

## Vývoj technologie výroby odlitků ve Slévárnách Třinec, a.s.

### Development of Technology for Production of Castings in the Foundry Slévárny Třinec, a.s.

Ing. Ervín Marko

Slévárny Třinec, a.s., Průmyslová 1001, 739 61 Třinec-Staré Město, Česká Republika

Odlitky vyráběné ve slévárnách jsou často extrémně zatěžovány dynamickým namáháním, otěrem, různými typy napětí nebo působením teplotního pole. Všechny vlivy je nutno zohlednit v celkovém návrhu technologie výroby a toto vyžaduje použití jak sofistikovaných simulačních programů, tak i dlouholetých zkušeností v praxi. Využití složitých technologických postupů přípravy formovacích směsí, metalurgie výroby kovu, technologie formování, dokončovacích operací v cídárnách a následných destruktivních a nedestruktivních zkoušek je předpokladem pro zajištění předpokládaných užitečných vlastností jednotlivých dílů i celého zařízení. Článek pojednává o směrech řešení v oblasti ovlivňování materiálových vlastností běžně používaných, normovaných slévárenských jakostí pro výrobu různých typů odlitků. Ze široké škály kovových materiálů pro výrobu odlitků ve společnosti Slévárny Třinec, a.s. byly vybrány některé směry řešení problematiky materiálu nízkolegované grafitické oceli, vysokolegované Mn oceli, litiny s kuličkovým grafitem a hliníkové slitiny AlSi8Cu3.

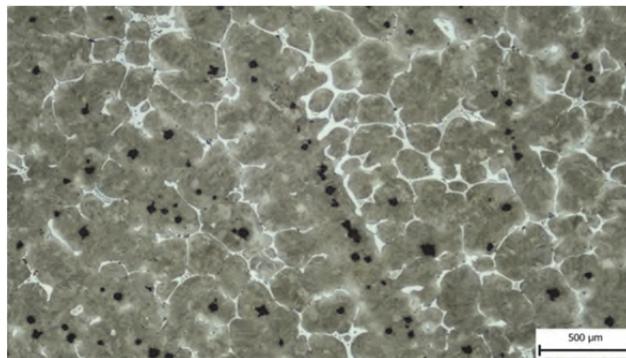
**Klíčová slova:** Grafitická ocel; otěruvzdornost, karbidy; Hadfieldova ocel; austenit; litina s kuličkovým grafitem, modifikace; očkování

The article discusses the directions of solutions in the field of influencing the material properties of commonly used, standardized foundry grades for the production of different types of castings. From a wide range of metal materials for the production of castings in the foundry Slévárny Třinec, a.s. some areas of solutions of the material of low-alloyed graphitic steel, high-alloyed Mn steel, ductile iron and AlSi8Cu3 alloy were selected. The article discusses the main metallurgical ways of influencing the useful properties of castings by heat treatment and the process of crystallization. Low-alloyed graphitic steel used for the production of metallurgical cylinders has undergone austenitisation in the temperature range of 900-1000°C and controlled cooling. The optimum resulting structure consists of eutectic graphite, partially distributed eutectic carbides, newly formed secondary carbides in the pearlitic matrix. For high-alloy Mn (Hadfield) steel, the structure can be optimized by heat treatment. For less dynamically stressed parts, an increase in abrasion resistance can be used by leaving part of the carbides in the structure by incomplete austenitisation. For castings made of ductile iron, the most appropriate way is to influence the mechanical values of alloying to achieve tensile strength up to 800 MPa. For higher strength and high abrasion resistance, heat treatment with austempering into salt baths is suitable. For the AlSi8Cu3 alloy, it was discussed to protect an optimal structure by inoculation and modification.

**Key words:** graphitic steel; abrasion resistance; carbides; Hadfield steel; austenite; ductile iron; modification; inoculation

