



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE LITÍ NA VYTAVITELNÝ MODEL - PŘEHLED VAD

INVESTMENT CASTING - DEFECTS LIST

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB ŠMATELKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VÍT MIKULKA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jakub Šmatelka

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:

Technologie lití na vytavitelný model - přehled vad

v anglickém jazyce:

Investment casting - defects list

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V každém výrobním procesu se v jisté míře vyskytují vlivy vedoucí ke vzniku neshodných výrobků. Tomuto jevu je třeba předcházet a k tomu pomáhá především správné pojmenování a určení příčin neshody - vady.

Cíle bakalářské práce:

Ve spolupráci s předním evropským výrobcem hliníkových odlitků metodou vytavitelného modelu, firmou Alucast, s.r.o., sestavit „katalog“ vad vyskytujících se při výrobě součástí metodou vytavitelného modelu. Práce pokryje celý proces výroby od vzniku voskového modelu až po dokončovací operace.

Seznam odborné literatury:

1. BEELEY, P.-R. Investment Casting. London: The Institute of Materials, 1995. 486 s. ISBN 0-901716-6-9.
2. CAMPBELL, J. Castings. Oxford: Butterworth – Heinemann, 1991. 288 p. ISBN 0 7506 1072.
3. MRÁZEK, M. Technologie přesného lití. Slévárství. 2008, roč. 56, č. 9-10, s. 468-470. ISSN 0037-6825.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vít Mikulka

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 21.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vznikem vad během výroby hliníkových odlitků metodou přesného lití na vytavitelný model. V první části práce je stručně popsána technologie odlévání hliníkových odlitků ve firmě Alucast s.r.o. Ve druhé je vypracován katalog vad, které při výrobě vznikají. Tento katalog pokrývá většinu všech defektů od vzniku voskového modelu až po dokončovací operace. Jsou zde popsány příčiny vzniku vady, následky a opatření k jejímu předcházení.

KLÍČOVÁ SLOVA

vytavitelný model, přesné lití, vady, odlitek

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with defects which can occur during investment casting process. In the first part, there is briefly described investment casting process in Alucast s.r.o. company. List of all defects occurring during manufacture is described in the second part. This catalog includes majority of defects from the cast proposal to finishing operations. There are also described causes, consequences and corrective actions.

KEYWORDS

lost wax process, investment casting, defects, cast

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠMATELKA, J. *Technologie lití na vytavitelný model - přehled vad*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vít Mikulka.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Technologie lití na vytavitelný model - přehled vad“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 22. 5. 2012

.....
Jakub Šmatelka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto všem pracovníkům společnosti Alucast s.r.o., především panu Ing. Františku Šmatelkovi, za předání zkušeností s výrobou odlitků metodou vytavitelného modelu.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Vítu Mikulkovi za cenné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce.

OBSAH

<i>Abstrakt</i>	4
<i>Obsah</i>	7
1 ÚVOD.....	9
2 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO LITÍ NA VYTAVITELNÝ MODEL.....	10
2.1 Obecný rozbor	10
2.1.1 Přesné lití	10
2.1.2 Metoda vytavitelného modelu.....	11
2.2 Fáze výroby	12
2.2.1 Výroba voskových modelů.....	13
2.2.2 Sestavování voskových modelů	17
2.2.3 Obalování.....	18
2.2.4 Vytavování	20
2.2.5 Vypalování a žíhání.....	20
2.2.6 Tavení a lití.....	21
2.2.7 Dokončovací operace.....	22
2.2.8 Kontrola jakosti.....	22
3 KATALOG VAD.....	23
Třídník neshodných výrobků.....	24
3.1 Vady voskového modelu.....	25
3.1.1 Neúplnost – nezaběhnutí.....	25
3.1.2 Vady povrchu, drsnost.....	26
3.1.3 Praskliny	28
3.1.4 Deformace – prohnutí, pokroucení	29
3.1.5 Deformace – vydutí	30
3.1.6 Nesprávný tvar, rozměr	31
3.2 Vady keramické formy	32
3.2.1 Prasklá, zborcená keramika – vlivem mechanického poškození.....	32
3.2.2 Prasklá, zborcená keramika – vlivem nízké pevnosti, tloušťky formy.....	33
3.2.3 Nepravidelný výronek – kout, dutina.....	34
3.2.4 Nepravidelný výronek – ostrá hrana, ostrý kout.....	36
3.2.5 Podélný výronek.....	37
3.2.6 Zadrobeniny	38
3.3 Vady odlévání	40
3.3.1 Nezaběhnutí, neúplný tvar.....	40

3.3.2 Staženiny, řediny.....	41
3.3.3 Bubliny	42
3.3.4 Zbytek vosku – popel	43
3.3.5 Naplynění	44
3.3.6 Trhliny, praskliny	45
3.4 Vady dokončovacích operací	46
3.4.1 Zařezání.....	46
3.4.2 Deformace povrchu pískováním	47
3.4.3 Deformace manipulací	48
3.5 Ostatní vady	49
3.5.1 Nedodržené chemické složení	49
3.5.2 Nesprávné tepelné zpracování	50
3.5.3 Nedodržené mechanické vlastnosti	50
4 ZÁVĚR.....	51
<i>Použitá literatura</i>	<i>52</i>

1 ÚVOD

Neustále se zvyšující nároky zákazníků společně s průmyslovým pokrokem výroby posledních let nutí nejen slévárny, ale i jakékoliv jiné společnosti ke krokům, jež vedou ke zvyšování kvality produktů při současném snižování ceny výrobku.

Odlévání odlitků metodou vytavitelného modelu se řadí mezi nejnáročnější technologie výroby, které jsou dnes používány na odlitky s velmi vysokými nároky, jako je například letectví nebo přesná mechanika. Používá se většinou tam, kde by výroba jinou technologií byla příliš nákladná nebo dokonce nemožná. I přes mnoho kladných vlastností, se zde ale vyskytují nedokonalosti, které vedou jak k ekonomickým ztrátám, tak k poklesu zájmu z hlediska zákazníka. Z těchto a mnoha dalších důvodů je potřeba dosahovat určité přesnosti a dokonalosti odlitků.

Jedno z řešení je správné určení vad a defektů vyskytujících se ve výrobě, určení jejich příčiny, důsledků a řešení jejich odstranění.

V této bakalářské práci je právě takové řešení zpracováno. První část se zabývá popisem technologie přesného lití na vytavitelný model. Ve druhé části je vypracován rozbor majoritní většiny vad, vyskytujících se během cesty výrobku od výrobního výkresu až po odeslání k zákazníkovi.

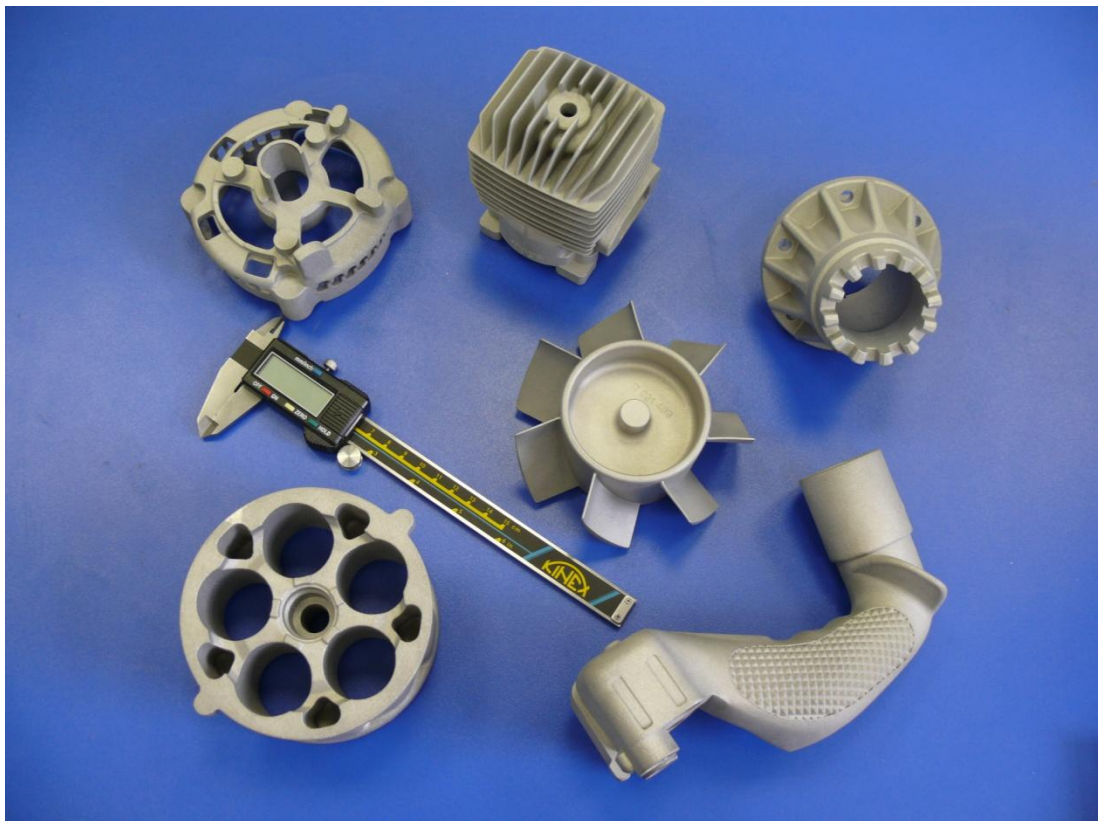
2 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO LITÍ NA VYTAVITELNÝ MODEL

2.1 Obecný rozbor

2.1.1 Přesné lití

Do oblasti přesného lití se obecně řadí všechny možné metody výroby odlitků, kterými je možné dosáhnout menších tvarových a rozměrových tolerancí, než je standardní u konvenčních metod, jako například lití do pískových forem. [5]

Přesné lití je pokročilý proces používaný k výrobě kovových dílů o nejvyšší kvalitě a funkčnosti při zachování vysoké efektivity nákladů. Jedná se o technologii, kde je možné vyrábět velmi složité součásti s takovou rozměrovou tolerancí a drsností povrchu, že dokončovací operace téměř nejsou nutné. Pouze u funkčních ploch, vyžadujících obrábění, jsou přídatky nezbytné. Tyto přídatky jsou ale tak malé, že se z ekonomického hlediska nedají porovnávat s jinými způsoby lití. [3,8]



Obr. 1. – Součásti vyrobené metodou přesného lití na vytavitelný model

2.1.2 Metoda vytavitelného modelu

Metoda vytavitelného modelu, anglicky “lost wax“ nebo “investment casting“, se řadí mezi metody přesného lití. V dnešní době je tato moderní technologie v oblasti lití kovů prakticky nepostradatelná. Lze ji začlenit mezi technologie netshape („na hotovo“), kde je hlavním úkolem minimalizovat veškeré obrábění, v nejlepším případě jej zcela vyloučit a odlitek užívat přímo. Tímto lze ušetřit drahé materiály a energie, zajistit účinnou a ekonomickou cestu k výrobě součásti a tedy snížit výrobní náklady na minimum. Čehož se snaží každá společnost dosáhnout. [1]

Tuto metodu lze zužítovat při výrobě nejrůznějších tvarově velmi složitých součástí, které jsou navíc z konstrukčních důvodů opatřeny elementy, jako jsou žebra, výztuhy, vylehčení, otvory, negativní úkopy a jiné. Tedy prvky, které se jinými technologiemi, jako je například obrábění, vyrábí jen velmi těžko nebo za zvýšených výrobních nákladů z důvodů velkých odpadů. Některé slitiny lze také jen velmi těžko obrobit, kdežto jejich odlítí je možné bez jakýchkoliv větších problémů. Dále je zde výhoda nahrazení sestavy součástí, která je při jiných výrobních technologiích spojena buď rozebíratelným, nebo nerozebíratelným spojem, jediným odlitkem o stejných nebo dokonce lepších vlastnostech, při stejné užité funkci. V kombinaci s moderními výrobními znalostmi a technologií, může být metoda vytavitelného modelu aplikována na lití dílů různého stupně složitosti a pro co nejširší spektrum aplikací. [1,3]



Obr. 2., 3. – Rozdíl mezi odlitkem (vlevo) a svařencem (vpravo) [12]

Vyráběno: Odléváním

Materiál: Slitina Al

Hmotnost: 0,52kg

Úspora práce: 40%

Vyráběno: Obráběním, svařováním, šroubováním, frézováním apod.

