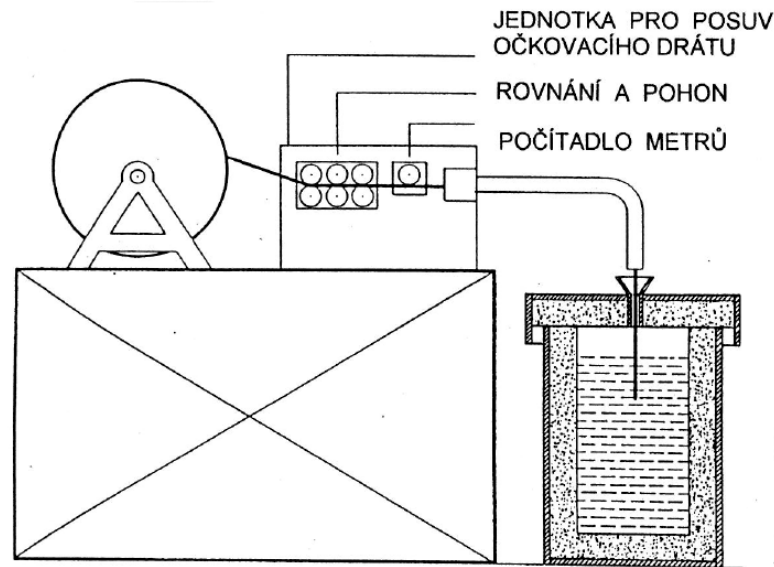
# Způsob očkování

✓ Hlavními metodami očkování jsou:

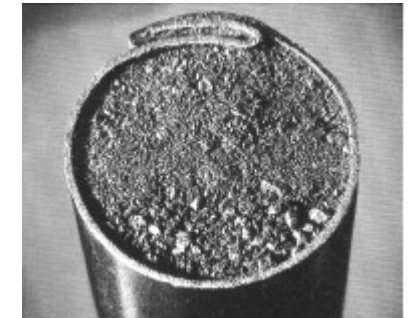
- Očkování do proudu kovu – používá se zejména při odlévání pomocí automatických licích zařízení. Očkovadlo s malou zrnitostí (okolo 1 mm) se kontinuálně fouká pomocí trubky do proudu kovu, který vytéká z pánve do formy nebo do mezipánve. Používá se především u LLG, dávkování 0,1–0,2 % FeSi
- Očkování plněným profilem – očkovadlo je jemně drcené a obsažené v dutém tenkostěnném ocelovém profilu (průměr 9 nebo 13 mm), je žádoucí, aby se stěna profilu tavila na dně pánve, což je řízeno rychlostí posunu profilu, která je závislá na teplotě taveniny. Složení očkovadla se volí podle slévárny a výrobce. Dávkování pro LLG je 0,1–0,2 % a pro LKG 0,2–0,4 %