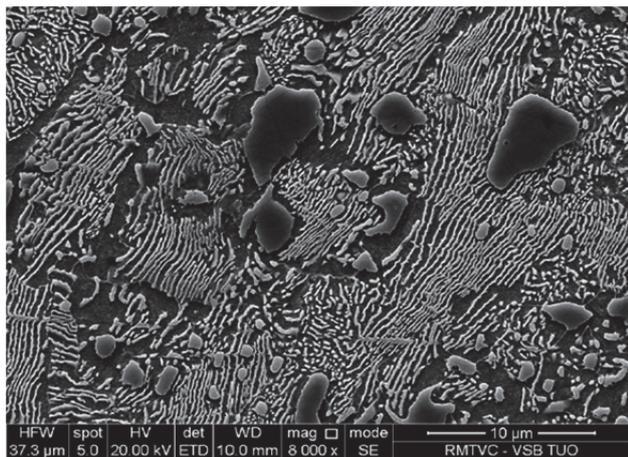
#### 1. Grafitická ocel pro válce

Nízkolegovaná grafitická ocel je dlouhodobě využívána pro výrobu hutních válců ve všech hmotnostních kategoriích pro svoje výjimečné vlastnosti. Optimální poměr strukturních složek zabezpečuje jak vhodné užité vlastnosti jak po stránce dostatečné otěruvzdornosti, odolnosti proti dynamickému namáhání, tak i omezení nalepování válcovaného materiálu na tělo válce. Tato ocel s obsahem C v rozmezí 1,4 – 2,1 % legovaná prvky Cr, Ni, Mo, V, odlévána do kovových kokil, má již v litém stavu vysokou tvrdost blížící se hodnotě 400 HB. Po ztuhnutí je její struktura tvořena eutektickým grafitem a cementitem v perlitické matici (obr. 1).



Obr. 1 Struktura grafitické oceli v litém stavu  
Fig. 1 Structure of graphitic steel in the as-cast state

Pro dosažení zvýšené ořezávací odolnosti při dynamickém namáhání vysokými válcovacími tlaky je nutno následným tepelným zpracováním upravit distribuci karbidů ve struktuře tak, aby část eutektických karbidů byla rozpuštěna při austenitizaci. V průběhu řízeného ochlazování je nutno dosáhnout rovnoměrného rozložení sekundárních karbidů ve struktuře. Tím se dosáhne sice nepatrného snížení tvrdosti o cca 20 HV, ale ořezávací odolnost a houževnatost materiálu v daných podmínkách se výrazně zvýší. Po austenitizaci v rozmezí teplot 900 – 1000 °C a řízeném ochlazování je výsledná struktura tvořena eutektickým grafitem, částečně rozpadlými eutektickými karbidy a nově vzniklými sekundárními karbidy v perlitické matici (obr. 2).



Obr. 2 Distribuce sekundárních karbidů v perlitické matici.

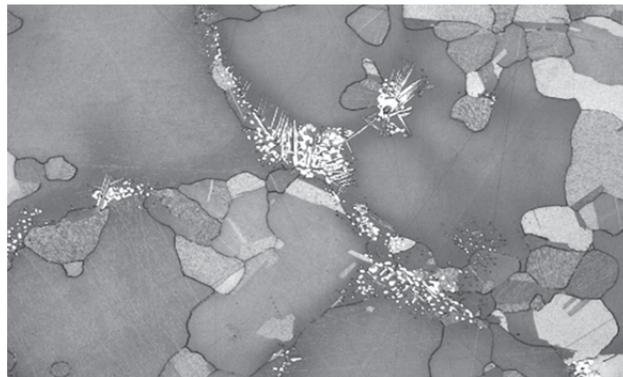
Fig. 2 Distribution of the secondary carbides in pearlitic matrix

## 2. Vysokolegovaná Mn ocel (Hadfieldova ocel)

Pro vysokolegovanou Mn ocel (Hadfieldovu ocel) spočívá základ chemického složení v obsahu uhlíku C 0,9 – 1,4 % a manganu 11,5 – 14 %, přičemž poměr prvků Mn/C má být vyšší než 10. Další záměrně přidávané legující prvky, jako Cr, Ni nebo Mo, mohou částečně zlepšit vlastnosti oceli, jako je ořezávací odolnost nebo prokalitelnost, která se docílí stabilizací karbidů nebo austenitu při rozpouštěcím žhánění z austenitizační teploty 1000 – 1080 °C.