Materiál: Slitina Fe

Hmotnost: 2,1kg

Přesné lití na vytavitelný model je tedy metoda, jež umožňuje vyrábět odlitky tvarově velmi složité, s malými rozměrovými tolerancemi a s velmi dobrou jakostí povrchu i vnitřní homogenitou. Její užití je výhodné zejména tam, kde je s ohledem na komplikovaný tvar či obtížně obrobitelný materiál, výroba dílu jinou metodou obzvláště nákladná, ba dokonce úplně nemožná. [3]

2.2 Fáze výroby

Výroba metodou vytavitelného modelu je specifická zejména v tom, že se skládá z mnoha operací, jejichž správné provedení zásadně ovlivňuje výslednou kvalitu odlitku a potažmo procento neshodných výrobků. Základní operace, které je de facto nutné provést u každého odlitku vyráběného touto metodou, jsou schematicky popsány na obr. 4.



Obr. 4. – Fáze výroby [7]

2.2.1 Výroba voskových modelů

Základním předpokladem pro vyrobení kvalitního odlitku touto metodou je kvalitní voskový model. Proto je nutné věnovat této operaci zvýšenou pozornost, dbát na čistotu zařízení, pracoviště, kvalitu forem a přípravků.

„Finální kvalita odlitku nemůže být nikdy lepší než kvalita voskového modelu“

[7]



Obr. 5. – Voskový model a rozebraná forma [13]

KROKY VEDOUcí K VÝROBĚ VOSKOVÉHO MODELU

- Nejprve je podle výkresu odlitku vyrobena nejčastěji trvalá forma. Zde je nutno brát v úvahu teplotní roztažnost vosku.
- Do připravené formy, se pod tlakem vstříkne vosková směs
- Vosk uvnitř formy ztuhne a zchladne
- Forma se ručně rozebere a voskový model vyjme
- Řádně očištěná a namazaná forma se opět složí
- Celý proces se opakuje

VÝROBA FORMY

Výroba modelového zařízení je první důležitou operací v technologickém sledu výroby odlitků metodou vytavitelného modelu. Prvotním předpokladem pro výrobu odlitku je přesný model s dokonalým povrchem a striktně dodrženy rozměry. Ke zhotovení takového modelu je potřeba velmi přesně vyrobená forma – tvar dutiny je shodný s budoucím tvarem součástky.

Použité modelové zařízení má významný vliv na cenu a kvalitu odlitku. [3]



Obr. 6. – Rozebraná trvalá forma

Výběr typu matečné formy závisí na sériovosti produktu. Pro kusové série se často používají tzv. Rapid Prototyping technologie. Kovové formy se obvykle používají tam, kde se předpokládá vyšší produkce. Tedy při výrobách od stovek až po tisíce kusů a u odlitků, které jsou náročné na přesnost. Kovové matečné formy se vyrábí zejména ze slitin hliníku, případně z oceli, a to obráběním – frézováním, soustružením, broušením. Hojně je užíváno moderních CAD/CAM systémů pro dosažení optimálního designu a ceny. [1]

VOSKOVÁ SMĚS

Pro výrobu voskových modelů se používají nejrůznější voskové směsi. Dnešní směsi se skládají z více prvků, jako jsou syntetický vosk, uhlovodík, ester, pryskyřice, organické plnivo a voda. Dle druhu výroby existuje více variant, jak tyto prvky smísit a tím zaručit různou tvrdost, viskozitu, tepelnou roztažnost nebo bod tavení. [3]



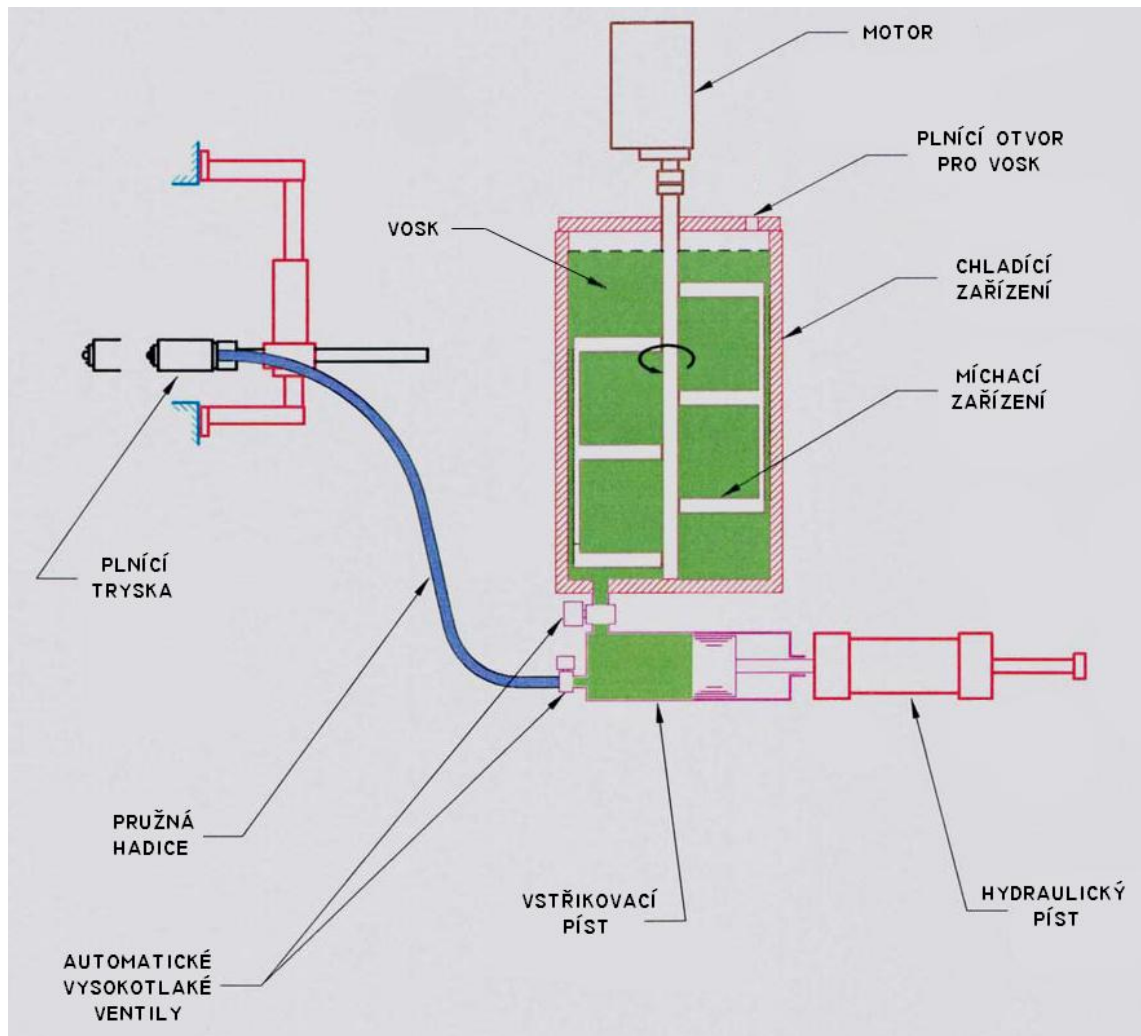
Obr. 7., 8. – Příklad voskových směsí [9,10]



Obr. 9. – Voskové modely [6]

VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikovací zařízení slouží k připravení a vstříknutí vosku do dutiny formy, která se tím kompletně vyplní a vytvoří vzor (model).



Obr. 10. – Schéma plničky (míchačky) vosku [6]

Nejčastěji se ve slévárnách používají vstřikovací zařízení, znázorněná na obr. 10. Hlavní částí je zásobník vosku. Ten je schopen vosk promíchávat a udržovat potřebnou teplotu. Vosk je dále přepraven do vstřikovací jednotky pomocí podtlaku hydraulického nebo pneumatického pístu a váhou směsi. Když je vstřikovací píst naplněn, vysokotlaký ventil se uzavře, a tím oddělí zásobník od pístu. Zařízení je připraveno ke vstřikování. Plnicí tryska se pevně přiloží ke vtoku formy a pomocí stlačení vstřikovacího pístu se dutina formy vyplní voskem pod předem nastaveným tlakem. [1]

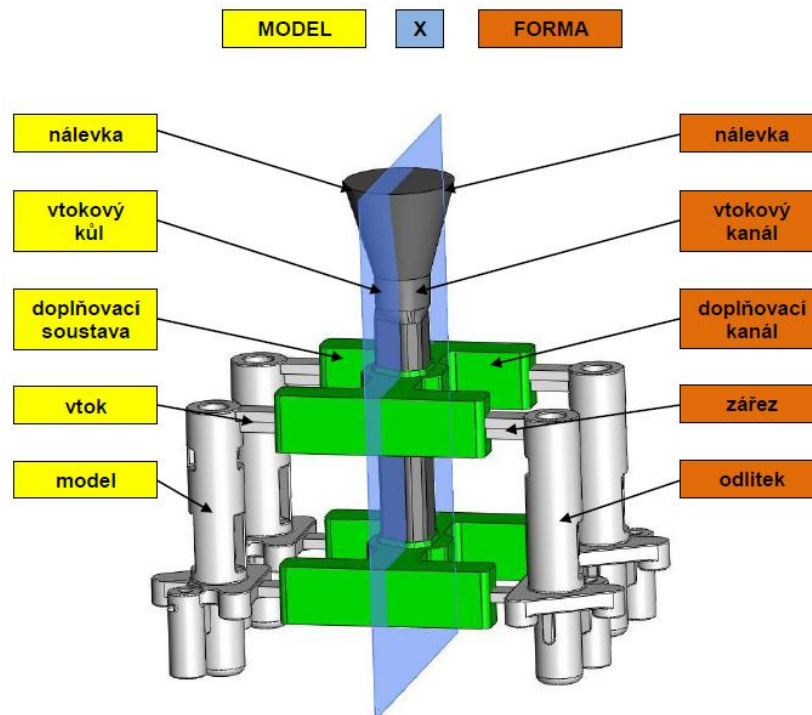
2.2.2 Sestavování voskových modelů

Voskové modely mohou být dále zpracovávány buď individuálně, nebo jako skupina v závislosti na velikosti daného odlitku. V druhém případě se skládají do sestav, tzv. stromečků.

