

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA MASIVNÍCH OCELOVÝCH ODLITKŮ – POUŽITÍ, VÝROBA A VLASTNOSTI

MANUFACTURE OF HEAVY STEEL CASTINGS - APPLICATION, MANUFACTURING AND
PROPERTIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB NĚMEČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. ANTONÍN ZÁDĚRA, PH.D

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jakub Němeček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Výroba masivních ocelových odlitků - použití, výroba a vlastnosti

v anglickém jazyce:

Manufacture of heavy steel castings - application, manufacturing and properties

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výroba masivních odlitků je zvláštní oblastí ve výrobě ocelových odlitků. Masivní odlitky nacházejí použití v oblasti energetiky, chemického a hutního průmyslu a jako součásti větších strojních celků, jako jsou lisy apod. Jejich vlastnosti jsou značně ovlivněny dlouhou dobou tuhnutí odlitků, což v podstatné míře omezuje jejich tvarovou složitost a materiálové vlastnosti odlitku.

Cíle bakalářské práce:

Provést rešerši na téma použití masivních odlitků v průmyslové praxi, jejich vlastností a podmínek pro jejich výrobu.

Seznam odborné literatury:


1. ŠENBERGER, J., aj. Metalurgie oceli na odlitky. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Nakladatelství Vutium, 2008. 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9.
2. ELBEL, T., aj. Vady odlitků ze slitin železa (klasifikace, příčiny a prevence). 1. vyd. Brno: MATECS, 1992. 340 s.
3. ČECH, J., ZÁDĚRA, A., aj. Vady masivních ocelových odlitků. Slévárenství. 2010. roč. 58, č. 5-6, s. 141-144. ISSN 0037-6825.
4. ŠENBERGER, J., ZÁDĚRA, A., aj. Použití simulace tuhnutí při výrobě těžkých odlitků. Hutnické listy. 2009, roč. LXII, č. 5, s. 81-86. ISSN 0018-8069.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Antonín Záděra, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.


prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu




prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce byla vypracována v rámci prezenčního studia v oboru B-STI Strojního inženýrství. Předložená práce měla jako hlavní cíl provést rešerši na téma pojednávající o použití, vlastnostech a výrobě masivních ocelových odlitků. Převážná část bakalářské práce byla věnována výrobě a vadám, které jsou pro masivní odlitky často specifické.

Klíčová slova

Masivní ocelový odlitek, model, forma, vady

ABSTRACT

Bachelor's thesis was developed in full-time courses in B-STI Mechanical Engineering. The present work had as main goal to search on the topic of dealing with the use, production and properties of heavy steel castings. Most of the thesis was devoted to manufacturing and defects that are often specific massive castings.

Key words

Heavy Steel Casting, model, form, defects

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NĚMEČEK, J. Výroba masivních ocelových odlitků – použití, výroba a vlastnosti. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 28s., Ing. Antonín Záděra, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba masivních ocelových odlitků – použití, výroba a vlastnosti vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

27. 5. 2011

.....
Jakub Němeček

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Antonínu Záděrovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
Úvod	8
1 Použití masivních ocelových odlitků	9
2 Výroba masivních ocelových odlitků.....	12
2.1 Výroba ocelí	12
2.1.1 Výroba oceli v ocelárnách.....	12
2.1.2 Výroba oceli ve slévárnách.....	12
2.2 Podstata výroby odlitků	14
2.3 Technologický tok oceli ve slévárně	15
2.3.1 Technická příprava výroby.....	15
2.3.2 Modelové zařízení	15
2.3.3 Výroba forem.....	15
2.3.4 Příprava formovacích směsí.....	16
2.3.5 Odlévání.....	18
2.3.6 Dokončovací operace při výrobě odlitků.....	19
2.3.7 Tepelné zpracování	20
3 Vlastnosti Masivních ocelových odlitků	21
3.1 Vady masivních ocelových odlitků.....	21
Specifické vady masivních ocelových odlitků.....	25
3.1.1 Segregace a vycezeniny	25
3.1.2 Lasturové lomy	25
3.1.3 Praskliny a trhliny	26
Závěr.....	27
Seznam použitých zdrojů	28

ÚVOD

Výroba masivních ocelových odlitků je spojena s velkými slévárnami a modelárnami a s jejich technickými a technologickými možnostmi, tedy s dlouholetým a postupně budovaným know-how.

V odborné literatuře se u velkých odlitků setkáváme s vymezením rozměrů od 1 m a hmotnostně od 500 kg a výše. U takto definovaných odlitků je nutné respektovat ještě další kritéria, jako je tloušťka stěny, složitost tvarů, požadovaná rozměrová přesnost, vnitřní jakost, mechanické vlastnosti. Výroba těchto odlitků je pak ovlivněna faktory, se kterými se u jiných typů odlitků nesetkáme. Specifické je i to, že se zpravidla jedná o kusovou nebo malosériovou výrobu odlitků, jejichž cena je značná a výroba náročná. Zmetkový odlitek znamená podstatnou ztrátu jak pro slévárnu a modelárnu, tak i pro odběratele. Proto jsou k dispozici kontrolní a opravné postupy. Pro snížení rizika vad je samozřejmostí využívání programů na simulaci lití, tuhnutí a predikci napětí. Kusová a malosériová výroba – a v mnoha případech i výroba unikátních odlitků – klade rovněž vysoké nároky na pracovníky a slevače. Vedle teoretických znalostí je potřeba i dlouholetá zkušenost. Mnohdy však ani to nestačí a je nutná spolupráce s vědeckými pracovníky. [1]

1 POUŽITÍ MASIVNÍCH OCELOVÝCH ODLITKŮ

Masivní ocelové odlitky byly a vždy budou spojovány s rozvojem velkých strojů a zařízení. V minulosti byl průmysl v Čechách a posléze i na Slovensku orientován na výrobu obráběcích a tvářecích strojů, strojů a zařízení pro energetiku, zbrojní výrobu, které si vyžádali produkci odpovídajících masivních ocelových odlitků. V dnešní době výroba masivních ocelových odlitků zahrnuje odlitky mimo jiné pro následující průmyslová odvětví [1].