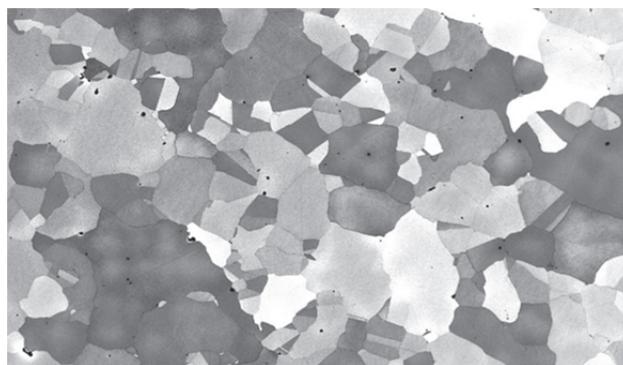
Hlavní předností Hadfieldovy oceli je vysoká houževnatost při normálních i minusových teplotách, která se pohybuje v rozmezí 100 – 200 J (nárazová práce). Dále se využívá důležitá vlastnost zpevnění povrchových vrstev, které jsou vystavené vysokým tlakům nebo dynamickým nárazům. Zpevnění může zvýšit tvrdost povrchových vrstev několikanásobně, takže z počáteční tvrdosti cca 180 HB po rozpouštěcím žhánění se po deformačním zpevnění dosahují hodnoty tvrdosti až 550 HB. Mechanismus zpevnění je v dnešní době nejčastěji vysvětlován dvojčatením a pohybem dislokací přes strukturální poruchy. Zpevněná vrstva dobře odolává dalšímu opotřebení, ale

ztrácí původní houževnatost. Při zvýšeném namáhání pak mohou v důsledku napětí vznikat pod povrchem nebo od povrchu směrem do vnitra materiálu nespojitosti. Drobné prasklinky se pod vlivem zatížení postupně zvětšují, propojují a následně může docházet k vydrolování povrchových vrstev. Pro zajištění maximální odolnosti proti působení vnějších vlivů je nutno znát mechanismus zatěžování a u méně dynamicky namáhaných dílů využívat zvýšení ořezávací odolnosti ponecháním části karbidů ve struktuře (obr. 3). Pro intenzivně dynamicky namáhané díly je nutno zabezpečit čistě austenitickou strukturu s maximální houževnatostí (obr. 4).



Obr. 3 Austenitická struktura Mn oceli s částečně rozpuštěnými karbidy

Fig. 3 Austenitic structure of Mn steel with the partially dissolved carbides



Obr. 4 Austenitická struktura Mn oceli

Fig. 4 Austenitic structure of the Mn steel

Ve výrobním sortimentu ocelových odlitků Sléváren Třinec, a.s. převládají náhradní díly pro drtiče ocelového šrotu (vyložení drticích mlýnů, drticí kladiva). Další segment odlitků z 12 % Mn oceli jsou srdcovky výhybek pro železniční a tramvajové tratě. Srdcovky z manganové oceli se používají jak ve stavu po rozpouštěcím žhánění, tak po následném zpevnění výbuchem. Pokud se po opravování srdcovky zpevní opracované pořížděné plochy výbuchem na hodnotu tvrdosti minimálně 321 HB, nedochází při zajíždění v trati k tvorbě převalků na hranách křídlovky a hrotu výhybky. Příklady vyráběných odlitků železničních a tramvajových srdcovek jsou znázorněny na obr. 5.



Obr. 5 Odlitek tramvajové srdcovky (vlevo) a železniční srdcovky (vpravo)

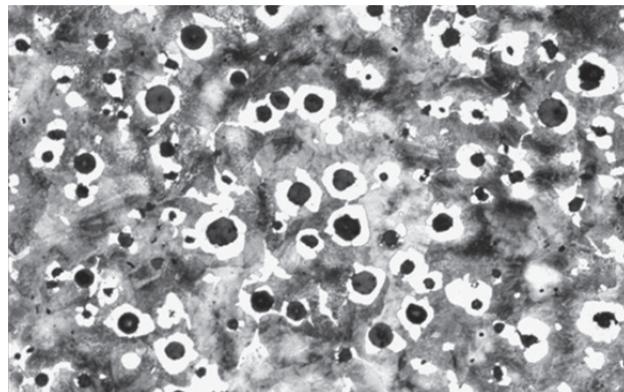
Fig. 5 Tram crossing (left) and railway crossing (right)

### 3. Litina s kuličkovým grafitem (LKG)

V sortimentu drobných a sériově vyráběných litinových odlitků ve Slévárnách Třinec, a.s. se podíl materiálu LKG zvýšil na 50 %. Vzhledem k přednostem materiálu LKG oproti oceli, jako je výrazně lepší odlévatelnost i pro tvarově komplikované tvary, široký rozsah mechanických vlastností, mazací a tlumicí vlastnosti a v neposlední řadě i nižší výrobní náklady, zvyhodňují tento materiál v mnoha průmyslových oblastech.