Je nutné si uvědomit, že konstrukce stromečku má vliv na: [3]

- Technologii skládání (lepení, svařování)
- Technologii obalování
- Technologii vytavování
- Technologii lití
- Technologii dělení
- Technologii odstraňování keramické formy

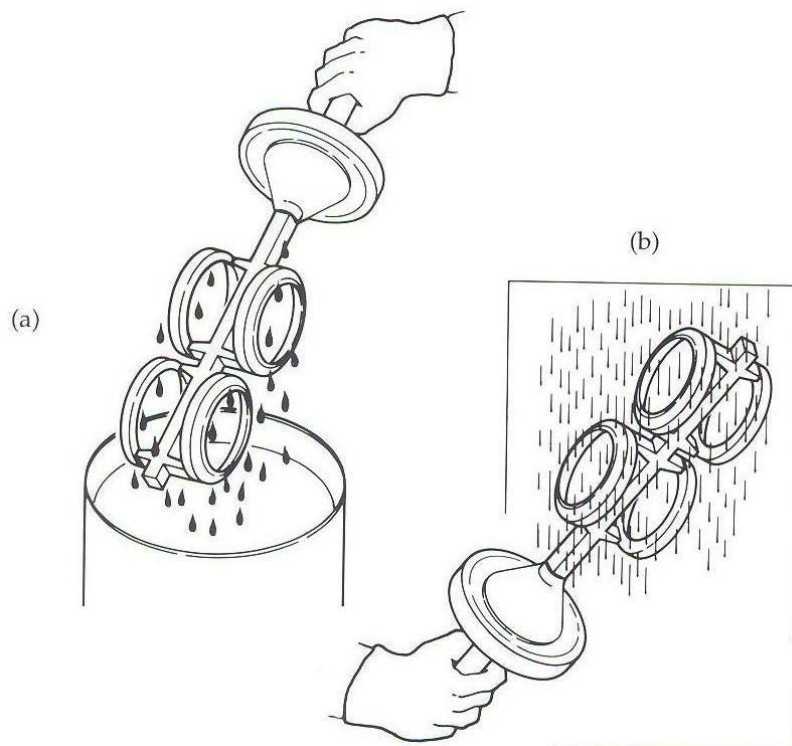
Modely se na vtokovou sestavu připojují nejčastěji lepením. Při lepení se modely připojí na vtokovou soustavu tak, že se mezi vtok modelu a vtokový systém vloží rozžhavený předmět, model se k němu přitiskne a zároveň je z druhé strany přitlačen na místo vtokového systému, kde bude model připojen. Vosk se částečně nataví a po přiložení se model s vtokovou soustavou spojí. Tvar stromečku a počet kusů na jednotlivých stromečcích by měl být navržen tak, aby se modely vzájemně nedotýkaly a zároveň aby nepřesahoval přípustnou hmotnost – hledisko obalování, lití, apod. Z hlediska následující operace obalování by od sebe měly být modely tak daleko, aby se nedotýkaly ani po nanesení posledního obalu. [4]



Obr. 11. – Schéma stromečku [14]

2.2.3 Obalování

Ve výrobě odlitků metodou vytavitelného modelu je keramická skořepina stěžejním činitelem. Jen díky keramické skořepině je možné vyrábět touto metodou širokou škálu odlitků a používat velký výběr slitin. Tato část výroby odlitků metodou vytavitelného modelu je pravděpodobně nejdůležitější, protože povrch a rozměry odlitku mohou být pouze tak kvalitní, jako je kvalitní forma, do které se leje kov.[1]



Obr. 12. – Obalování stromečku

PRINCIP [2]

Samotné obalování spočívá v namáčení voskové sestavy (stromečku) do „břečky“ a následným nanesením posypové žáruvzdorné hmoty. Po vysušení se proces opakuje tolikrát, kolikrát je potřeba z hlediska velikosti a složitosti odlitku.

Před nanášením prvního obalu je nutné povrch voskového modelu řádně očistit od veškerých nečistot a zapravit nepřesnosti. Ty by se totiž buď „okopírovaly“ do tvaru skořepiny, nebo by první obal dokonale nepřilnul, což by vedlo ke vzniku defektů.

Při zamáčení se stromeček pozvolna buď strojně, nebo ručně ponořuje do břečky, tak aby se dostala do všech míst a zároveň, aby v koutech nevznikaly bubliny. Po zamočení se stromeček z lázně vytáhne a následně se s ním manipuluje tak, aby na povrchu modelu vznikla rovnoměrná vrstva břečky. Přebytečná obalová hmota se nechá odkapat zpět do zásobníku.

Bezprostředně po nanesení rovnoměrné vrstvy se stromeček vloží do gravitačního sypače nebo fluidní vrstvy, kde se na povrch nanesou částice žáruvzdorného posypového materiálu. Na první obaly se zpravidla nanáší jemnější materiál. Je to dáno tím, že první vrstva má vliv na budoucí drsnost odlitku, zatímco následující vrstvy zaručují pevnost a zejména prodyšnost.

Při sušení musí každý obal schnout v klimatizovaném prostoru při určené teplotě, vlhkosti a musí být zajištěno dostatečné proudění vzduchu.

MATERIÁLY KERAMICKÝCH FOREM

Všechny skořepinové formy se skládají ze dvou hlavních komponent – obalové směsi (tzv. břechky) a posypové hmoty. Obalové směsi pak obecně obsahují dvě složky, pojiva a plniva. Správný výběr pojiva a keramických materiálů rozhoduje o většině vlastností skořepiny. [1]

Pojiva

Pojivo je vlastně vazná kapalina, která navzájem s žáruvzdorným materiálem (plnivem) vytváří obalovou směs pro výrobu skořepinových forem. Pojivo nesmí v žádném případě snižovat žáruvzdornost formy a při vypalování formy musí být netečné vůči žáruvzdornému materiálu i roztavenému kovu. Dále se předpokládá, že po ztuhnutí a vypálení dodá formě dostatečnou pevnost pro samotné odlévání. [4]

Jako pojiva pro skořepinové formy se používá hlavně oxidu křemičitého, přesněji jeho koloidních roztoků. Někdy se oxid křemičitý nahrazuje sloučeninami hliníku, titanu, zirkonu nebo některými anorganickými sloučeninami. [2]

Plniva

Plnivo tvoří ve skořepinovém obalu hlavně funkci žáruvzdorného materiálu. Pro výběr správného plniva jsou nejdůležitější tři vlastnosti. Tepelná roztažnost, teplota tavení a chemická netečnost vůči odlévaným kovům. [3]

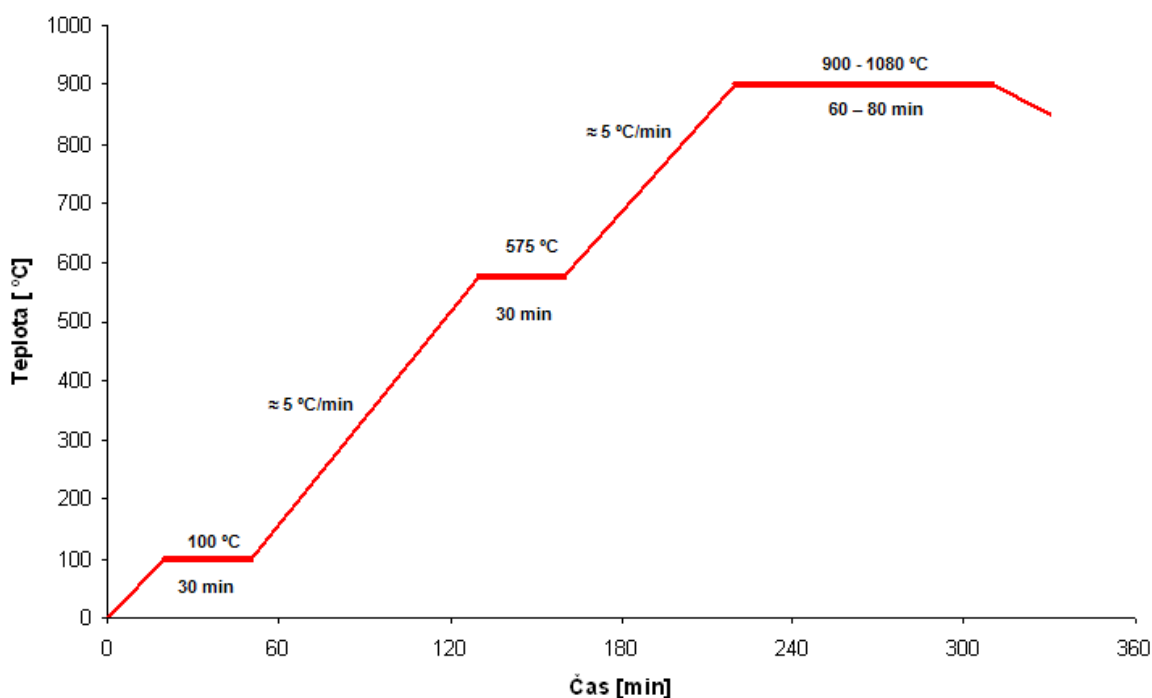
2.2.4 Vytavování

Po nanesení posledního obalu a úplném vysušení skořepiny je nutné odstranit voskový model z dutiny formy. Zásadním problémem této operace je rozdíl mezi tepelnou roztažností keramiky a vosku. Z tohoto důvodu musí být ohřev vosku rychlý, aby nedošlo k rozměrové dilataci modelu, a tím k popraskání skořepinové formy. [1]

V dnešní době se nejvíce používá vytavování v autoklávu. Pomocí tepelného šoku, způsobeného přehřátou párou, se za zvýšeného tlaku vytaví voskový model z dutiny formy. Formy musejí být v autoklávu seřazeny tak, aby z nich vosk mohl volně vytékat. Roztavený vosk se zachycuje ve sběrné nádobě a po úpravách jej lze znovu použít nebo se zasílá výrobci k recyklaci. [3]

2.2.5 Vypalování a žihání

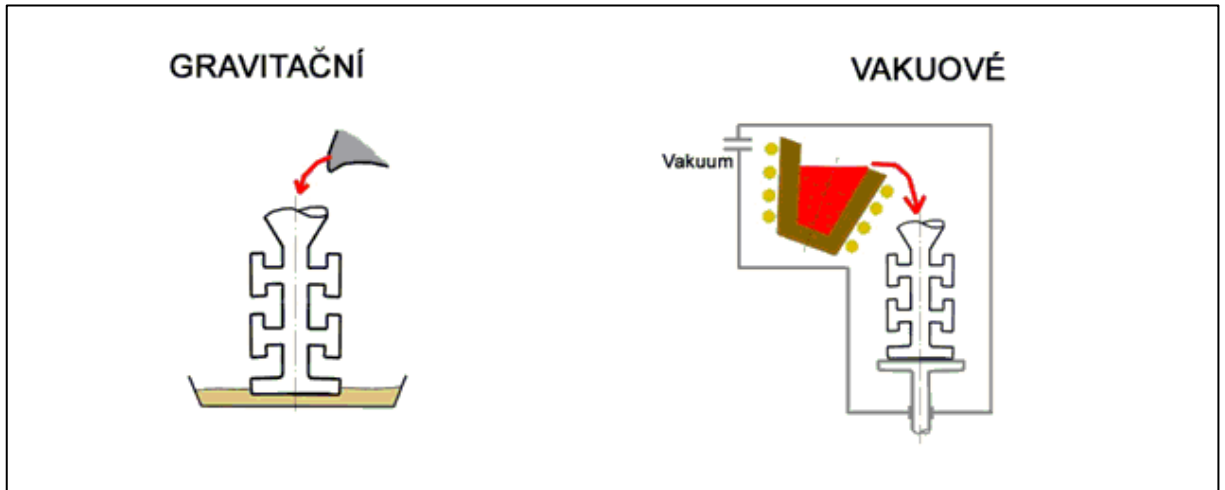
Před odléváním je nezbytné provést žihání, pro odstranění (vypálení) těkavých látek, jako jsou zbytky vosku a zároveň je forma předehřáta pro samotné lití. [15]



Obr. 13. – Příklad žihání skořepiny [6]

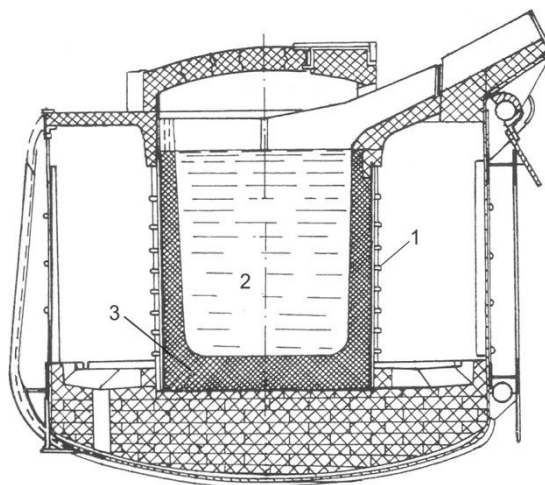
2.2.6 Tavení a lití

Roztavený materiál se většinou lije do žhavých skořepin ihned po vytažení z žíhací pece a uložení na lící pole. Tím se zmenší teplotní šok při lití, zamezí se vzniku vnitřních pnutí ve skořepinových formách a zmenší se nebezpečí prasknutí. Před litím je také možné vkládat do forem filtry. [3]



Obr. 14. – Základní druhy lití [6]

Tavení materiálu dnes probíhá nejčastěji v indukčních nebo odporových kelímkových pecích, buď vakuových, nebo klasických, v závislosti na požadované kvalitě odlitku a také na taveném materiálu.