- Hutní průmysl - komponenty pro povrchovou a důlní těžbu, výrobu koksu a surového železa.
- Chemický průmysl
- Cementárny - nosné kruhy, kladky, osy kladek, těžební stroje, ...



Obrázek 1.1 Nosič kladek

- Zařízení válcoven - hlavní poháněcí vřetena, stojany válcovacích stolic,...



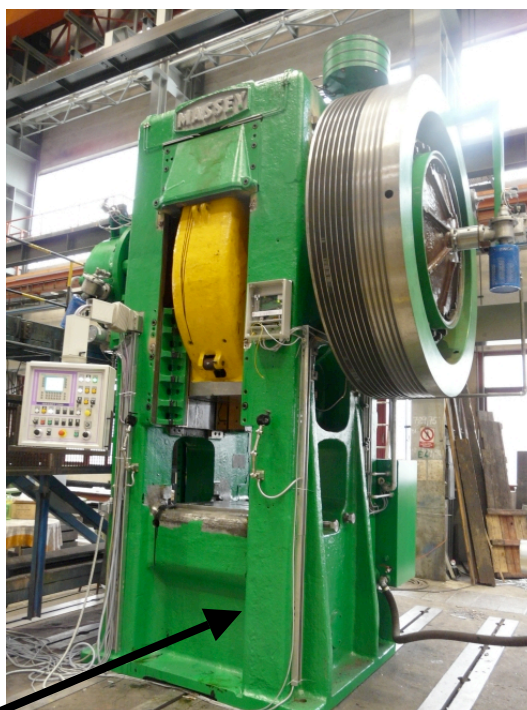
Obrázek 1.2 Zařízení válcoven [2]

- Vodní energetika - komponenty pro výrobce parních, plynových a vodních turbín.



Obrázek 1.3 Parní turbína firmy Škoda Power [3]

- Tvářecí stroje - díly pro válcovny, těžké lisy, buchary a mnoho dalších aplikací.



Obrázek 1.4 Tvářecí stroj [4]

Rám stroje tvoří masivní ocelový odlitek



Obrázek 1.5 Beran lisu



Obrázek 1.6 Rám lisovacího stroje

- Lodní průmysl - *ojnice, pístnice, víka válců, hlavy motorů,...*
- Železniční průmysl - *podvozky vlaků,...*

2 VÝROBA MASIVNÍCH OCELOVÝCH ODLITKŮ

Tvar odlitku udává pracnost při výrobě, má vliv na jakostní i výrobní cenu odlitků. O tomto tvaru rozhoduje konstruktér při volbě materiálu a se zřetelem k funkci odlitku.

Výroba těžkých ocelových odlitků má charakter kusové výroby. Proto je nutno odpovědně řešit konstrukci, zejména uvážíme-li rozdělení výrobního času: formíři asi 35%, jádraři asi 25%, vyčištění odlitku od písku a okují po tepelném zpracování asi 40%. Z toho vyčištění vnitřní části odlitku trvá často pětkrát až desetkrát déle než čištění vnější části odlitku.

Váha odlitku je určována jednak rozměry a tloušťkou stěn, jednak volbou značky oceli. Slévárenský technolog musí kromě běžných přísad na opracování a konstrukčních úkosů určit rozsah technologických přísad, kterými zajišťuje dosažení rozměru odlitku podle výkresu.

Při kusové výrobě těžkých ocelových odlitků nelze stále zlepšovat výrobní postup od prvního zkušebnímu kusu se zřetelem ke značným finančním nákladům.[5]

2.1 Výroba ocelí

2.1.1 Výroba oceli v ocelárnách

Výroba oceli v ocelárnách je vyráběna rudnou nebo tzv. šrotovou cestou. V případě rudné cesty je vyráběno surové železo na vysokých pecích, které je dále zpracováno – zkujněno nejčastěji na kyslíkových konvertorech.

Surové železo vyrobené ve vysokých pecích má poměrně vysoký obsah uhlíku a dalších nežádoucích prvků jako např. síra nebo fosfor. Zejména uhlík způsobuje, že surové železo je křehké a nedá se zpracovávat kováním a tažením. Proto se prakticky všechno surové železo dále upravuje tak, aby získalo požadované mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. Tato úprava pomocí změny chemického složení, tváření a tepelného zpracování dává širokou paletu vyráběných ocelí.

Moderní metodou výroby ocelí ze surového železa jsou LD konvertory, do kterých je místo vzduchu vháněn kyslík tryskami svrchu skrz strusku. Vyrobena ocel je pak dále odlévána v současnosti nejčastěji postupy kontinuálního odlévání, příp. je odlévána do ingotů [6].

2.1.2 Výroba oceli ve slévárnách

Na zpracování většího množství ocelového šrotu jsou určeny obloukové pece (obr. 1.5), kde jako zdroj tepla slouží elektrický oblouk mezi grafitovými elektrodami a vsázkou. Využívají se ale i metody mimopecního zpracování oceli v pánvích za atmosférického tlaku nebo vakua.



Obr. 1.5 Elektrická oblouková pec 25 t v ocelárně Poldi Hütte, Kladno. Grafitové elektrody a klenba pece jsou zdviženy před nasazením nové vsázky.

Foto J. Hodan, 2006 [6]

Existuje několik možností snižování koncentrace nežádoucích látek při výrobě ocelí. První z nich je jejich oxidace kyslíkem, který je vháněn do taveniny. Oxidací je odstraňován zejména uhlík, který přechází do plynné formy.

Druhou možností odstranění nežádoucích látek (plynů) z ocelí je snížit jejich parciální tlak v atmosféře. Dmýcháním inertních plynů (argon, dusík) nad taveninu nebo tavením ve vakuu se odstraňuje vodík, dusík a prvky s nízkou teplotou varu. Snížení obsahu kyslíku na řádově desetitisíciny procenta se provádí přidáním prvků, které mají v tavenině vyšší afinitu ke kyslíku než železo. Jako dezoxidační činidla se používají hliník a křemík, které na sebe navážou kyslík a pak přejdou do strusky. Jinou metodou dezoxidace jsou použití prvků vzácných zemin, které se v roztavené oceli intenzivně slučují s kyslíkem a tvoří stabilní oxidy, případně vyloučení plynů z taveniny pomocí vakua.