Očkování do proudu kovu



Očkování plněným profilem do pánve

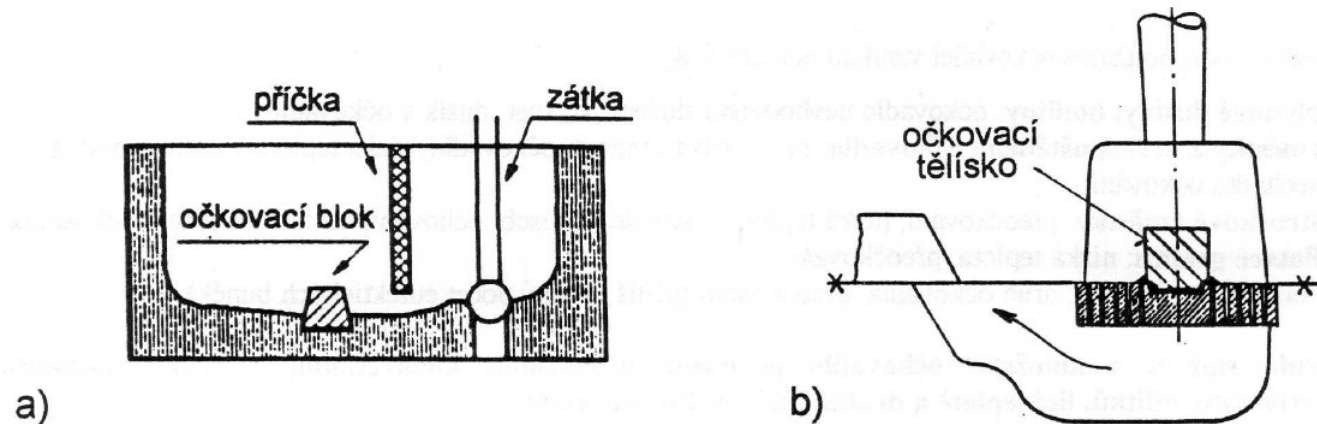


Plněný profil

# Způsob očkování

✓ Hlavními metodami očkování jsou:

- Očkování očkovacími tělísky – Očkovadlo na bázi Fe-Si má tvar tělísek, ty se usazují na dno licí jamky, pod vtokový kůl nebo do filtru (viz obrázek). Velikost tělíska se volí podle množství kovu ve formě, dávkování 0,05–0,1 %



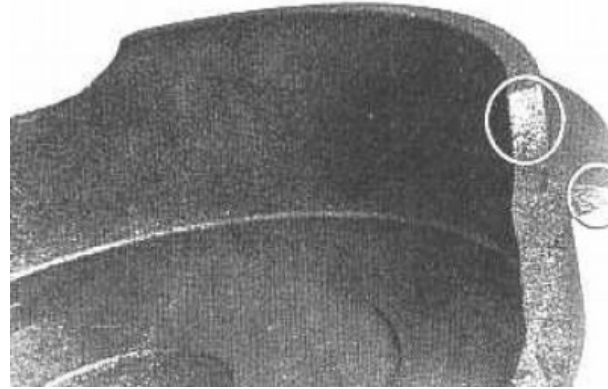
Očkování očkovacími tělísky: a) ve vtokové jamce; b) na filtru

- Očkování ve formě – metoda In mold – dávkování očkovadla do speciální komůrky, která je předformovaná ve vtokové soustavě. Kov při lití touto komůrkou protéká a postupně rozpouští očkovadlo. Tato metoda je vhodná pro hromadnou výrobu.

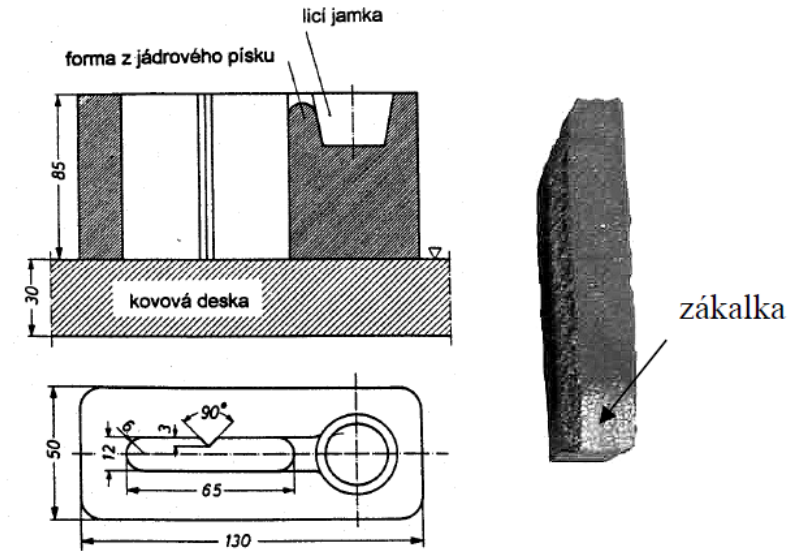
# Kontrola očkovacího účinku

✓ Očkovací účinek je možné kontrolovat:

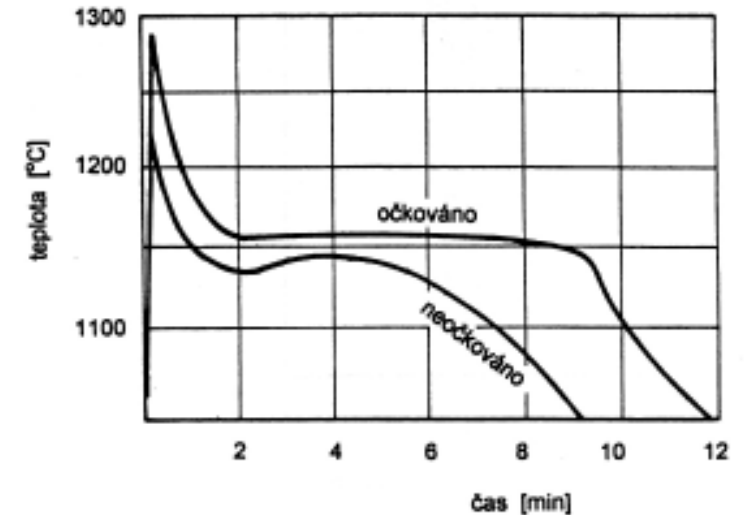
- Hloubkou zákalky – zákalková zkouška je nejvhodnější kontrolou očkovacího účinku, je rychlá a nenáročná. Princip spočívá v odlití vzorku do zkušební formy, přelomení ztuhlého vzorku a změření hloubky zákalky (zákalka = bílé tuhnutí; tuhnutí grafitu ve formě cementitu)
- Pomocí křivek ochlazování – založeno na vyhodnocení teplot a tvaru křivky v oblasti tuhnutí eutektika, čím lepší je očkování, tím menší je přechlazení
- Podle počtu eutektických zrn



Zákalka



Zákalková zkouška



Změna průběhu křivky ochlazování po naočkování litiny

# Modifikace

- ✓ Modifikací rozumíme ovlivnění tvaru grafitu při jeho krystalizaci tak, že z lupínkového grafitu dostaneme pomocí modifikátoru grafit kuličkový
- ✓ Modifikací se podstatně mění užité i fyzikální vlastnosti (jako tepelná vodivost, koeficient tepelné roztažnosti, korozivzdornost, možnost svařování, obrábění atd.)
- ✓ **Teorie modifikace:**
  - Při modifikaci dochází k vypařování hořčíku, ten se dostává do atomárního stavu a adsorbuje se na plochách stávajícího krystalu grafitu a tím mění rychlost růstu krystalových ploch
  - Při modifikaci probíhá dezoxidace, odsíření, odplynění taveniny = rafinace, čímž se dosáhne změn fyzikálních vlastností taveniny a ovlivnění růstu grafitu
  - Při modifikaci se mění nukleační podmínky grafitizace, zvyšuje se podchlazení
- ✓ V současnosti se jako modifikátor používá hutnicky čistý Mg (99,5 %) nebo předslitiny Mg
- ✓ Vzhledem k bouřlivé reakci hořčíku se většinou modifikuje předslitinami hořčíku
- ✓ Páry hořčíku probublávají ode dna taveninou, Mg přitom reaguje se sírou a kyslíkem a tvoří chemické sloučeniny (často i s křemíkem), které se označují jako sekundární struska. Pouze ta část hořčíku, která zůstane rozpuštěná v tavenině se podílí na vzniku kuličkového grafitu, tato část se označuje jako zbytkový hořčík, jeho obsah musí být větší než 0,3 %, ale neměl by být zbytečně vysoký (u tenkostěnných odlitků stačí okolo 0,3 %, u silnostěnných odlitků musí být vyšší – 0,045–0,06 %)