- 1 – Měděný induktor
- 2 – Kov
- 3 – Kelímek

Obr. 15. – Indukční kelímková pec [16]

2.2.7 Dokončovací operace

OTLOUKÁNÍ STROMEČKU

Po vychladnutí odlitého stromečku se odstraňuje keramická forma a to většinou úderem do vtokového systému (otloukáním) nebo vibracemi.

DĚLENÍ A BROUŠENÍ

Jednotlivé modely na stromečku se dále oddělí od vtokové soustavy řezáním tak, aby samotná součást nebyla poškozena. Po odřezání zůstává na odlitku zbytek po vtoku. Ten je potřeba podle zákaznických požadavků buď zcela obrousit, nebo jedná-li se o funkční plochu obrobit.

APRETACE

Používají se buď chemické, nebo abrazivní metody. V dnešní době se nejčastěji vyskytují abrazivní, jejichž podstatou je tryskání abrazivních částic za pomoci stlačeného vzduchu na povrch odlitku. To zajišťuje odstranění zbytku keramického obalu, zlepšení povrchu odlitku a tím i jeho vzhledu.

2.2.8 Kontrola jakosti [6]

- Vzhledová kontrola
 - ✓ Okem viditelná poškození
- Chemické složení, struktura materiálu
 - ✓ Spektrometr
 - ✓ Metalografie
- Vnitřní jakost
 - ✓ Rentgen
 - ✓ Ultrazvuk
- Povrchová kvalita
 - ✓ Kapilární metody
 - ✓ Penetrace
- Mechanické vlastnosti
 - ✓ Pevnost v tahu
 - ✓ Tažnost
 - ✓ Tvrdost
- Rozměrová přesnost

3 KATALOG VAD

Cílem každého výrobního procesu je eliminovat množství neshodných produktů na přijatelné minimum. S každým neshodným výrobkem vznikají ztráty. Jedná se nejenom o ztráty přímé, tedy finanční, ale i ztráty nepřímé. Mezi takové lze zařadit nespokojenost zákazníka vlivem nedodání sjednaného množství kusů v termínu nebo rovněž snížení průchodnosti jednotlivými pracovišti. Snížení průchodnosti je způsobeno nutností vyrábět více kusů, než je objednáno – navýšení počtu kusů pokrývá zmetkovitost.

Definice vady

Jedním z hlavních indikátorů popisujících jakoukoli slévárnu je zmetkovitost, obvykle procentuální výčet odlitků obsahující nepřijatelnou vadu. Vadou odlitku chápeme každou neshodu rozměrů, hmotnosti, vzhledu, struktury, celistvosti, chemického složení nebo fyzikálních a chemických vlastností odlitku od příslušných norem, standardů, výkresů a technických podmínek. [2]

Přípustná vada

Přípustnou vadou rozumíme takovou odchylku odlitku, která nijak nenarušuje podmínky dojednané se zákazníkem, či není v rozporu s příslušnou normou. A to jen v případě, pokud není zvláštním požadavkem výslovně zakázána. [2]

Nepřípustná vada

Nepřípustná vada je odchylka, kterou není možné v rámci norem nebo dohody se zákazníkem odstranit tak, aby bylo možné odlitek používat dle původně stanovených technických podmínek. Odlitek s nepřijatelným defektem nazýváme neshodný výrobek, neboli „zmetek“. [2]

Opravitelná vada

Opravitelná vada je defekt způsobený během výroby, který je možno před používáním odlitku odstranit opravou tak, že konečný výrobek bude splňovat technické požadavky nebo normy stanovené zákazníkem. [2]

Třídník neshodných výrobků

3.1 Vady voskového modelu

3.1.1	Neúplnost – nezaběhnutí
3.1.2	Vady povrchu, drsnost
3.1.3	Praskliny
3.1.4	Deformace – prohnutí, pokroucení
3.1.5	Deformace – vydutí
3.1.6	Nesprávný tvar, rozměr

3.2 Vady keramické formy

3.2.1	Prasklý, zborcený obal – vlivem mechanického poškození
3.2.2	Prasklý, zborcený obal – vlivem nízké pevnosti, tloušťky formy
3.2.3	Nepravidelný výronek – kout, dutina
3.2.4	Nepravidelný výronek – ostrá hrana, ostrý kout
3.2.5	Podélný výronek
3.2.6	Zadrogenina

3.3 Vady odlévání

3.3.1	Neúplnost – nezaběhnutí
3.3.2	Staženiny, řediny
3.3.3	Bubliny
3.3.4	Zbytek vosku - popel
3.3.5	Naplynění
3.3.6	Trhliny za tepla

3.4 Vady dokončovacích operací

3.4.1	Zařezání
3.4.2	Deformace povrchu pískováním
3.4.3	Deformace manipulací

3.5 Ostatní vady

3.5.1	Nedodržené chemické složení
3.5.2	Špatné TZ
3.5.3	Nedodržené mechanické vlastnosti

3.1 Vady voskového modelu

Výroba voskového modelu je prvním krokem při produkci odlitků technologií vytavitelného modelu. Je proto vhodné zachytit případnou neshodu již v této fázi. V opačném případě se do kusu, jenž je předem odsouzen k neshodnosti, investuje práce, energie, čas (v následujících operacích) a tím se zvyšují náklady na výrobu odlitků.

3.1.1 Neúplnost – nezaběhnutí



Obr. 16., 17. – Neúplnost, nezaběhnutí

Popis defektu

Voskový model není zcela kompletní, jsou viditelná nedotečená místa, studené spoje, můžou se také vyskytovat zaoblené otvory na tenkých stěnách. Hrany modelu nejsou dokonale ostré.

Umístění defektu

Tento defekt se může vyskytnout téměř v kterékoli části modelu. Ale převážně na místech vzdálenějších od vtoku a na místech, ze kterých špatně uniká vzduch.

Příčina defektu

Příčinou vzniku této vady může být velmi studená forma, špatně namíchaná vosková směs (nehomogenita) nebo špatné nastavení plnicího tlaku. V těchto třech případech vosková směs ztuhne dříve, než dokonale vyplní dutinu formy, a tím vzniká nedotečení.

Další možnou příčinou je špatné odzdušnění úzkých profilů a jiných konstrukčních prvků, jako jsou například žebra. V tomto případě vzduch uvnitř formy nemá při plnění kudy uniknout a maximálně stlačený nedovolí voskové směsi vyplnit formu.

Následky defektu

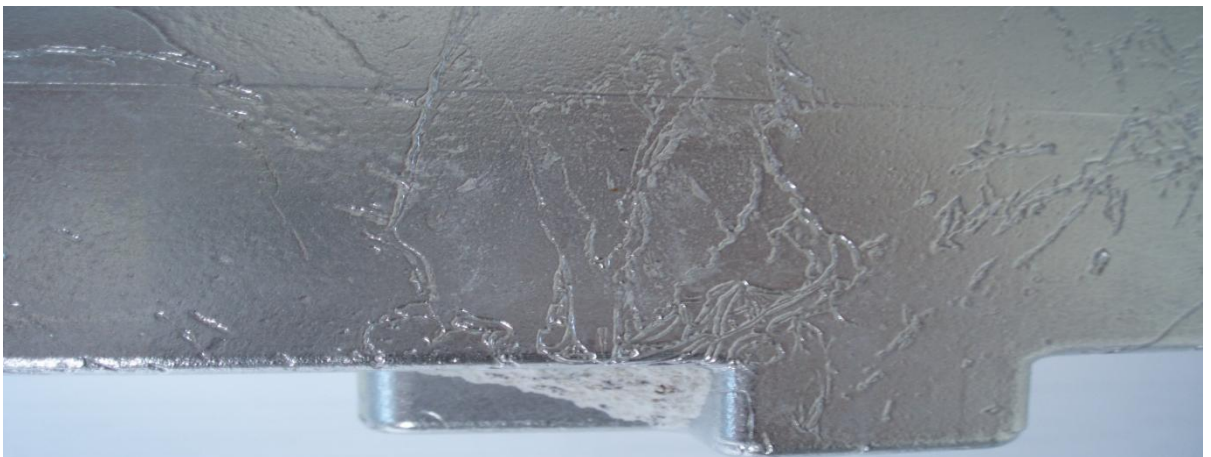
Vlivem těchto faktorů vznikají uvnitř dutiny nedokonalé, neostré hrany voskového modelu. Vosk nemusí zaběhnout a vyplnit celou dutinu formy, čímž vznikne nekompletní model. Dále vznikají tzv. studené spoje – nedokonale spojené dva protichůdné proudy vosku uvnitř dutiny.

Taková vada je neopravitelná – vzniká neshodný výrobek.

Předcházení defektu

Jak již bylo řečeno, při plnění formy je nutné mít správně namíchanou voskovou směs (hustota, tuhost). Plnění musí probíhat pod určeným tlakem a do formy o optimální teplotě tak, aby byl vosk schopen dostat se do všech míst dříve, než zčásti ztuhne. V nevyhnutelných případech je žádoucí upravit konstrukci formy pomocí nejrůznějších druhů odvodu vzduchu, aby byl vzduch schopen uniknout z dutiny.

3.1.2 Vady povrchu, drsnost



Obr. 18. – Zvrásněný povrch odlitku po odlití



Obr. 19. – Zvrásněný povrch voskového modelu

Popis defektu

Jasně zřetelné zvrásnění povrchu výrobku, které je viditelné na voskovém modelu a na odlitku před operací tryskání, tzn. po odlití a odstranění keramické formy. Při velmi silném zvrásnění je povrchový defekt patrný také po tryskání.

Umístění defektu

Tento typ defektu může být umístěn v kterékoli části odlitku. Nejčastěji však v okolí vtoku.

Příčina defektu

Příčinou tohoto defektu je nesprávné nastavení technologických podmínek při výrobě voskového modelu. Příčiny jsou zde obdobné jako u nezaběhnutí (tyto dvě vady jsou spolu přímo propojeny). Při nedodržení správné teploty formy, dobrého promíchání, homogenity voskové směsi a vhodného nastavení plnicího tlaku se na povrchu vyskytuje silné zvrásnění. Jedná se o povrchové „kanálky“ vzniklé studenými spoji, které zabíhají pod povrch odlitku (pod jmenovitý rozměr), a to do hloubky několika desetin mm. Nikdy ale skrz celou stěnu.