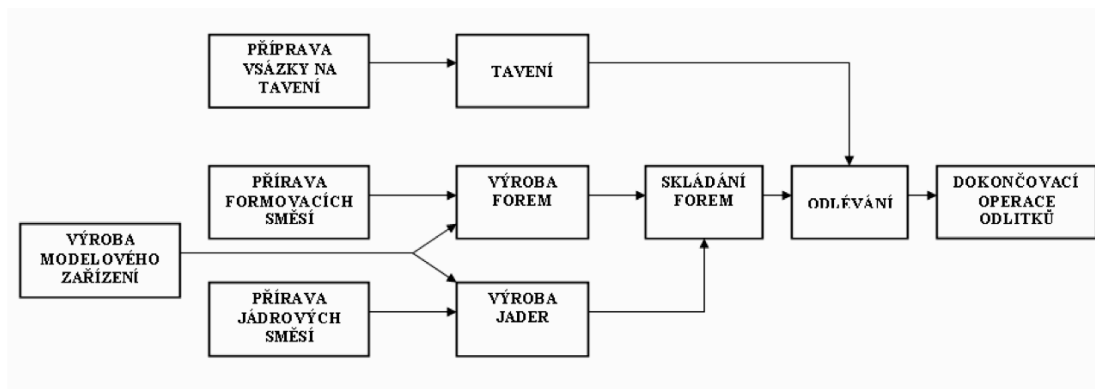
Dezoxidovaná ocel se dále metalurgicky zpracovává. Přejodem do strusky nebo vazbou na stabilní sulfidy (Ca, Ce, La aj.) se snižuje obsah síry. V průběhu celé tavby zároveň probíhá legování ocelí - jsou přidávány prvky, které upravují a zlepšují výsledné vlastnosti oceli. Prvky s nižší afinitou ke kyslíku než železo (Ni, Mo, W) se přidávají už před oxidačními procesy, protože nemůže dojít k jejich vyvázání a lépe se v tavenině promísí. Naopak prvky s vyšší afinitou ke kyslíku, jako jsou Mn, Cr, V, Si, Al, Nb a Ti se přidávají až v závěru tavby nebo po odpichu do pánve, aby jejich ztráty oxidací byly co nejmenší [6].

2.2 Podstata výroby odlitků

Jedna z nejkratších cest umožňující přechod od surovin k výrobku je odlévání, kdy je výrobek vytvářen přímo z roztavené kovové slitiny. Odlévání je způsob výroby, součásti nebo předmětu, kdy se roztavený kov nebo jiný roztavený materiál vlije do formy, jejíž dutina má tvar a velikost budoucího výrobku. Výrobek vzniklý ztuhnutím tekutého kovu ve formě nazýváme odlitkem.

Odlitek může být někdy hotovým výrobkem – součástí, nebo se ještě dále mechanicky obrábí. Při výrobě součástí odléváním může konstruktér ve velmi krátké době uskutečnit svoje představy, přičemž proti jiným výrobním technologiím má podstatně větší volnost v tvarování výrobku. Výroba součástí odléváním umožňuje skoro ideální přizpůsobení tvaru výrobku jeho využití a často i spojení několika součástí do jediného celku. Tím lze dosáhnout vynikající tuhosti výrobku a značného zhuštění výroby. Zvláště velkých úspor pak dosáhneme tehdy, jestliže použijeme zvláštních výrobních technologií, při kterých jsou dosaženy úzké rozměrové tolerance a vysoká hladkost povrchu, takže obrábění lze omezit jen na nejdůležitější části výrobku. Při obrábění odlitků vzniká asi 10 až 60% odpadu, kdežto při obrábění tvářených materiálů dosahuje množství odpadu až 80%. V některých odvětvích výroby, zvláště pak ve strojírenství, patří výroba součástí odléváním mezi přední výrobní technologie a u některých strojírenských oborů tvoří odlitky dokonce převážnou část hmoty výrobku [7].

2.3 Technologický tok oceli ve slévárně



Obrázek 2.1 Technologický postup ve slévárně [7]

2.3.1 Technická příprava výroby

Modely, jaderníky a trvalé formy se vyrábějí v modelárnách, které často bývají součástí slévárenských závodů. Základními podklady pro výrobu modelového zařízení jsou postupový výkres odlitku a potvrzená objednávka. Podle zvolené technologie, objednaného množství odlitků a předepsaných požadavků (přesnost, vnitřní a povrchová jakost odlitku) se volí materiál modelového zařízení a navrhuje technologie výroby odlitků [7],[8].

2.3.2 Modelové zařízení

K zhotovení formy je nutné modelové zařízení (model a jaderníky) s jehož pomocí se dosáhne požadovaných tvarů formy. Rozměry modelu musí být zvětšeny o velikost smrštění kovu v průběhu chladnutí a tuhnutí. Model musí být opatřen technologickými přídávky a přídávky na obrábění. Model může být trvalý nebo netrvalý. Trvalý model je vyráběn obráběním a to ze dřeva, nebo z kovu. Netrvalý model je vyráběn vstřikováním nebo lisováním do kovové formy (voskový nebo polystyrénový model). Při výrobě masivních odlitků jsou používány nejčastěji dřevěné modely. Některé části, příp. celé odlitky mohou být vyrobeny i z polystyrenu. Důvodem použití polystyrenových modelů je snížení nákladů na výrobu modelu [7],[8].

2.3.3 Výroba forem

Klasické odlitky odléváme převážně do netrvalých, jednorázových forem (z pískové nebo keramické směsi) Po odlití se forma rozbije a směs může sloužit pro opakovaně pro výrobu nové formy. Další možností je výroba odlitků do forem trvalých - kovové kokily. Jsou z vysoce tepelně vodivých materiálů (z litiny, oceli, mědi, grafitu,...) do kterých lze odlít celou řadu odlitků (30 až

250ks) Kromě toho existují i formy polotrvalé, lze do nich odlít více než 1 kus, ale po každém odlití forma potřebuje opravu a přesušení.