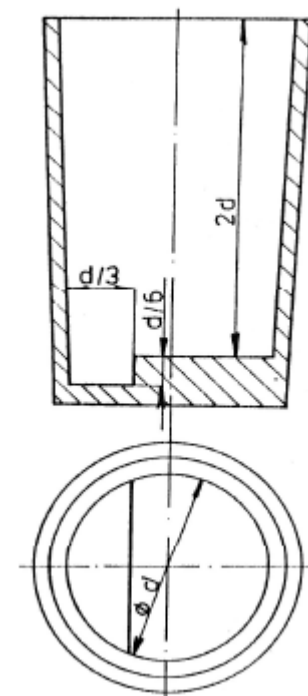
# Technologie modifikace

- ✓ Je patentováno na 200 způsobů přidávání modifikátoru, provozní využití představuje asi 40 až 50 způsobů výroby LKG
  
- ✓ **Požadavky na modifikace:**
  - *spolehlivost*
  - *hospodárnost*
  - *nízká nákladovost*
  - *ekologické podmínky*
  
- ✓ **Způsoby modifikace:**
  - *Polévací*
  - *Ponořovací*
  - *Konvertorové*
  - *Kontinuální*
  - *Plněnými profily*



# Metody modifikace – metoda SANDWICH

- ✓ Modifikace se provádí v otevřené pánvi, v jejímž dně je komůrka provedená jako prohlubeň
- ✓ Modifikace se provádí jednostupňově
- ✓ Dochází ke ztrátě teploty 30–50 K; využití Mg je 40–50 %, ztráty uhlíku 0,05–0,1 %
- ✓ **Postup:**
  - Na dno komůrky se uloží dávka předlitiny Mg
  - Na předslitinu se uloží dávka očkovačla FeSi
  - Očkovačlo se překryje ocelovým plechem nebo plechovými odstřížky (brání vyplavání)
  - Nalitý kov musí nejprve protavit plech, tak se oddálí reakce hořčíku
  - Před roztavením ocelového plechu dojde k zaplnění pánve a tlak sníží bouřlivost reakce
  - Často se používají vysoké a štíhlé pánve, aby byl metalostatický tlak litiny co největší a bouřlivost reakce co nejmenší
  - Litina se lije mimo komůrku s modifikátorem

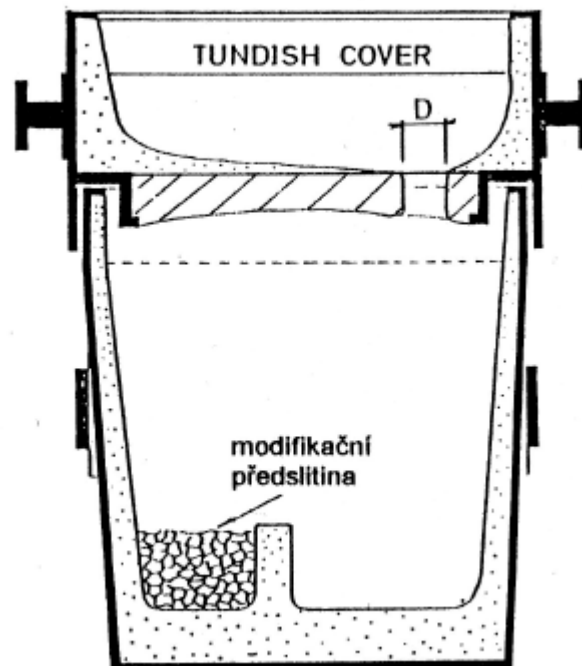


Pánev pro metodu SANDWICH

# Metody modifikace – metoda TUNDISH

## ✓ Metoda TUNDISH

- Zdokonalená metoda SANDWICH
- Pánev opatřena víkem s nalévacím otvorem
- Na víku je licí bazén dostatečně velký, aby bylo možné při nalévání udržet hladinu kovu
- Předslitiny se ukládají do komůrky ve dně nebo do komůrky, která je tvořena příčkou
- Otvor ve víku je tvořen tak, aby kov padal mimo komůrku
- Díky víku se sníží teplotní ztráty oproti metodě SANDWICH a využití hořčíku je větší (60–70 %)
- Jedná se o nejpoužívanější polévací metodu