Následky defektu

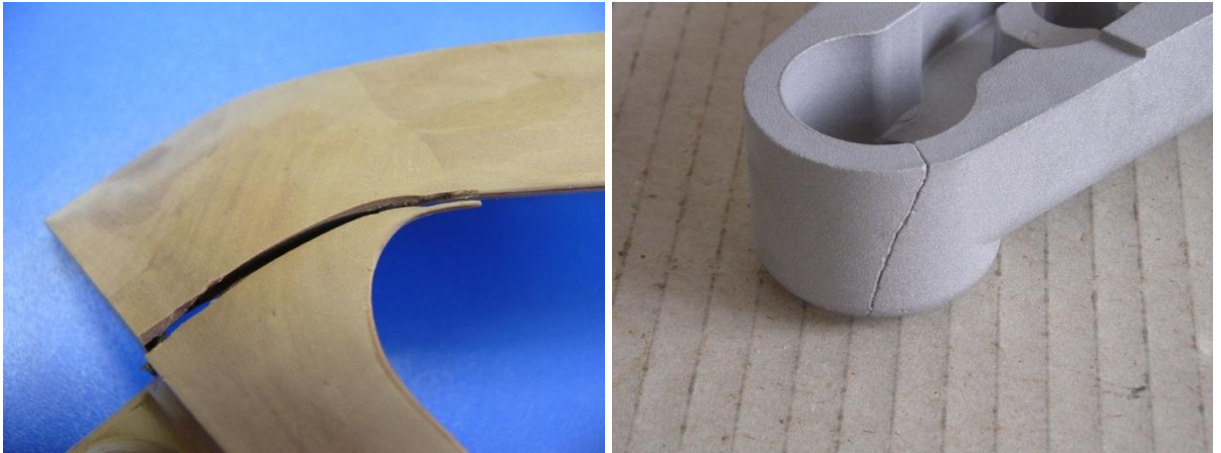
Díky vzniku „povrchových kanálků“ má kontura modelu velmi špatnou drsnost, rovinnost a stejnorodost. Výsledný odlitek sice může splňovat svou původní funkci, ale je značně nepohledný.

Tento defekt lze částečně odstranit tryskáním. V případě obrábění této plochy dojde většinou k odstranění defektu, aniž by byla jakýmkoliv způsobem narušena homogenita průřezu odlitku.

Předcházení defektu

Stejně jako u defektu nezaběhnutí je nutné nastavení optimální teploty formy, plnicího tlaku a řádné namíchání voskové směsi. Dále je třeba dbát na správnou velikost a umístění plnicího otvoru pro voskovou modelovou směs – čím větší plnicí otvor, tím větší rychlost plnění a tím také menší pravděpodobnost výskytu zvrásnění povrchu.

3.1.3 Praskliny



Obr. 20., 21. – Prasklina na vosku a vrub na odlitku

Popis defektu

Prasklina voskového modelu procházející většinou celou tloušťkou stěny. Často nemusí být na povrchu vůbec patrná a projeví se až na odlitém výrobku jako viditelný vrub oslabující pevnost. Tento vrub má zaoblenou konturu a bývá doprovázen zbytky keramického obalu uvnitř trhliny.

Umístění defektu

Prasklina voskového modelu se může vyskytnout téměř kdekoli, často ale v koutech a na tenkých stěnách.

Příčina defektu

V tomto případě je příčinou lidský faktor. Tato vada vzniká neopatrnou manipulací a nesprávným zacházením s voskovými modely. Nejčastěji ji způsobuje netrpělivost při rozebírání trvalé formy, kdy při neopatrném vytahování jader vznikne trhlina. Méně často pak může vzniknout při následném začišťování či lepení.

Následky defektu

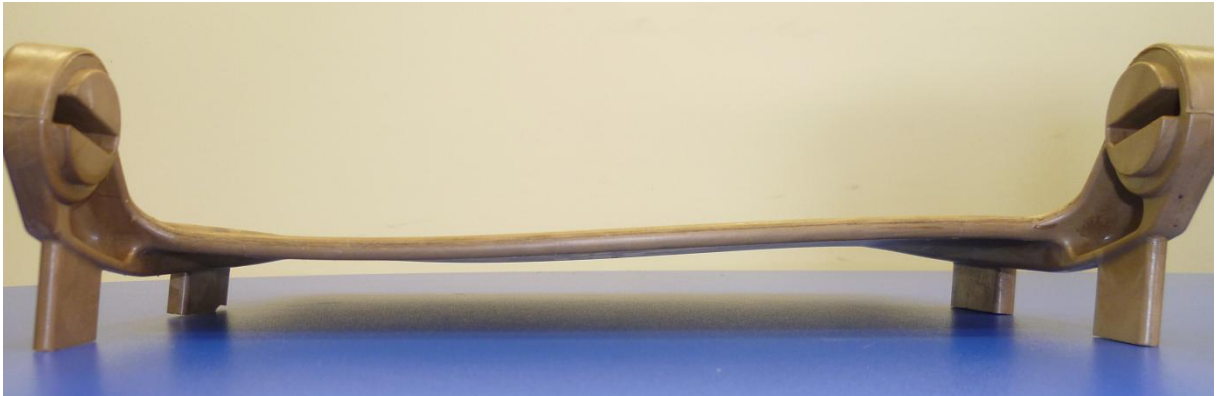
U tohoto typu defektu vzniká problém při následující operaci obalování. Při prvním obalu v místě trhliny vnikne do hloubky až několika desetin mm tekutá obalová směs (břečka). Ta je schopna dostat se i do nejmenších, okem neviditelných trhlin. Zde po vysušení ztvdne. Během vytavování pak vosk z keramické formy vyteče a díky břečce v trhlině vznikne na vnitřní straně formy otřep. Ten se následně „okopíruje“ do odlitého výrobku a na hotovém odlitku vzniká vrub. V konečné fázi tento otřep obalený kovem není schopen opustit vrub ani při tryskání – můžeme jej pozorovat často i pouhým okem.

Taková vada je neopravitelná – vzniká neshodný výrobek.

Předcházení defektu

Jak již bylo řečeno, jedná se zde většinou pouze o lidský faktor. Z tohoto důvodu je nutné proškolení zaměstnanců za účelem velmi trpělivého manipulování a zacházení s voskovým modelem jak při vytahování z formy, tak při následném začišťování a lepení.

3.1.4 Deformace – prohnutí, pokroucení



Obr. 22. – Pokroucený voskový model

Popis defektu

Jedná se o jakoukoli nepřipustnou tvarovou neshodu, nerovnost, pokřivení, ohnutí atd., bez vlivu na povrchovou homogenitu voskového modelu.

Umístění defektu

Tato vada se vyskytuje nejčastěji u velkých tenkostěnných nebo složitých odlitků.

Příčina defektu

Příčinou je špatné skladování hotových voskových modelů. Vosk je materiál velmi poddajný. Poddajnost roste s teplotou. Při teplotách okolo 50°C je již vosk v pastovitém stavu. Proto pokud není správně uložen a skladován v klimatizovaném prostoru, může dojít k pokroucení či prohnutí modelu vlivem gravitační síly.

Následky defektu

I když je voskový model po vytažení z formy přesný zdravý kus, postupem času ztrácí svůj původní tvar. Po odlití pak vzniká nepřesný odlitek s tvarem odlišným od požadavku zákazníka.

Takovýto defekt je jen velmi těžko opravitelný – po odlití se musí pracně rovnat.

Předcházení defektu

Je důležité skladovat voskový model pouze po dobu nezbytně nutnou, a to v klimatizovaných prostorech. Dále je možno užít přípravků bránících deformaci odlitku – podpěry, výztuhy, apod.

3.1.5 Deformace – vydutí



Obr. 23., 24. – Vydutí voskového modelu

Popis defektu

Tento defekt se vyznačuje zvětšením (vydutím) tvaru na povrchu voskového modelu, jak je patrné z obr. 23. a 24.

Umístění defektu

Kdekoli na povrchu voskového modelu. Častěji v oblasti tepelného uzlu, tedy v oblasti, kde se vyskytuje velké množství vosku.

Příčina defektu

Příčiny tohoto defektu jsou většinou dvě. První je příliš brzké vytažení voskového modelu z dutiny formy. Povrch modelu v oblasti tepelného uzlu sice již ztuhnul, ale uvnitř je vosk stále měkký. Ten se začne roztahovat a způsobí vydutí ztuhnuté části, viz. obr. 23. V extrémních případech povrch praskne a neztuhlá vosková směs je vytlačena ven.

Ve druhém případě se dostane pod povrch modelu vzduchová bublina, a to buď špatně homogenizovaným voskem, nebo díky příliš vysokému plnicímu tlaku. Po rozebrání formy a vytažení modelu se bublina začne rozpínat a způsobí vydutí na povrchu – „puchýř“, který je ztelný na obr. 24.

Následky defektu

Vydutí na povrchu voskového modelu způsobí zvětšení rozměrů odlitku.

Taková vada je v rámci možností odstranitelná obráběním. Pokud ale model zcela praskne, je dále nepoužitelný a vzniká neshodný výrobek.

Přecházení defektu

Zde je nutno udržovat formy na optimální teplotě tak, aby vosk v dutině tuhnul rovnoměrně. Dále, i přes tendenci neustálého zrychlování výroby, dodržovat dostatečně dlouhý čas pro kompletní ztvrdnutí voskové směsi.

3.1.6 Nesprávný tvar, rozměr



Obr. 25. – Otřep na modelu po špatném utažení trvalé formy

Popis defektu

Tvar voskového modelu zcela neodpovídá sjednanému tvaru konečného výrobku. V oblasti dělicích rovin často bývá patrný voskový otřep.

Umístění defektu

Takový defekt může být umístěn kdekoli v závislosti na tvaru a složitosti formy.

Příčina defektu

Jedná se o chybu způsobenou výhradně lidským faktorem. V podstatě jde o nedokonale připravenou formu na voskový model. V prvním případě může být forma špatně složena, například záměnou podobných jader. Tehdy se z modelu stává ihned zmetek.

Druhou možností je pouze nedostatečné utažení formy. Během plnění se tlakem rozevře, vosk zaběhne mezi části formy a vznikne otřep v dělicích rovinách. Díky tomuto jevu se značně změní velikost výrobku.

Následky defektu

Vzhledem k tomu, že konečný tvar odlitku je shodný s tvarem voskového modelu, špatné složení formy na voskové modely má za následek okamžitý vznik neshodného

výrobku. Jedná-li se „pouze“ o špatně přitažené šrouby formy, nemusí se z modelu nutně stát zmetek. Většinou je však rozměr změněn natolik, že již neodpovídá toleranci nebo vzniklý otřep způsobuje přílišné zvrásnění povrchu – stává se z něj také zmetek.

Tato vada je neopravitelná – vzniká neshodný výrobek.

Předcházení defektu

Protože finální výrobek bude vždy maximálně tak kvalitní jako je kvalitní voskový model, je nutné dodržovat na pracovišti pořádek a čistotu. Pracovat pouze s precizně očištěnými formami, používat předepsané nářadí a v neposlední řadě soustředit se na vykonávanou práci.

3.2 Vady keramické formy

Nejpodstatnějším problémem keramické formy je to, že vosková směs má oproti keramice značně větší koeficient tepelné roztažnosti. Tepelná roztažnost slitiny spadá někde mezi ně. Tyto odlišnosti vytvářejí nestabilitu ve výrobě odlitků, proto je nutné je sledovat a kontrolovat. [1]

Kontrola pevnosti formy je důležitým faktorem ve výrobě odlitků metodou vytavitelného modelu. Forma musí být pevná, odolná proti případnému poškození (rozbití) při manipulaci, a stejně tak musí být rezistentní proti rozpínání vosku při jeho vytavování, což je v rozporu s použitím měkčích forem, které se lépe vyvarují prasklinám nebo trhlinám na odlitku a jsou po odlití snadněji odstranitelné. [3]

3.2.1 Prasklá, zborcená keramika – vlivem mechanického poškození



Obr. 26. – Zborcený obal



Obr. 27. – Zalepená díra

Popis defektu

Keramická forma je vlivem špatného manipulování buď prasklá částečně, nebo úplně „zborcena“. K tomu může dojít při samotném obalování, což znamená, že dojde k porušení i voskového modelu. Častěji však tento defekt vzniká až po vytavení voskové směsi, kdy je forma daleko křehčí.