Masivní odlitky jsou vyráběny do netrvalých forem. Model odpovídá svým tvarem vnějšímu povrchu odlitku, který se vytvoří jeho zaformováním a opětovným vytažením z formovací směsi (model je pozitiv zvětšený o smrštění, forma negativ a odlitek opět pozitiv zmenšený o smrštění). Vytažením modelu se ve formě vytvoří dutina požadovaného tvaru, která je po odlití vyplněna kovem. Vnitřní dutiny odlitku se vytvoří jádru, která je nutno zhotovit ve zvláštních jadernících. Jaderníky jsou opět nejčastěji ze dřeva a jejich vnitřní tvar odpovídá tvaru požadované dutiny v odlitku zvětšenou o smrštění odlitku v průběhu chladnutí. Založením jader do formy je vytvořena dutina pro kov, která vnějším i vnitřním povrchem odpovídá vyráběnému odlitku [7],[8].

2.3.4 Příprava formovacích směsí

Formovací směs může být:

- Modelová – připravovaná z nových surovin, při pěchování se obkládá model a přichází do styku s tekutým kovem.
- Výplňová – výplň zbývajícího objemu formovacího rámu (kesonu při formování do země) nebo vnitřní část jádra, připravovaná z vratné, již použité modelové směsi.
- Jádrová – tvoří celý objem, nebo jen lícni část (pracovní povrch) jádra. Připravuje se z pravidla z nových surovin. Po stránce jakosti jsou na ni kladeny vyšší nároky, nežli u směsi modelové (vyšší odolnost vůči penetraci kovu, dobrá rozpadavost po odlití, delší skladovatelnost jader).
- Jednotná – používá se při technologii jednotných bentonitových směsí, strojní výrobě forem, kde celý objem formovacího rámu tvoří jediná směs (není dvojrstvá forma). Je to už jednou nebo vícekrát použitá směs po úpravě v každém oběhovém cyklu (vychlazení, oživení, ovlhčení) [8]

Formovací směs obvykle tvoří tři složky: **ostřiva, pojiva a přísady**.

Ostřivo má ve směsi hlavní objemové zastoupení. Je to zrnitý žáruvzdorný materiál s velikostí částic 0,02 mm. Tvoří materiálový skelet forem a jader, a proto vedle aktivity povrchu zrn patří k jeho nejdůležitějším vlastnostem hranatost a granulometrie částic. Obě poslední charakteristiky rozhodují o objemové hmotnosti, porovitosti a tedy i prodyšnosti a propustnosti směsi, tepelné dilataci a vzniku napětí z brzděné dilatace, tepelné vodivosti směsi a dokonce do značné míry ovlivňují pevnost forem a jader. Nejběžnějším druhem ostřiva je křemičitý písek. V řadě případů je však nutné používat i jiné

druhy ostřiv jako jsou např. chromit, olivín, dunit apod. Důvodem jejich použití jsou např. požadavky na vyšší žárovzdornosti ostřiva, vyšší tepelnou vodivost ostřiva nebo jeho nereaktivnosti vůči odlévanému kovu [7].

Pojivo je látka nebo směs látek tvořící pojivovou soustavu formovací směsi, která se jemně rozprostře po jednotlivých zrnech ostřiva a váže je dohromady. Pojivo dodává formovací směsi pevnost za syrova (vaznost) i plastičnost nutné pro formování, pevnost po vytvrzení (vysušení), i za vysokých teplot při lití. Obvykle se pojiva dělí na anorganická a organická. Podle druhu použitého pojiva a také podle historického vývoje. Rozlišují se formovací směsi čtyř generací:

- Směsi I. generace – využívají jílových, anorganických pojiv. Začaly se používat již v raném stadiu slévárenství jako přirozené formovací písky
- Směsi II. generace - využívají se anorganická i organická pojiva. Přes nesporné výhody jsou tyto směsi problematické v souvislosti se vznikem škodlivých emisí a vzniklé odpadní písky jsou zařazeny jako nebezpečné odpady.
- Směsi III. generace – pracují bez pojiv, protože k výrobě formy používají fyzikálních principů – magnetismus, vakuum, zmrazení
- Směsi IV. Generace – využívají k pojení písku mikrobiologické procesy. Zatím pouze ojediněle, avšak jeví se velmi perspektivně [7].

Z organických pojiv se v minulosti používaly oleje a sacharidy, dnes jsou to umělé pryskyřice. Dávají vysoké pevnosti po vysušení nebo vytvrzení směsi a mají velmi dobrou rozpadavost po odlití (termodestrukce pojiva) a proto se používají jako modelové i jádrové směsi.

Z anorganických pojiv se nejčastěji používají jíly, méně častěji vodní sklo a cement [7].

Přísady – přidávají se do formovacích materiálů ke zlepšení vlastností. Jde o látky neplastické a plastifikátory.

- **Neplastické látky** (křemenná moučka, šamotová moučka) jsou velmi jemné a vyplňují mezery mezi zrny formovacích písků. Tím se sice zlepšuje povrch odlitku, ale klesá prodyšnost formy.
- **Plastifikátory** (dextrin, glukóza, sulfitový louh) zlepšují plastické vlastnosti směsí a také jejich prodyšnost. Sacharidy zároveň zmenšují osychání formovacích směsí. Kromě toho existuje i určitá skupina přísad pro zlepšení rozpadavosti směsí s anorganickými pojivy [7].

Pomocné látky – nejsou přímo obsaženy ve formovacích materiálech, ale používají se při výrobě nebo úpravě forem a jader. Jsou to dělicí prostředky, lepidla, postřiky a nátěry.[7]

Dělicí prostředky- (separátory) mají chránit povrch modelového zařízení a usnadnit vyjímání modelu z formy nebo jádra z jaderníku, či do dělicí plochy formy nebo klínů [7].

Lepidla- slouží ke skládání složitějších jader z jednotlivých částí.