Pánev pro metodu  
TUNDISH

# Metody modifikace – modifikace ze sferoklávu

- ✓ Modifikace za zvýšeného tlaku
- ✓ Jedná se o metodu ponořovací
- ✓ Díky tomu je možné používat i předslitiny s vyšším obsahem hořčíku (15–25 %) nebo i čistý hořčík
- ✓ Využití Mg v rozmezí 60–80 %
- ✓ Nevýhodou jsou značné provozní i investiční náklady
- ✓ **Postup:**
  - Modifikační pánev se zaveze do nádoby sferoklávu
  - Sferokláv je opatřený odklopným víkem, kterým prochází ponořovací tyč se zvonem
  - Při uzavření víka dojde ke zvýšení tlaku na 0,4–1,0 MPa
  - Zvon s předslitinou a očkovadlem se ponoří ke dnu
  - Kvůli vysokému tlaku se hořčík vypařuje pomaleji, regulací tlaku lze řídit i bouřlivost reakce

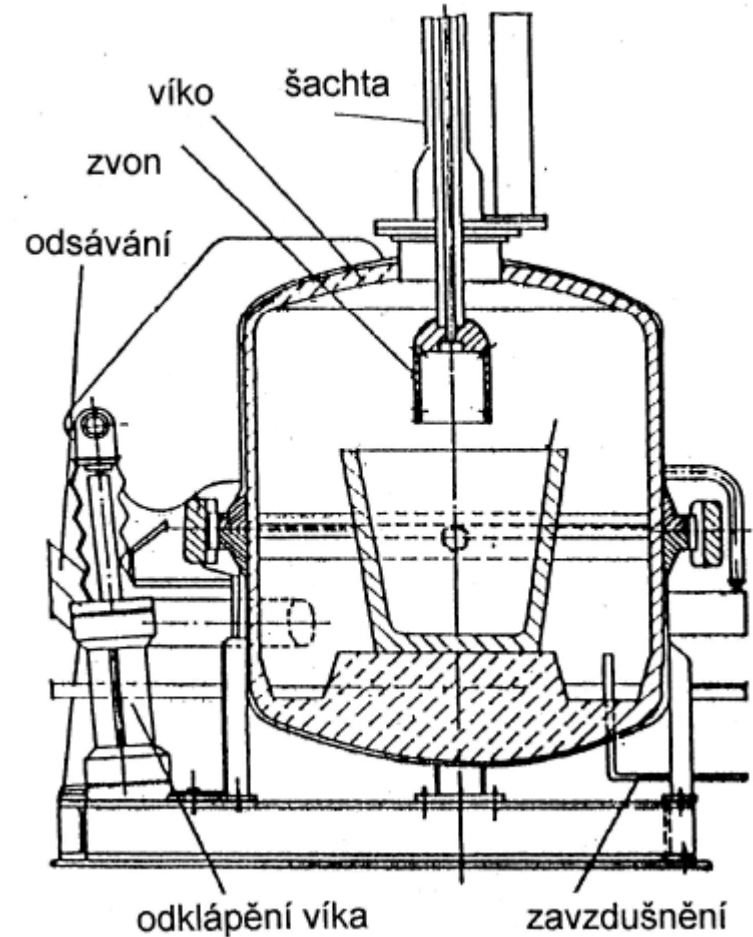


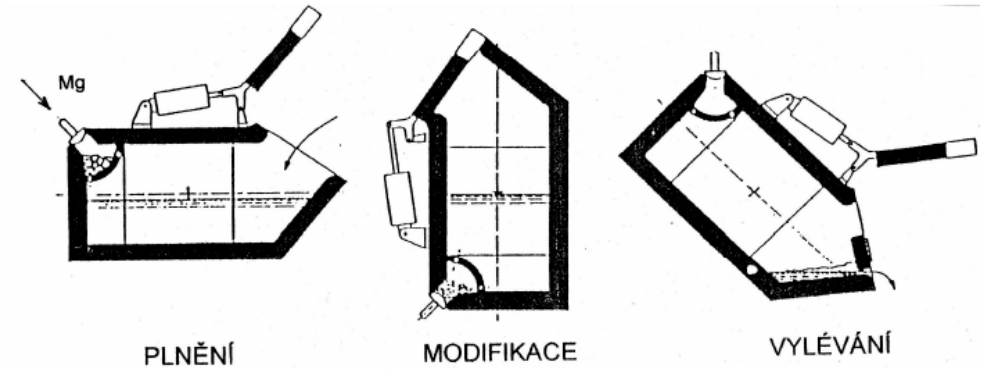
Schéma sferoklávu