Umístění defektu

K prasknutí, či úplnému zborcení obalu, může dojít prakticky v kterémkoli místě keramické formy. Nejčastěji se tak stává u tenkých profilů a značně těžkých odlitků vlivem větší gravitační síly.

Příčina defektu

Zde je z velké části příčinou lidský faktor. Přestože jsou jednotlivé vrstvy keramické formy nanášeny pečlivě a za použití správné hustoty obalové směsi, čímž má forma homogenní tloušťku stěny, může dojít neopatrnou manipulací ke kolizi obalovaného voskového modelu nebo vytavené keramické formy s namáčecí vanou, gravitačním sypačem, autoklávem či jiným příslušenstvím slévárny, a tím dojde k prasknutí, popřípadě úplnému „zborcení“ obalu.

Následky defektu

Pokud je keramický obal zcela „zborcen“, jedná se okamžitě o neshodný výrobek. V některých případech je ale forma porušena tak, že se ulomí například pouze jeden voskový model na stromečku. V takovém případě je možné opatrnou manipulací díru po modelu zacelit a formu použít k dalšímu zpracování, jak je patrné z obr. 27. Je také možné, že keramická forma praskne jenom nepatrně. Toto prasknutí není okem viditelné a k úplnému prolomení obalu dojde až při samotném lití, kdy forma nevydrží žár způsobený tekutým kovem.

Předcházení defektu

Zde je nutné manipulovat jak s obalovaným voskovým modelem, tak s vytavenou formou co nejopatrněji.

3.2.2 Prasklá, zborcená keramika – vlivem nízké pevnosti, tloušťky formy

Popis defektu

Keramická forma dostává díky špatně vytvořenému obalu nekonstantní tloušťku stěn a tím špatnou pevnost, následkem čehož může snadněji prasknout. V tomto případě forma praská až po vytavení nebo během samotného lití tekutého kovu.

Umístění defektu

Ke špatnému nanesení keramické břečky a posypového materiálu může dojít v kterékoli oblasti formy. Častěji se tak ale stává ve špatně dostupných místech, jako jsou dutiny, žebra, nebo kouty.

Příčina defektu

Příčinou tohoto defektu je na rozdíl od předchozí vady špatně vytvořená keramická forma. Takových faktorů může být více. Prvním je špatný technologický postup, ve kterém je předepsán menší počet obalů, než kolik je skutečně nutné. Druhým může být vliv nepečlivého a netrpělivého nanášení jednotlivých vrstev obalů a žáruvzdorného posypu. V posledním případě se jedná o špatnou přípravu obalové směsi, kdy není dodržena správná hustota a homogenita nebo je špatně zvolena velikost zrn žáruvzdorného materiálu.

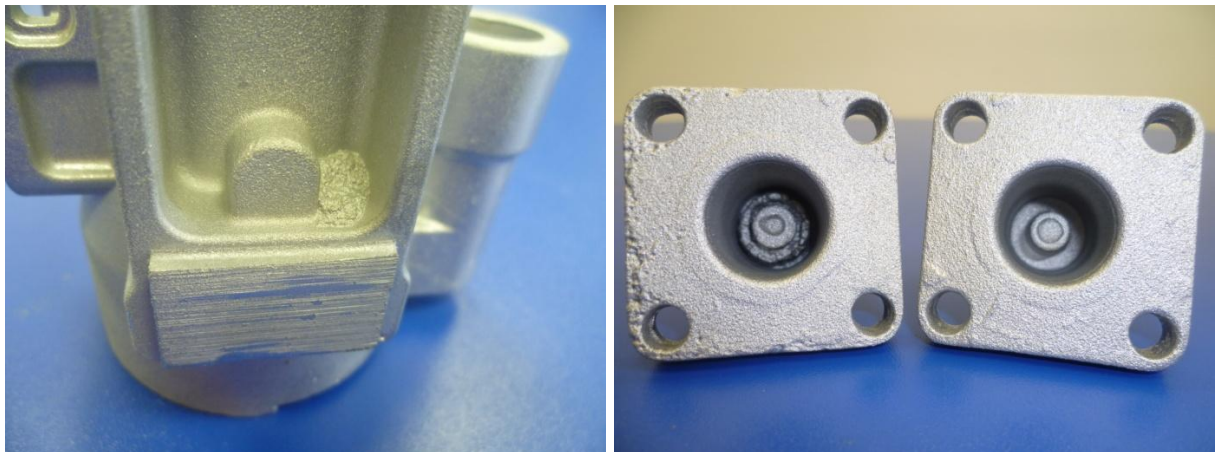
Následky defektu

Díky špatnému nanesení jednotlivých vrstev nebo použití nekvalitního materiálu, vznikne keramická forma, která má silně nehomogenní tloušťku. Nejčastěji ve špatně dostupných místech jako jsou kouty a dutiny. Taková skořepina je potom náchylnější na praskání, či úplné zborcení při manipulaci s formou nebo samotném lití, jak je popsáno v následcích defektu 3.2.1. Tyto vady jsou tedy spolu přímo propojeny.

Předcházení defektu

Především je třeba dbát na správně zvolený technologický postup, tzn. zvolení optimálního počtu obalů, hustoty obalové směsi a žáruvzdorného materiálu. V neposledním případě je nezbytné rovnoměrné nanášení obalové směsi tak, aby se dostala do všech koutů a spár stejná vrstva.

3.2.3 Nepravidelný výronek – kout, dutina



Obr. 28. – Nepravidelný výronek v koutě odlitku

Obr. 29. – Rozdíl mezi dobrým (vpravo) a neshodným kusem (vlevo)

Popis defektu

Nepravidelný nárůst materiálu nacházející se převážně v koutě, rohu, vnitřní hraně odlitku nebo v dutině.

Umístění defektu

Tento typ defektu je umístěn převážně ve více či méně uzavřených místech jako jsou dutiny, kouty, rohy, vnitřních hrany odlitku apod.

Příčina defektu

Jedná-li se o kouty, hrany nebo rohy, pak je příčinou nekvalitně provedený obal, kdy nedošlo ke zhotovení plnohodnotné keramické formy o požadované tloušťce. Při nanášení 1., výjimečně 2. obalu nebyla správně zvolena viskozita obalové kaše (břečky) nebo tato nebyla dostatečně okapána, čímž došlo k nahromadění břečky v místě defektu. Silná vrstva břečky jednak dobře neproschne a především má tato směs bez posypového materiálu velmi malou pevnost. Během vytavování nebo vlivem tekutého proudu kovu při lití, dojde k utržení tohoto ostrého rohu, koutu, respektive hrany.

Pokud výronek vznikl v dutině formy, je příčina jiná. Během nanášení posypové směsi dochází k ulpívání zrníček písku na obalové kaši. Zrna, která ulpí pevně jako první, jsou pro správnou pevnost a tloušťku keramické formy velmi důležitá a po zaschnutí (vytvrzení), vytvoří souvislou a rovnoměrnou tloušťku obalu. Zrna, která ale ulpí ve vrstvě jako druhá a další, jsou uchycena pouze částečně. Ty již nezvyšují pevnost keramické formy, ale pouze velmi zužují prostor dutiny. Do takové dutiny pak vniká obalová kaše a následný posypový písek jen velmi těžko, čímž je zabráněno vytvoření následujícího plnohodnotného obalu.

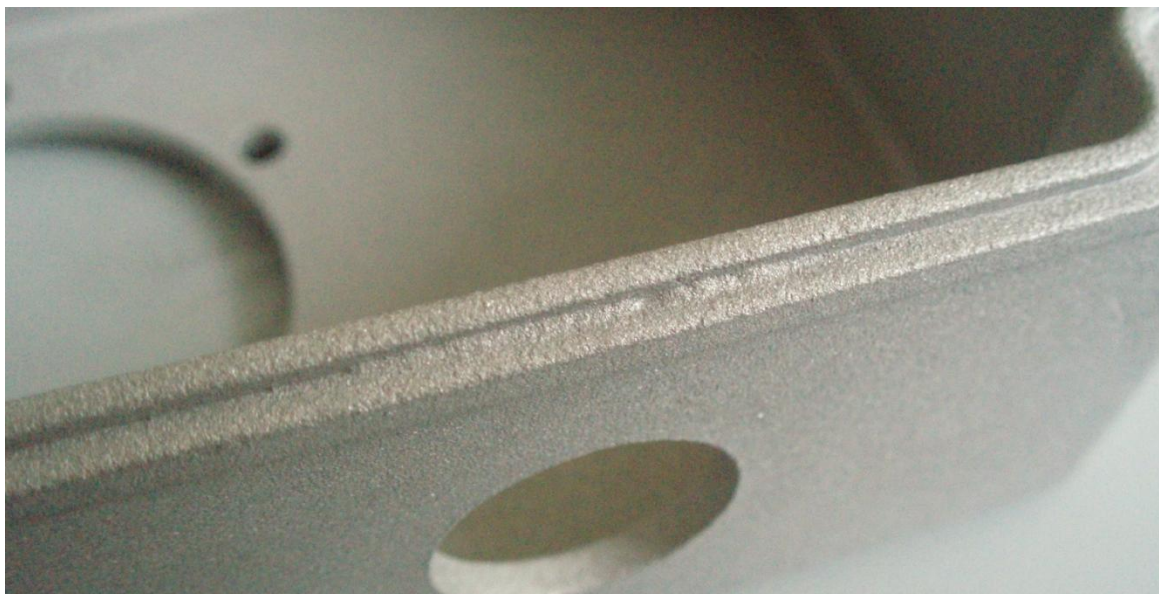
Následky defektu

Při následném odlévání tekutého kovu do formy dojde k vniknutí kovu mezi nedokonale provedené obaly a tím k tvorbě výronku nepravidelného tvaru. Zřídka může dojít až k vytečení kovu z dutiny formy, ještě před úplným vyplněním kovem. V extrémních případech je defekt formy takových rozměrů, že k zaplnění dutiny ani nedojde a veškerý kov vytéká otvorem po utržení. Většinou má tento defekt za následek výrobu neshodného výrobku.

Předcházení defektu

Během obalování je nutno dbát správné hustoty obalové kaše. Při nanášení 1. obalu zajistit rovnoměrný nános „břečky“ na celý povrch odlitku. Stálým otáčením smočeného stromečku pak zamezit nahromadění kaše v koutech a rozích. Provedením silného vyfoukání před následným obalem dosáhneme odstranění přebytečných zrn, které již nezvyšují pevnost formy. Nezbytné je následně důkladné vysušení celého objemu keramické skořepiny.

3.2.4 Nepravidelný výronek – ostrá hrana, ostrý kout



Obr. 30. – Nepravidelný výronek podél ostré hrany

Popis vady

Nepravidelný nárůst kovu podél ostré hrany, popřípadě v ostrém rohu odlitku.

Umístění defektu

Nejčastěji v místech, kde nejsou hrany odlitku opatřeny zkosením nebo zaoblením.

Příčina defektu

Jedná se o špatnou výrobu 1., popřípadě 2. obalu. Během nanášení vrstvy obalové směsi zůstanou v ostrých koutech nebo podél ostrých hran větší či menší vzduchové kapsy. Po posypání zamočeného modelu žáruvzdorným materiálem se kapsa uzavře a vytvoří nežádoucí dutinu.