Nátěry a postřiky – jejich úkolem je vytvořit tenkou vrstvu, která by odolávala působení roztaveného kovu. Nátěry a postřiky jsou několika fázové heterogenní systémy skládající se nejčastěji z výplňové hmoty, pojiva, nosné kapaliny a přísad. Každá z těchto složek má svou funkci, která pak komplexně působí při procesu vytváření jakostního odlitku. U odlitků z oceli se jako plnivo do nátěrů používá křemenná moučka, mullit, mletý korund, forsterit, kalcinovaný AL_2O_3 , silimanit, zirkonový prášek, disperzní kovový prášek aj. [7],[9].

Při výrobě masivních odlitků se používají netrvalé formy. Jako pojiva je nejčastěji používáno furanové pryskyřice (organická pojiva). Pro výplňovou směs je jako ostřivo používán křemičitý písek. S ohledem na dlouhou dobu tuhnutí masivních odlitků a zvýšené požadavky na žárovzdornost a větší odvod tepla z odlitku do formy je používán pro modelovou směs nejčastěji chromit. Příprava těchto směsí je prováděna na kontinuálních mísičích, které jsou schopny připravit i více než 60 až 80t směsi za hodinu.

2.3.5 Odlévání

Natavený kov se z pece odlévá do licích pánví, z kterých se kov dále odlévá do formy. Pánve se dělí podle způsobu odlévání na pánve s horní a spodní výpustí. Při odlévání horem se kov odlévá naklopením pánve. V případě odlévání se spodní výpustí se kov odlévá spodním otvorem - výlevkou, která se ucpává grafitovou zátkou na tyči (ocel). V poslední době se u větších ocelářských pánví používají šoupátkové uzávěry. Jejich použití souvisí s aplikací sekundární metalurgie. Je-li kov zpracován těmito pochody, pak kov setrvává v této pánvi i více než dvě hodiny. Zajištění životnosti zátkové tyče po takto dlouhou dobu není možné a jediným řešením je tak v podstatě použití šoupátkového uzávěru.

Vlastní pánve se svařují nebo nýtují z plechu. Menší pánve jsou vymazány žáruvzdornou hlinou, větší pánve jsou vyzděny žáruvzdornou vyzdívkou. Před použitím je nutno pánve předeřhát do červeného žáru [7].

2.3.6 Dokončovací operace při výrobě odlitků

- Uvolňování odlitků ze slévárenských forem – odlitky se ponechávají chladnout ve slévárenské formě tak dlouho, až jejich teplota dosáhne teploty stanovené technologem. K uvolňování těžkých odlitků, odlitých do forem zhotovených v půdě slévárny, se používají mostové jeřáby [9].
- Odstranění jader a hrubé očištění odlitku - čištění těžkých ocelových odlitků zabírá nezřídka více než 50% z celkového výrobního času odlitku. Zatím nejúčinnějším zařízením k odstranění písku a jader z těžkých odlitků je vodní tryskač, který používá k řezání jader tlaku vody 160 až 180 atmosfér, k vyplachování se použije nižšího tlaku. Z ekonomického hlediska je vhodné používat vodní tryskače jen k hrubému čištění. Mezi nejúčinnější způsoby odstraňování zapečenin patří vypalování elektrickým obloukem pomocí uhlíkové elektrody. Uhlíková elektroda může být dutá (s vyvrtnou dírou). Její podélnou dutinou prochází stlačený vzduch, jímž se natavený kov odfukuje. K tomu je zapotřebí velmi výkonného svařovacího stroje, nejlépe 1000 A, s možností plynulé regulace až na 500 A podle požadované intenzity. Tento způsob je hygienicky nezávadný, zvláště je-li natavované místo přístupné pro odsávací zařízení, které lze natáčením přiblížit k místu zdroje. Nejběžnějšími prostředky k čištění zůstávají i nadále ruční nástroje pneumatické a elektrické. Stále více se uplatňují pneumatické brusky. Tenkých brusných kotoučů se s úspěchem používá nejen k povrchové úpravě odlitků, ale i k řezání, k odstraňování švů a výronků [9].
- Odstraňování nálitků a vtoků - velké nálitky se odstraňují různými způsoby podle značky oceli, podle tvaru odlitku a velikosti průřezu nálitku u kořene. Nejběžnějším způsobem odstraňování nálitků je řezání plamenem. Jiným způsobem odstraňování nálitků o velkých průřezích je utavování kyslíkem. Obou uvedených způsobů nelze použít pro legované odlitky a pro odlitky s vysokým obsahem uhlíku, které jsou při místním nahřátí náchylné k praskání. V těchto případech se nálitky odstraňují mechanicky, i když je tento způsob zdlouhavý a nákladný. Mechanicky se provádí odstraňování:
 - a) Urážením ručně kladivem, závažím na jeřábu, apod.,
 - b) Odřezání na okružních pilách
 - c) Odřezávání na pásových pilách
 - d) Odřezávání na pilách s karbonovými kotouči
 - e) Na obráběcích strojíchV případě masivních odlitků a tedy i masivních nálitků není jiný použitelný způsob než použití kyslíkového příp. plamenem. Pro snížení

rizika vzniku trhlin a prasklin je používán předeřev odlitku a nálitku. Aby nebylo nutné provádět ohřev je často používáno řezání nálitku během chladnutí odlitku. Během chladnutí odlitku ve formě je sledována teplota kovu v nálitku a odlitku a při dosažení požadované teploty je provedeno odstranění nálitku.

- Konečná úprava odlitků – odstraňování zbytků po nálitcích a v tocích, odstraňování výronků, popřípadě přitavených chladítek, zapečeného písku apod. K tomuto účelu se používají pneumatická kladiva, elektrické brusky. K broušení těžkých odlitků se používá kyvadlová bruska, zavěšená obvykle na otočném jeřábu, portálu apod. [5],[9].

Takto vyrobené odlitky se obvykle podrobují tepelnému zpracování [9].