# Metody modifikace – modifikace v konvertoru

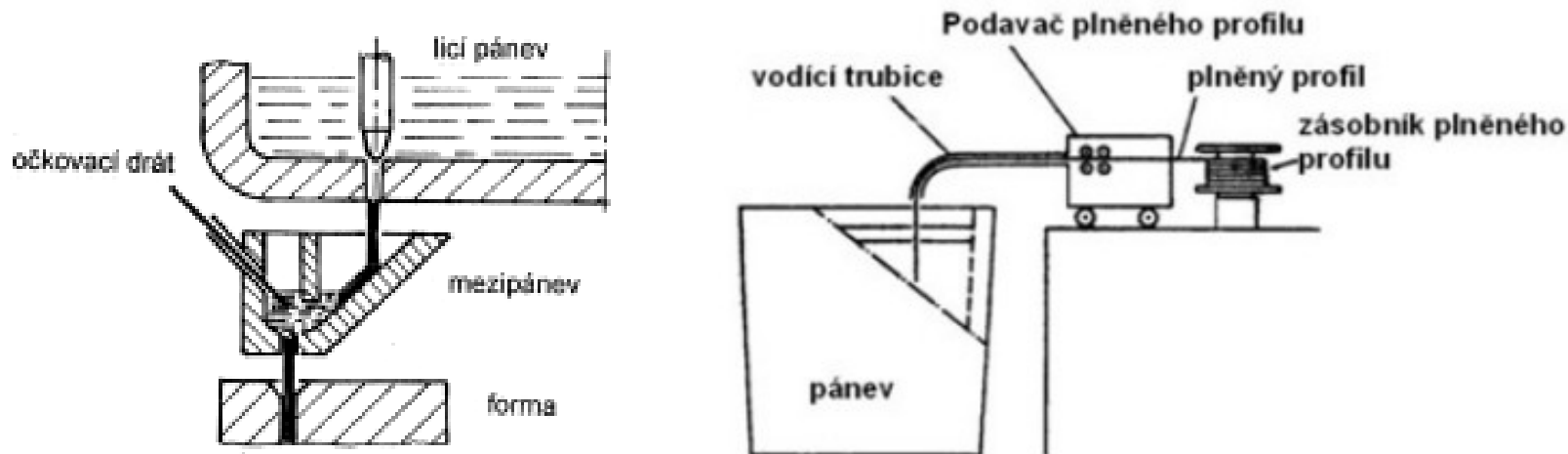
## +GF+

- ✓ Ve světě velmi rozšířená metoda
- ✓ Mechanismus lití je založen na poměru tlaku hořčkových par v reakční komůrce a metalostatického tlaku v otvorech
- ✓ Využití hořčíku 50–70 %
- ✓ **Postup:**
  - Modifikace probíhá v nádobě konvertoru, ta je sklopná podle příčné osy
  - Nádoba je na horní straně opatřena nalévacím otvorem a na boční straně dna je modifikační komůrka
  - Komůrka je tvořena grafitovou deskou v níž je několik otvorů, které spojují komůrku a hlavní část nádoby
  - Do komůrky se vkládá samostatným a uzavíratelným otvorem modifikační látka – čistý hořčík
  - K plnění konvertoru litinou dochází ve vodorovné poloze
  - Po nalití je konvertor otočen do svislé polohy a kov se otvory dostane do komůrky s hořčíkem
  - Modifikovaná litina se vyleje do připravené pánve