Následky defektu

Během lití je dutina po vzduchové kapse vyplněna kovem spolu s vlastní dutinou formy. Na místě ostrých kontur koutů a vnitřních hran vzniká nepravidelný výronek, který zcela omezí původní funkci odlitku.

Tento defekt je neopravitelný – vzniká neshodný výrobek.

Předcházení defektu

Nejjednodušším řešením je provést konstrukční úpravu v inkriminovaném ostrém rohu a to pomocí zaoblení nebo zkosení. Pokud to není možné, je nutné provádět nanášení 1. vrstvy obalové kaše s maximální pečlivostí tak, aby byl v ostrých konturách eliminován výskyt bublin a vzduchových kapes. Toho lze dosáhnout obalovou kaší o co nejnižší hustotě, popřípadě k lepšímu rozprostření kaše použít tlakového vzduchu nebo štětce.

3.2.5 Podélný výronek



Obr. 31. – Podélný výronek

Popis defektu

Nárůst materiálu nacházející se na ploše nebo na hranách odlitku. Tento podélný výronek materiálu je většinou doprovázen kuličkami nepravidelného tvaru, které z něj ústí.

Umístění defektu

Tento typ defektu je umístěn převážně na rozměrných nebo na silnostěnných odlitcích. Defekt se nachází spíše na velkých plochách a hranách odlitku.

Příčina defektu

Před nanášením 1. obalu nebyla provedena dostatečná temperace (aklimatizace) stromečku. Výroba keramické formy pak nebyla prováděna při konstantní teplotě. Rozdíl teplot během výroby jednotlivých obalů nesmí být velký. Čím rozměrnější odlitky, tím je zapotřebí menší rozdíl teplot. Tepelná dilatace vosku změnou teploty je důvodem prasknutí formy. Týká se to hlavně výroby 1., 2., respektive 3. obalu, kdy je pevnost formy velmi malá a již nepatrná změna rozměru (vlivem změny teploty) má za následek roztržení formy.

Druhou možnou příčinou je neproběhnutí žádaného tepelného šoku při vytavování v autoklávu. Voskový model pak vlivem pomalého vzrůstu teploty zvětší svůj objem dříve, než dojde k roztavení vosku. Vzhledem k tomu, že vosk má větší koeficient tepelné roztažnosti, keramika v poměru s modelem dilatuje jen nepatrně a tím vznikají praskliny ve skořepině.

Následky defektu

Následkem tohoto defektu je částečné roztržení (ne úplné zborcení) formy a vniknutí tekutého kovu do trhliny při lití. Kuličky, resp. nepravidelné oblé tvary viditelné na obr. 31., vznikly vytékáním tekutého kovu skrz trhlínu ve formě během lití. V případě uvedeném na obrázku došlo ke ztuhnutí kovu již v prasklině, dříve než došlo k vytečení kovu skrz prasklou formu. V případě, kdy je trhlina většího průřezu, dojde k úplnému vytečení kovu z formy. Takto vyrobený odlitek do částečně prasklé formy vykazuje na ploše odlitku vždy podélný výronek nepravidelného tvaru.

Jeho tloušťka je u kořene pouze několik desetin mm, takže je možné jeho odstranění. Často však dojde k přesazení keramické formy, což se projeví „schodkem“ na povrchu odlitku. Nejedná-li se o obráběnou plochu, vzniká neshodný výrobek.

Předcházení defektu

Vlivem rozdílných teplot v prostorách výroby voskových modelů, obalovnách a sušárnách je nutné dbát na dostatečnou dobu aklimatizace stromečků před nanášením 1. obalu. Dále dodržovat konstantní teplotu během nanášení jednotlivých obalů keramické skořepiny. V neposlední řadě je nutné dosáhnout během vytavování v autoklávu „tepelného šoku“, díky kterému dojde k vytavení voskové směsi dříve, než by došlo k tak velké tepelné dilataci tuhého vosku, jejímž následkem by bylo poškození formy.

3.2.6 Zadrobeniny



Obr. 32. – Zadrobeniny na spodní ploše odlitku



Obr. 33. – Zadrobenina

Popis defektu

Na povrchu nebo uvnitř odlitku jsou patrné nepravidelné dutiny, často doprovázené zbytkem keramické formy.

Umístění defektu

Kdekoli, viditelné na povrchu nebo skryté uvnitř odlitku. Nejčastěji se vyskytuje na spodních, rozlehlých plochách odlitého výrobku.

Příčina defektu

Tato vada je přímo spojena s vadou „výronek“. De facto se jedná o její doprovodný jev. Vlivem utržení části obalové hmoty (jak je popsáno u vady 3.2.3 a 3.2.4) se jejich částice, ať už větší či menší, dostanou do roztaveného kovu. Po ztuhnutí pak tvoří nehomogenní odlitek.

Tento jev může být na odlitku patrný i přesto, že nedošlo k žádnému vydrobení keramické licí formy na daném odlitku. V tomto případě je nutné hledat příčinu vydrobení v nekvalitní vtokové soustavě, v zanesení keramických nečistot během manipulace při vytavování, zakládání do regálů nebo do pece při žíhání skořepiny. Ke vniknutí zbytku keramické formy může také dojít při odlévání, kdy dělník licí pánví ulomí část keramického hrdla, které proud tekutého kovu strhne do dutiny formy.

Následky defektu

Tento druh defektu má za následek výskyt zadrobenin ve všech částech odlitku. Jedná se o zbytky vydrobené formy, které buď při vytavení, nebo při lití putují v dutině formy a vzhledem ke své hmotnosti se usazují převážně ve spodních částech odlitku. V takových částech pak vzniká necelistvý, nehomogenní povrch.

Tato vada je částečně opravitelná tmelením nebo zavařením, je-li to technologickým postupem dovoleno.

Předcházení defektu

Předcházení tomuto defektu je popsáno v kapitolách 3.2.3 a 3.2.4. Dále je nutné dbát opatrného zacházení s vytavenou keramickou skořepinou, aby nedošlo k zanesení posypových zrn nebo jiných nečistot do dutiny formy.

3.3 Vady odlévání

3.3.1 Nezaběhnutí, neúplný tvar



Obr. 34. – Nezaběhnutí (zaoblený otvor)



Obr. 35. – Studený spoj

Popis defektu

Výrobek nemá po odlití požadovaný tvar – jsou viditelná nedotečená místa, studené spoje a mohou se také vyskytovat zaoblené otvory na tenkých stěnách. Hrany odlitku nejsou dokonale ostré.

Studený spoj je nedokonalé spojení dvou protichůdných proudů kovu. Vyskytuje se ve větších vzdálenostech od vtokového systému. Tyto dva proudy se během vyplňování ochladí natolik, že pak již nejsou schopny se dokonale propojit a vytvořit celistvý tvar.

Umístění defektu

Tato vada se může vyskytnout v kterékoli části odlitku. Častěji na místech vzdálenějších od zářezu.

Příčina defektu [4]

Nejčastějším problémem je malá prodyšnost keramické formy vzniklá buď špatným složením keramického obalu, nebo nedokonalým vyžiháním. Vzduch v rozích a v úzkých profilech nestihne včas uniknout a kov tak nevyplní celou formu.

Druhou možností je nízká teplota kovu nebo formy během lití. Kov je ochlazován stěnami formy a nestihne vyplnit celou dutinu formy dříve, než ztuhne.

V některých případech může být příčinou špatné nastavení vtokového systému. Kov proudí do formy příliš pomalu a taktéž ztuhne dříve, než dokonale vyplní celou dutinu.

Tato vada je neopravitelná – vzniká neshodný výrobek.

Následky defektu

Vlivem popsaných příčin vznikají neostré hrany a obrysy, nezaběhnuté stěny – odlitek nemá požadovaný tvar.

Vzniká neshodný výrobek. Tato vada je neopravitelná.

Předcházení defektu

Prvním předpokladem je správné zvolení vtokového systému, aby byl proud kovu při lití dostatečně rychlý a stihl vyplnit celou formu dříve, než ztuhne. V neposlední řadě je nutné striktně dodržovat teplotu formy a kovu během samotného lití.

3.3.2 Staženiny, řediny



Obr. 36. – Staženina v oblasti vtoku



Obr. 37. – RTG snímek řediny

Popis defektu

Na povrchu nebo uvnitř odlitku se vyskytují dutiny s velmi drsným povrchem. Téměř jakéhokoli tvaru a velikosti.

Umístění defektu

Staženina je umístěna na povrchu odlitku, a to převážně v blízkosti vtokové nebo náliťkové soustavy. Vnitřní rozptýlená staženina – ředina se vyskytuje ve vtokové soustavě a zasahuje až do funkční části odlitku. S ředinami se však velmi často setkáváme také v kterékoli silné partii odlitku.

Příčiny defektu

U této vady je příčinou špatné navržení vtokové a náliťkové soustavy nebo není dodržena vhodná konstrukce odlitku ze slévárenského hlediska.

Následky defektu

Ve všech případech dochází k neusměrněnému tuhnutí materiálu. Kov v nálitkové soustavě ztuhne dříve než ve funkční části odlitku, čímž se nedostává dostatečného množství materiálu k doplňování kovu při tuhnutí vlastní části odlitku. V tepelných uzlech pak vzniká nehomogenita materiálu v podobě dutin.

Některé povrchové staženiny se dají opravit například svařováním. Vnitřní nehomogenitu nelze běžnými metodami oprav odstranit.

Předcházení defektu

Zajistit usměrněné tuhnutí odlitku tak, aby docházelo k postupnému chladnutí (tuhnutí) nejprve funkční části odlitku směrem k zářezům, potom vtokové soustavy a naposled licí jamky. Jedině tak vzniknou žádoucí staženiny pouze v samotné vtokové soustavě.

3.3.3 Bublina



Obr. 38. – Bublina na povrchu odlitku

Popis defektu

Pravidelně ohraničená bublina těsně pod povrchem horizontálně umístěné stěny odlitku. Bublina může být velikosti od několika desetin mm až po 5 mm, výjimečně i více.

Umístění defektu

Tento typ defektu je umístěn výlučně v horní části vodorovné nebo šikmé stěny daného odlitku, v místě kolem výfuku, vtoku nebo nálitku.

Příčina defektu

Při lití materiálu do dutiny formy došlo turbulencí proudu k zamíchání vzduchu do tekutého kovu. Uzavřený vzduch ve formě větších či menších bublin stoupá v době, kdy je odlitek v tekuté fázi směrem nahoru a tuhne právě v horních oblastech odlitku.

Následky defektu

Tyto bubliny bývají často skryty pod povrchem v hloubce několika desetin mm, takže po odlití není tento defekt patrný. K jeho odhalení dochází až během tryskání odlitku. Tato vada je neopravitelná – vzniká neshodný výrobek.

Předcházení defektu

Při konstrukci stromečků dbát, pokud možno, na šikmé nebo zcela vertikální postavení velkých rovinných ploch modelů odlitků. Samotné odlévání následně provádět klidným a pomalým způsobem po stěně licí jamky, vtokového kůlu, stěně až ke spodním částem odlitku.

3.3.4 Zbytek vosku – popel



Obr. 39., 40. – Vliv zbytku popela na povrch odlitku

Popis defektu

Hrubý, drsný povrch odlitku, často doprovázený viditelným začerněním ve struktuře.

Umístění defektu

Tento defekt se nejčastěji vyskytuje ve špatně dostupných dutinách a zákoutích formy.