2.3.7 Tepelné zpracování

Odlitky v surovém, tepelně nezpracovaném stavu mají určité mechanické a fyzikální vlastnosti, které jsou dány jednak chemickým složením materiálu odlitku, jednak charakterem vnitřní struktury, jejíž tvorba byla ovlivněna podmínkami tuhnutí kovové taveniny ve slévárenské formě. Proto se během výroby odlitků dělají taková technologická opatření (ovlivňování krystalizace, řízené tuhnutí apod.), aby požadované vlastnosti odlitku byly dosaženy již během jejich tuhnutí a ochlazování, poněvadž každá další technologická operace zvyšuje výrobní náklady. I když v tomto směru jsou ještě značné nevyužití možnosti, lze v mnohých případech dosáhnout požadovaných vlastností pouze tepelným zpracováním odlitků [9].

Žihání k odstranění zbytkových napětí v odlitcích

To žihání je nejjednodušší způsob tepelného zpracování. Jeho podstata je v zahřátí odlitků na kritickou teplotu přechodu materiálu z oblasti pružných deformací do oblasti plastických deformací (u uhlíkových ocelí asi 620 °C) v dostatečně dlouhé prodlevě na této teplotě, aby se teploty v průřezu odlitku vyrovnaly (asi jednu hodinu na 25 mm tloušťky stěny odlitku), a pak následného ochlazení na normální teplotu. Během tohoto ochlazování vznikne sice v odlitku tepelné napětí, jehož velikost bude v každém okamžiku úměrná rozdílu teplot v průřezu odlitku, avšak toto napětí je dočasné, po vyrovnání teplot zmizí [9].

Žihání na měkko

Účelem tohoto žihání je snížit tvrdost a zvýšit obrobitelnost těžko obrobitelných materiálů odlitků [9].

Normalizační žíhání

Toto žíhání je nejběžnější a nejobvyklejší způsob tepelného zpracování odlitků z uhlíkatých ocelí. Jestliže odběratel výslovně nepožaduje jiný způsob tepelného zpracování, pak výrobce tyto odlitky normalizačně žíhá. Normalizačním žíháním se dosáhne podstatného zjemnění původní lici struktury, což má za následek výrazné zvýšení hodnot tažnosti, vrubové houževnatosti a meze kluzu [9].

3 VLASTNOSTI MASIVNÍCH OCELOVÝCH ODLITKŮ

Masivní ocelové odlitky jsou specifické především svojí tloušťkou stěny, požadovanou přesností, hmotností i cenou. Charakteristické jsou také vadami, které se u nich vyskytují.

3.1 Vady masivních ocelových odlitků

Problém výskytu vad u masivních ocelových odlitků je stejně starý jako jejich výroba. Obecně se všichni výrobci masivních odlitků setkávají s problémy způsobenými pomalým chladnutím a tuhnutím odlitků. V důsledku toho jsou masivní odlitky postiženy nejen běžnými vadami souvisejícími např. s rozměrovou přesností apod., ale i vadami typickými pouze pro masivní odlitky. Některé typy těchto vad vedou k neshodám s technickými dodacími podmínkami. Mezi tyto neshody patří např. neprůchodnost ultrazvukových vln způsobená hrubozrnnou strukturou a primárním (licím) zrnem, s čímž přímo souvisí segregace příměsí, legujících prvků a následný výskyt vycezenin. Dále jsou to indikace lineárních vad při nedestruktivních zkouškách související s oslabením primární struktury z podobných, výše uvedených důvodů. S hrubozrnnou strukturou v silnostěnných průřezích souvisí také nižší mechanické vlastnosti oceli v masivních průřezích hutních polotovarů.

Výše uvedené vady a zhoršení mechanických vlastností v silnostěnných průřezích odlitků způsobují zvýšení nákladů na opravy, tepelné zpracování, nebo v některých případech i neshodné výrobky. Opravy jsou často náročné a často zvyšují výrobní náklady. Zvládnutí technologie, která umožňuje vyrábět masivní odlitky s menším rozsahem vad a snižuje náročnost oprav a výrobní náklady, představuje pro výrobce významnou konkurenční výhodu [10].

Příčiny vzniku vad

Vady odlitků jsou většinou výsledkem několika příčin a jejich společného působení. Mnoho příčin pramení již z konstrukce odlitku, jak z jeho nevhodně zvoleného tvaru, tak i materiálu. V tomto směru stále platí, že je nutná dobrá spolupráce slévárenských techniků s konstruktéry při posuzování technologičnosti konstrukce. Další příčiny vzniku zmetku vznikají v metalurgii.

Velká část zmetků bývá navržena nesprávně navrženým výrobním postupem odlitku. Znamená to správnou volbu přísadků, úkosů, nálitků, vtokové soustavy, ale i formovacích materiálů, chlazení odlitků apod. Součástí dobře fungující technické přípravy výroby je i výroba dobrého modelového zařízení a náradí. Nejčastější příčinou vzniku vad odlitků bývá nedodržení technologické kázně na všech úsecích výroby: v přípravě formovacích materiálů a tavírně, jaderně, formovně, čistírně, při skladování odlitků i v jejich expedici [11].

Rozdělení vad

Vadou odlitku se rozumí každá odchylka vzhledu, tvaru, rozměru, hmotnosti, struktury a vlastností zjištěných laboratorními, či jinými zkouškami od sjednaných technických podmínek, popřípadě od norem, které s výrobou příslušného typu odlitku souvisejí [12]. Vady odlitků tak mohou být:

Zjevná vada

Zjevná vada odlitku je vada, kterou je možné zjistit při prohlídce neobrobeného odlitku prostým okem, nebo jednoduchými pomocnými měřidly [12].

Skrytá vada

Vada skrytá je vada, kterou je možné zjistit až po obrobení odlitku, nebo speciálními měřidly či prostředky, například prorýsováním, pomocí vhodných přístrojů, nebo laboratorními či jinými zkouškami [12].

Podle současné konvence může být táž odchylka od sjednané jakosti odlitku mezi výrobcem a odběratelem ještě vadou přípustnou nebo nepřípustnou, opravitelnou nebo odstranitelnou [12].

Přípustná vada

Přípustná vada je taková odchylka od sjednaných technických podmínek nebo příslušných norem, kterou tyto dokumenty připouštějí, aniž by požadovali její odstranění u výrobce odlitku, pokud není zvláštními podmínkami výslovně zakázána [12].