Chemické složení se nejčastěji pohybuje v tomto rozmezí: 3,3 – 3,8 % C; 2,0 – 3,0 % Si; 0,1 – 0,5 % Mn; max. 0,050 % P; max. 0,015 % S; 0,020 – 0,060 % Mg. Pro zlepšení užitečných vlastností (pevnost, prokalitelnost) se používá dolegování prvky jako Cu, Ni, Mn nebo Mo. Pro dosažení požadovaného tvaru kuličkového grafitu ve struktuře je nutno zabezpečit dodržení metalurgických zásad sestavení kovové vsázky, postupu tavení, modifikace hořčíkovou předslutinou a následným očkováním slitinou na bázi křemíku. Po odlití je výsledná struktura

čistě feritická (při chemickém složení Mn max 0,15 % bez legujících prvků), feriticko-perlitická až čistě perlitická (podle tloušťky odlitku a množství legujících prvků) viz obr. 6.



Obr. 6 Perliticko-feritická struktura litiny s kuličkovým grafitem (LKG)

Fig. 6 Pearlitic-ferritic structure of the ductile iron

Pokud je struktura čistě feritická s obsahem perlitu do 5 % a křemíkem kolem 2 %, je vhodná pro práci za mínusových teplot se zaručením nárazové práce 12 J při teplotě -20 nebo -40 °C.

Dle EN 1563 jsou normovány typy litiny s mezí kluzu min. 220 MPa, pevností v tahu min. 350 MPa a tažností min. 22 % až po typy litiny s mezí kluzu min. 480 MPa, pevností v tahu min. 800 MPa a tažností min. 2 %.

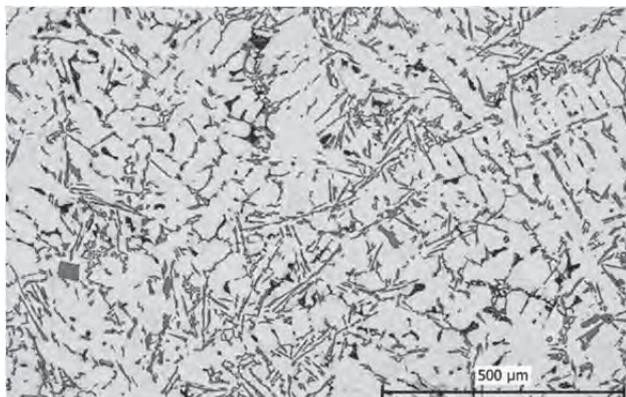
Dodatečným tepelným zpracováním dílů z LKG litin izotermickým kalením do solných lázní lze dosáhnout mnohem vyšších pevností a tvrdostí při zachování dostatečné houževnatosti. Výsledná struktura obsahuje tzv. ausferit a vysokouhlíkový zbytkový austenit do cca 40 %. Takto lze dosáhnout pevnosti v tahu v rozsahu  $R_m = 850 - 1750$  MPa (dle normy ASTM 897M). Izotermicky kalené díly (ADI litina) mají široké uplatnění ve strojírenství nebo nákladní a automobilové dopravě.

### 4. Odlitky z hliníkových slitin

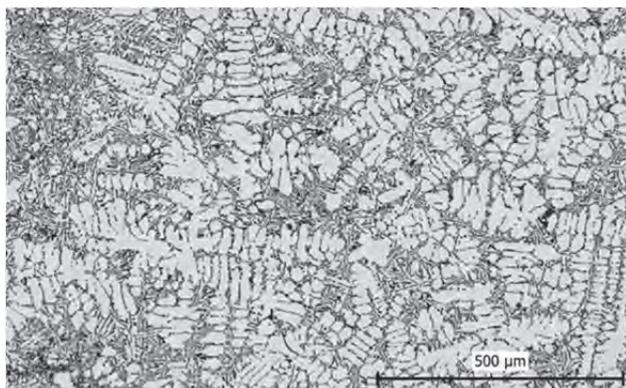
Výroba odlitků z neželezných kovů a především hliníkových slitin celosvětově dlouhodobě rostla až do roku 2019, kdy nastala krize v automobilovém průmyslu. Využití různých typů slitin na bázi Al má svoje opodstatnění z důvodu specifických fyzikálních vlastností. Podstatná je nízká měrná hmotnost Al ( $2700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ), nízká teplota tavení (660 °C), vysoká tepelná a elektrická vodivost, výborná slévatelnost a korozivzdornost. Podle typu legování jsou nejpoužívanější tyto slitiny Al: Al-Si, Al-Si-Cu, Al-Mg, Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg a Al-Zn-Mg. Dle způsobu výroby, legování a tepelného zpracování lze dosáhnout širokého rozpětí mechanických hodnot od pevností v tahu 120 MPa až po 550 MPa (tvářené, precipitačně vytvrzené materiály).