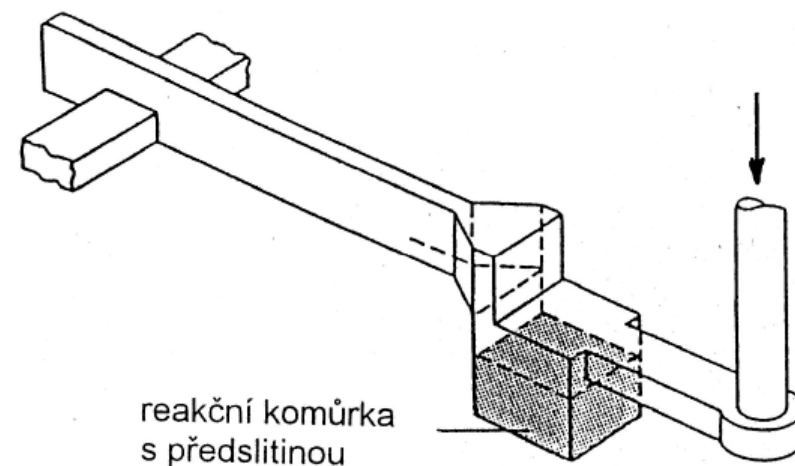
# Metody modifikace – modifikace plněným profilem

- ✓ Stejný postup jako při očkování plněným profilem
- ✓ Modifikační drát mívá průměr 5–13 mm
- ✓ Složení náplně se liší podle výrobce/požadavků slévárny
- ✓ Náplň často tvořena 13–25 % Mg, 20–40 % Si, 10–20 % Ca, 1 % kovy vzácných zemin, zbytek Fe
- ✓ Množství modifikovadla se dávkuje délkou profilu, která se nastaví na podacím zařízení
- ✓ Rychlost podávání musí být taková, aby k reakci docházelo u dna pánve, ale aby se profil nezabodával do dna
- ✓ Výhodou je operativnost a možnost provedení domodifikování i během odlévání
- ✓ Nevýhoda je vysoká cena profilu



# Metody modifikace – metoda IN MOLD

- ✓ Odstraňuje nevýhodu omezené doby mezi modifikací a litím, modifikace probíhá samostatně v každé formě
- ✓ Využití hořčíku je 60–80 %
- ✓ Tato metoda se využívá pouze ve slévárnách s hromadnou výrobou, vysokým stupněm automatizace a kontroly výroby, většinou se jedná o automobilky
- ✓ **Postup**
  - K modifikaci dochází ve speciální modifikační komůrce
  - Do komůrky se vsype přesně odměřená dávka předslitiny FeSiMg s obsahem Mg 3–5 %, neočekuje se
  - K modifikaci dochází v průběhu lití
  - Strusku je nutné zachycovat v části vtokové soustavy, která leží za komůrkou (např. pomocí filtrů)
  - Množství strusky je dáno obsahem síry ve výchozí litině
  - V komůrce musí docházet k postupné reakci po celou dobu lití



# Použitá literatura

- ✓ VONDRÁK, Vladimír, Jiří HAMPL a Aleš HANUS. *Metalurgie litin: mimopecní zpracování roztavené litiny (očkování, modifikace)*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0777-7.
- ✓ ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. Brno: PC-DIR, 1998. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1263-1.
- ✓ Georg Fischer converter process. *Giessereilexikon* [online]. Dostupné z: <https://www.giessereilexikon.com/en/foundry-lexicon/Encyclopedia/show/georg-fischer-converter-process-4255/?cHash=7e0a58206605f39d7d0922b9d6e0a146>