Nepřípustná vada

Nepřípustná vada je taková odchylka od sjednaných technických podmínek nebo příslušných norem, kterou nelze odstranit opravou, nebo jejíž oprava je podle sjednaných technických podmínek nebo příslušných norem nepřípustná (tzn. je výslovně zakázána) [12].

Opravitelná vada

Opravitelná vada je taková odchylka od sjednaných technických podmínek nebo příslušných norem, jejíž oprava vhodným způsobem (např. zavařením, vyrovnáním, vyžiháním, aj. technologiemi) je sjednanými technickými podmínkami nebo příslušnými normami dovolena, nebo není výslovně zakázána [2].

Odstranitelná vada

Odstranitelná vada je taková odchylka od sjednaných technických podmínek nebo příslušných norem, kterou je možno odstranit po dohodě s odběratelem odlitku jen zvláštními úpravami nepředpokládanými původním výrobním postupem (např. vypouzdření odlitku, nepředepsaným tepelným zpracováním, speciálním opravným svařováním aj.) [2].

Vady odlitků ze slitin železa jsou rozděleny do sedmi tříd vad a skupin vad, spolu s klasifikací, s vysvětlením hlavních příčin a s návrhy na jejich prevenci ve slévárenské výrobě. K získání základního přehledu slouží následující obrázek 3-1.

Obrázek 3-1 Třídění slévárenských vad na třídy, skupiny a druhy vad [12]

Třída vad	Název třídy vad	Skupina vad	Název skupiny vad	Počet druhů
100	Vady tvaru rozměrů a hmotnosti	110	Chybějící část odlitku bez lomu	8
		120	Chybějící část odlitku s lomem	3
		130	Nedodržení rozměrů, nesprávný tvar	4
		140	Nedodržení hmotnosti odlitků	-
200	Vady povrchu	210	Přípečeniny	3
		220	Zálupy	3
		230	Nárosty	4
		240	Výronky	-
		250	Výpotky	-
		260	Zatekliny	3
		270	Nepravidelnosti povrchu odlitku	7
		280	Vady povrchové ochrany odlitku	-
300	Porušení souvislosti	310	Trhlíny	3
		320	Praskliny	-
		330	Porušení souvislosti mechanickým poškozením	2
		340	Porušení souvislosti nespojením kovu	2
400	Dutiny	410	Bublíny	5
		420	Bodliny	-
		430	Odvaženiny	3
		440	Staženiny	6
500	Makroskopické vměstky a vady makrostruktury	510	Struskovitost	2
		520	Nekovové vměstky	6
		530	Makrosegregace a vycizeniny	4
		540	Broky	-
		550	Kovové vměstky	-
		560	Nevyhovující lom	-
600	Vady mikrostruktury	610	Mikroskopické dutiny	3
		620	Vměstky	-
		630	Nesprávná velikost zrna	-
		640	Nesprávný obsah strukturálních složek	-
		650	Zatvrdlina, zákalka	-
		660	Obrácená zákalka	-
		670	Oduhličení povrchu	-
		680	Jiné odchylky od mikrostruktury	-
700	Vady chemického složení a vlastností odlitků	710	Nesprávné chemické složení	-
		720	Odchylky hodnot mechanických vlastností	-
		730	Odchylky hodnot fyzikálních vlastností	-
		740	Nevyhovující homogenita odlitku	-

Specifické vady masivních ocelových odlitků

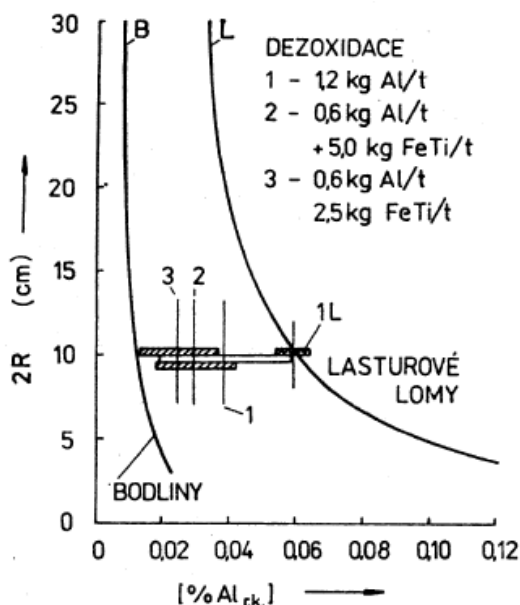
Mezi tyto zvláštní vady lze zařadit stvolové vycezeniny (zvané rovněž A-vycezeniny), lasturové lomy, praskliny a trhliny (zejména vnitřní trhliny a praskliny po upálení nálitku) a vady spojené se segregací nežádoucích prvků [13].

3.1.1 Segregace a vycezeniny

Segregace vznikají selektivním tuhnutím slitin s větším intervalem tuhnutí a nelze jim žádným zásahem zabránit. Má-li ocel velký sklon k segregacím (vysoký obsah C, S, O, P), pak se segregace uplatňují jinou měrou v různých formách a v různě tlustých odlitcích. Zabránit vzniku stvolových vycezenin nelze, pouze je možné jejich výskyt minimalizovat co nejnižším obsahem uhlíku, síry a fosforu. Hlavní důvod vzniku vad stvolových vycezenin jsou reakce uhlíku [11].

3.1.2 Lasturové lomy

S rostoucí tloušťkou stěny odlitku a obsahem dusíku v oceli klesá kritická koncentrace hliníku v oceli, při níž se vyskytují lasturové lomy (obr. 3.2). Koncentrace hliníku je omezena jak z minimální, tak i maximální hodnoty. Povolené rozmezí koncentrací hliníku se s rostoucí tloušťkou stěny odlitku zužuje. Riziko výskytu lasturových lomů lze snížit jednak hlubokým snížením obsahu dusíku nebo použitím legujících prvků, které zjemňují primární austenitické zrno a tvoří s dusíkem nitridy stabilnější než nitrid hliníku. V praxi českých sléváren oceli byl dříve používán k prevenci proti lasturovým lomům převážně titan. Křivka označená jako lasturové lomy představuje kritické množství rozpuštěného hliníku, při jehož překročení se začnou tvořit na lomových plochách lasturové lomy [12].