Ve Slévárnách Třinec, a.s. byla výroba odlitků z neželezných kovů směřována do perspektivního oboru zdravotnictví. Jedná se o výrobu odlitků polohovacích zařízení,

kde je nutno mimo dosažení přesných rozměrů a pevnostních charakteristik materiálu dosáhnout i vysokou povrchovou kvalitou. Pro tenkostěnné, rozměrné a tvarově složité díly odlévané do pískových forem to nebyl snadný úkol. Při optimalizaci metalurgie výroby kovu byly vyzkoušeny různé způsoby běžného odlévání jak bez mimopecního ovlivnění tekutého kovu, tak i s ovlivněním očkovaním a modifikací. Přitom účelem očkování je zjemnění primární fáze, a to přidávkem očkovacích tablet na bázi Ti-B do taveniny před odléváním. Vniklé intermetalické fáze zde působí jako krystalizační zárodky. Dále byla vyzkoušena a optimalizována modifikace krystalů Si, a to modifikátorem na bázi Na ve formě exotablet. Výsledkem optimalizace bylo dosažení požadovaných mechanických vlastností při použití modifikace tekutého kovu sodíkem bez očkování. Pro konkrétní tenkostěnné odlitky není nutné další zjemňování (očkování) struktury vzhledem k rychlosti ochlazování a tuhnutí po odlití do pískové formy. Příklad struktury odlévaného materiálu AlSi8Cu3 bez mimopecního ovlivnění je znázorněn na obr. 7. Změna struktury po modifikaci je patrná z obr. 8.



Obr. 7 Jehlice Si ve fázi alfa  
Fig. 7 Si crystal needles in the alpha phase



Obr. 8 Zjemnění a zaoblení krystalů Si po Na modifikaci  
Fig. 8 Refining and rounding of the Si crystals after modification by Na

Provozní výsledky z výroby hliníkových slitin vycházejí z porovnání normovaných hodnot a hodnot dosažených na zkušebních tyčích samostatně odlévaných do pískových forem:

Chemické složení a mechanické vlastnosti slitiny EN AC- $\text{AlSi8Cu3}$ :

7,5 – 9,5 % Si; 2,0 – 3,5 % Cu; 0,15 – 0,65 % Mn;  
max. 0,8 % Fe; zbytek Al

$R_{p0,2}$  = min. 90 MPa

$R_m$  = min. 150 MPa

A = min. 1%

tvrdost min. 60 HB

Rozpětí mechanických hodnot ze samostatně odlitých zkušebních tyčí pro modifikovaný kov:

$R_{p0,2}$  = 125 – 145 MPa

$R_m$  = 170 – 190 MPa

A = 2,0 – 3,5 %

Z tohoto porovnání vychází, že výrobní technologie, kterou využívají Slévárny Třinec, a.s., zcela naplňuje požadované normované hodnoty fyzikálních vlastností, ale navíc je i vysoce převyšuje.

## Závěr

Pro dosažení optimálních mechanických a fyzikálních vlastností je zapotřebí poznat jak konkrétní podmínky použití a zátěže konkrétních odlitků, tak metody ovlivňování fyzikálních vlastností vyráběných materiálů. V článku bylo pojednáno o hlavních metalurgických způsobech ovlivňování fyzikálních a užitných vlastností odlitků tepelným zpracováním, legováním a mimopecním ovlivňováním krystalizace.

## Literatura

- [1] JOPEK, T. *Výzkum výroby kalibrových válců s vyššími užitnými vlastnostmi.* (VÚ č.28/18/SL) Třinec: Slévárny Třinec, a.s., 3/2020.
- [2] MALYSZ, R. *Výzkum materiálu Mn srdcovek určených pro zpeňování výbuchem.* (VÚ č. 31/20/SL) Třinec: Slévárny Třinec, a.s., 2020.
- [3] MALYSZ, R. *Výzkum metalurgie a tepelného zpracování ADI – litiny.* (VÚ č.21/14/SL) Třinec: Slévárny Třinec, a.s., 11/2016
- [4] MALYSZ, R. *Výzkum výroby odlitků ze slitin na bázi Cu a Al.* (VÚ č.27/16/SL) Třinec: Slévárny Třinec, a.s., 6/2018.