Obr. 3.2 Mezní křivky výskytu Lasturového lomu a bodlin v závislosti na směrodatné tloušťce odlitku pro oceli s $C=0,28\%$ a $N=0,010\%$ [12]

3.1.3 Praskliny a trhliny

Praskliny jsou rovné nebo mírně zakřivené a křivolaké roztržení (prasknutí) stěny odlitků, vzniklé při nízkých teplotách, při nichž má slitina pružné deformace. Praskliny mohou vznikat i po úplném vychladnutí odlitku ve formě, popřípadě během vytloukání nebo po předčasném vyjmutí odlitků z formy, anebo též (i když méně často) v průběhu následujícího tepelného zpracování.

Trhliny je možné dělit na povrchové (otevřené) a podpovrchové. Povrchovou trhlinou jsou pouhým okem viditelná natržení nebo roztržení odlitku, která jsou charakteristická svým křivolakým průběhem a zoxidovaným povrchem. Trhlina probíhá po hranicích primárně krystalizovaných zrn při vysokých teplotách v blízkosti solidu, kde je rozhraní zrn méně pevné nežli vlastní zrno. Nižší pevnost rozhraní při vysokých teplotách je způsobena segregací složek s nižším bodem tání. Proto je průběh trhliny (na rozdíl od praskliny) křivolaký. Otevřené trhliny vznikají nejčastěji v tzv. tepelných uzlech odlitku, kde je relativně pomalejší tuhnutí a v důsledku toho také momentálně nižší pevnost a tažnost materiálu. Podmínkou pro vznik trhliny v daném místě odlitku je tahové napětí, které překročí pevnost a tažnost materiálu. Toto napětí působí kolmo na průběh trhliny a vektor působící síly umožňuje specifikovat příčinu napětí. Trhliny patří mezi nejnebezpečnější vady odlitků.

Podpovrchové trhliny nejsou viditelné pouhým okem a vadu většinou zjistím až po provedení magnetické polévací zkoušky nebo povrchové kapilární zkoušky. Trhlina je většinou pod jemně vykrytalizovanou povrchovou kůrou odlitku a je často doprovázena povrchovým výronkem. V některých případech postupuje trhlina jemnou vlásečnicí až na povrch odlitku, není však pouhým okem viditelná. Na rozdíl od otevřených trhlín, které jsou především způsobené

odporem jádra nebo formy proti volnému smršťování odlitku v době, kdy je v podstatě krystalizace odlitku ukončena, vznikají podpovrchové trhliny v raném stádiu krystalizace odlitku. Síly, převážně takové, které jsou vyvolávány odporem jádra nebo formy, proti volnému smršťování, namáhají největší silou největší část odlitku a proto je trhlina nejvíce rozevřená z vnějšího obvodu odlitku a směrem dovnitř se roztržení zmenšuje [11].

ZÁVĚR

Odléváním lze zhotovit výrobky téměř libovolného tvaru, jejichž hmotnost může být od několika desetin gramů až po několik stovek tun. Výroba a vlastnosti masivních odlitků jsou silně ovlivněny podmínkami tuhnutí a jejich výroba vyžaduje zvýšené nároky na přípravu jednotlivých fází výroby. Proto je vhodné, aby byli i odběratelé odlitků seznámeni alespoň se základy slévárenské technologie, a to především proto, že použitá technologie podstatně ovlivňuje vlastnosti výrobku i náklady na výrobu.

Předložená práce měla jako hlavní cíl provést rešerši na téma pojednávající o použití, vlastnostech a výrobě masivních odlitků z oceli. Převážná část bakalářské práce byla věnována výrobě a vadám, které jsou pro masivní odlitky často specifické.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KOPLÍK, Radovan. Výroba středně velkých a velkých odlitků v České republice - tradice a perspektiva. *Slévárství*. 16.6.2010, 2010, 5-6, s. 135. ISSN 0037-6828.
2. *Reference 2007* [online]. c2005 [cit. 2011-05-25]. Reference 2007. Dostupné z WWW: <http://www.hmslovakia.cz/reference2007.html>
3. *První zprávy-Domáci-Škoda Power dodá turbíny do Turecka* [online]. 14.4.2011 [cit. 2011-05-25]. Byznys. Dostupné z WWW: <<http://www.prvnizpravy.cz/zpravy/business/skoda-power-doda-turbiny-do-turecka/>>.
4. *Support-business* [online]. c2009 [cit. 2011-05-25]. Generální opravy - Strojárstvo, stroje, priemysel. Dostupné z WWW: <<http://www.support-business.com/detail/66237/Gener%C3%A1ln%C3%AD-oprav>
5. PŘIBYL, Josef; GAJDUŠEK, Josef; HAVLÍČEK, František. *Výroba těžkých ocelových odlitků*. Praha: SNTL, 1963. 215 s.
6. Jirásek, J., Vavro, M.: *Nerostné suroviny a jejich využití*. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3
7. ELBEL, Tomáš. *Základy slévárenské technologie: od historie po současnost* [online]. 2006. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2006 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <http://katedry.fmmi.vsb.cz/632/zaklady_slevarenske_technologie.pdf>.
8. JELÍNEK, Petr. *Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí: Ostrřiva*. Ostrava : [vl.n.], 2000. 138 s. ISBN 80-238-6118-2.
9. SLOVÁK, Stanislav; RUSÍN, Karel. *Teorie Slévání*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 231 s. ISBN 80-03-00400-4.
10. ČECH, Jan, et al. Vady masivních ocelových odlitků. *Slévárství*. 2010, 5-6, s. 141-144.
11. ELBEL, Tomáš, et al. *Vady odlitků ze slitin železa*. Brno: MATECS, 1992. 339 s.
12. ŠENBERGER, Jaroslav, et. al. *Metalurgie oceli na odlitky*. Vydání první. Brno: Vutium, 2008. 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9.
13. DOLEŽAL, Petr. *Výroba a vady masivních odlitků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 93 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Antonín Záděra, Ph.D.