Příčina defektu

Během vytavování voskového modelu ze skořepinové formy, nedošlo k dokonalému vytečení voskové směsi ze špatně dostupné oblasti. Pokud vosková směs obsahuje vysoké procento popelovin, zůstávají tyto i po žhání v dutině formy.

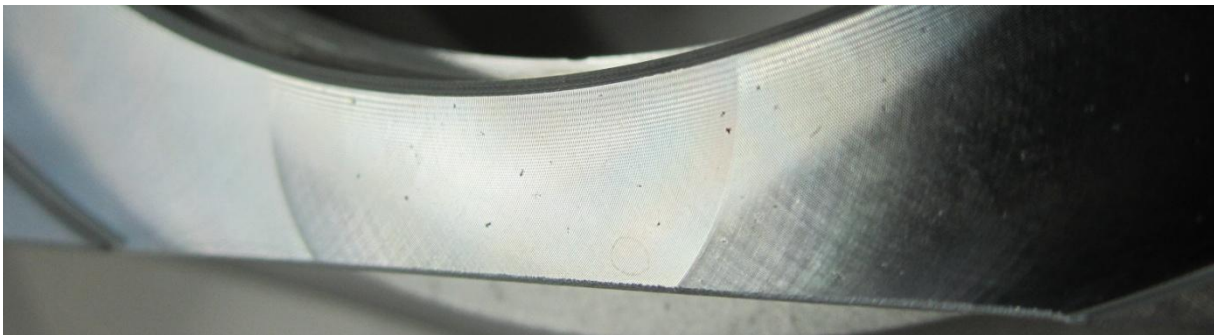
Následky defektu

Nečistoty v dutině formy způsobí velmi špatnou drsnost povrchu odlitku. Pokud se nejedná o obráběnou plochu, jedná se většinou o neshodný výrobek.

Předcházení defektu

Zde je potřeba dbát na správné přilepení voskových modelů při skládání do stromečků. Jednotlivé modely musí být na vtokové soustavě přilepeny tak, aby bylo zaručeno volné odtékání vosku z dutiny formy během vytavování v autoklávu. Případně udržovat procento popelovin ve vosku na velmi nízké úrovni.

3.3.5 Naplynění



Obr. 41. – Naplynění na povrchu obrobeného odlitku

Popis defektu

Obvykle po obrobení lze pozorovat na povrchu odlitku větší množství drobné perezity.

Umístění defektu

V kterékoliv části na povrchu obrobeného odlitku.

Příčina defektu [17]

Zásadním problémem je velký rozdíl rozpustnosti vodíku ve slitině hliníku, v tuhém a tekutém stavu. Skutečný obsah vodíku ve slitině byl větší, než jaká je jeho rozpustnost v tuhém stavu.

Následky defektu [17]

Vlivem velkého množství vodíku ve slitině se vodík začne vylučovat buď difuzí, nebo ve formě vznikajících bublin. Tyto bubliny pak putují tuhoucím kovem směrem vzhůru a těsně pod povrchem odlitku zcela zatuhnou. Po obrobení se tato perezita odhalí.

Většinou se jedná o neopravitelnou vadu – vzniká neshodný výrobek.

Předcházení defektu [17]

Je nutné tavit pouze ze suché a čisté vsázky. Dále je důležité zbytečně roztavený materiál nepřehřívat. Popřípadě je vhodné používat odplyňovacích solí nebo zařízení.

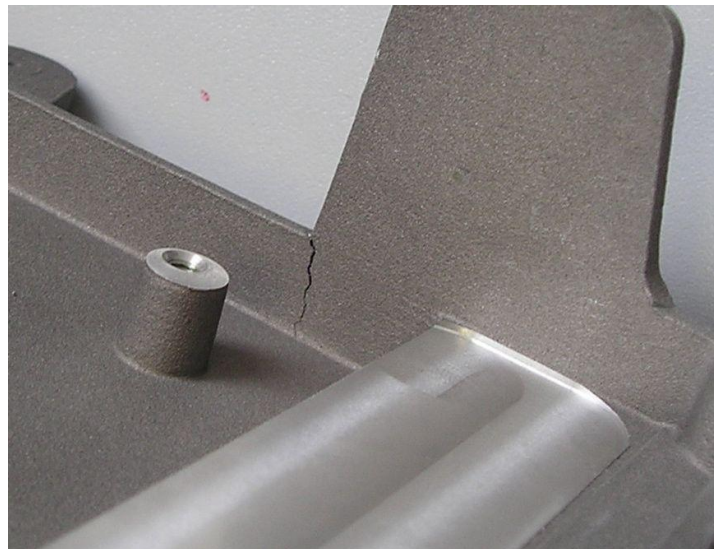
3.3.6 Trhliny, praskliny



Obr. 42. – Trhlina za tepla



Obr. 43. – Zcela roztržený odlitek



Obr. 44. – Trhlina v ostrém koutě odlitku

Popis defektu

Jedná se o trhlinu (prasklinu) s ostrou konturou, většinou viditelnou pouhým okem.

Umístění defektu

Tento defekt se vyskytuje v ostrém rohu, koutě nebo velmi tenké části odlitku. Často v přechodu odlitek – vtok.

Příčina defektu

Ve většině případů je na vinně špatné nastavení technologických úkosů a rádiusů. Popřípadě špatné složení keramické obalové směsi, která je velmi pevná a nedovolí kovu dostatečné smrštění.

V méně častých případech dojde k prasknutí vlivem velmi razantního odstraňování keramické formy.

Následky defektu

Při chladnutí a tuhnutí odlitého materiálu dochází ke smršťování jak keramické formy, tak samotného kovu. Vzhledem k tomu, že se skořepina smršťuje v mnohem menším měřítku než kov, začnou ve výše jmenovaných kritických místech vznikat tzv. trhliny za tepla.

Tato vada je neopravitelná – vzniká neshodný výrobek.

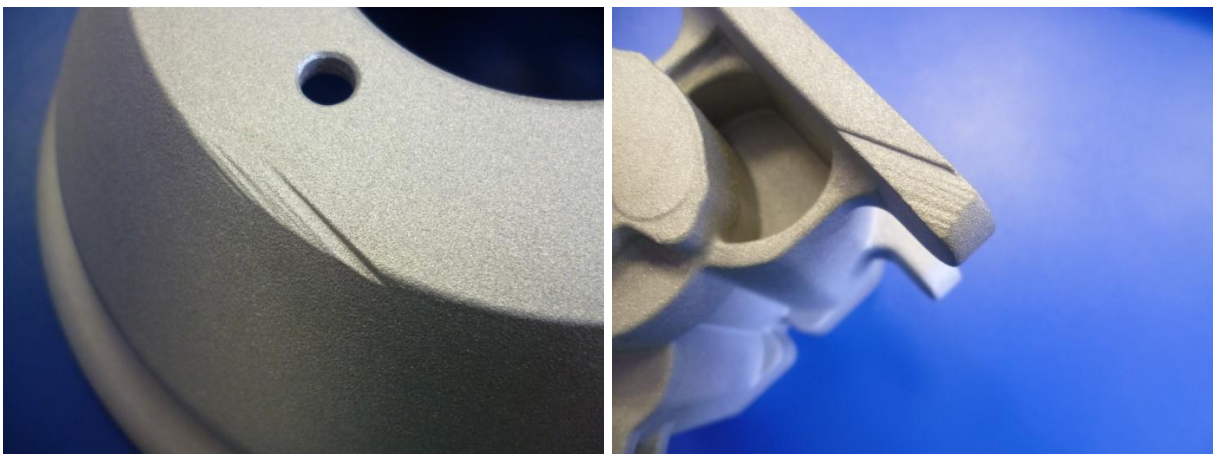
Předcházení defektu

Jedná-li se o trhliny za tepla, je nutné dodržovat správné technologické prvky, jako jsou zaoblení, úkosy na všech ostrých hranách a koutech. Dále dodržovat přesné složení obalové břečky a posypového materiálu.

Při odstraňování keramické formy z odlitku používat pouze přiměřené síly vzhledem k velikosti a křehkosti odlitku. Opatrná manipulace s odlitky je samozřejmostí.

3.4 Vady dokončovacích operací

3.4.1 Zařezání



Obr. 45., 46. – Zařezání do funkční části odlitku

Popis defektu

Stopy po zařezání viditelné na povrchu nebo v extrémních případech zasahující hluboko do odlitku.

Umístění defektu

Tato vada může vzniknout kdekoli na odlitku, nejčastěji ale v okolí vtoku.

Příčina defektu

Zde se jedná výhradně o lidský faktor. Po odlití a hrubém odstranění keramické skořepiny je nutné odřezat jednotlivé odlitky v místě vtoku od vtokové soustavy. Během této operace dělník zařeže také do funkční části odlitku, a tím jej znehodnotí.

Následky defektu

V rámci možností je vada odstranitelná obráběním nebo zabroušením. Ve většině případů, ale vzniká neshodný výrobek.

Předcházení defektu

Při navrhování odlitku je vhodné odlitek konstrukčně upravit tak, aby byl vtok co nejlépe přístupný. Dále je nezbytné odřezávat odlitky s maximální opatrností.

3.4.2 Deformace povrchu pískováním



Obr. 47. – Porovnání shodného (nahore) a pískováním poškozeného (dole) kusu

Popis defektu

Povrch odlitku má velmi špatnou drsnost nebo je zcela deformovaná jemná kontura některých částí po apretaci.

Umístění defektu

Tento defekt může vzniknout v kterékoliv části výrobku. Zejména u jemných kontur jako jsou loga a nejrůznější textové poznámky na povrchu odlitku.

Příčina defektu

Většinou se jedná o špatné nastavení tryskacího stroje. Tlak vzduchu nesoucího abrazivní částice je nastaven na příliš vysokou hodnotu. V méně častých případech dělník pískuje odlitek nerovnoměrně.

Následky defektu

Vlivem vysokého tlaku či soustředění paprsku abrazivních částic příliš dlouhou dobu do jednoho místa dojde k vymílání nejen zbytků keramické formy, ale také vlastního materiálu odlitku. Tím se značně zhorší struktura povrchu. V extrémních případech můžou drobné loga a nápisy zcela zaniknout.

Předcházení defektu

Nejdůležitější je nastavení optimálního tryskacího tlaku a použití správného abrazivního materiálu. Dále je odlitek nutné pískovat rychle, opatrně a rovnoměrně po celém povrchu.

3.4.3 Deformace manipulací



Obr. 48. – Odlitek zdeformovaný manipulací

Popis defektu

Odlitek je mechanicky poškozen – otlučen, odřen, pokřiven, ohnut...

Umístění defektu

Poškození manipulací je možné v kterékoli části odlitku.

Příčina defektu

Během dokončovacích operací dojde vlivem neopatrné manipulace k mechanickému poškození odlitku.

Následky defektu

V některých případech je možné takto poškozený odlitek opět narovnat nebo obrousit. Většinou se ale jedná o neshodný výrobek.

Předcházení defektu

Při jakékoliv operaci v této fázi výroby je nutné dbát zvýšené opatrnosti. Zničení odlitku, který je po odlití shodný, je velmi ztrátové, hlavně z hlediska výrobního času.

3.5 Ostatní vady

3.5.1 Nedodržené chemické složení

Popis defektu

Materiál, ze kterého je odlitek zhotoven, neodpovídá předepsanému chemickému složení.

Příčina defektu

Slitina připravená k odlití byla špatně připravena, dolegována nebo se do ní dostal nežádoucí chemický prvek – nečistota.

Následky defektu

Odlitek vyrobený z materiálu o špatném chemickém složení může postrádat vlastnosti požadované zákazníkem. Ať už chemické, mechanické či jiné.

Předcházení defektu

Dbát správného složení kovu k odlévání.

3.5.2 Nesprávné tepelné zpracování

Popis defektu

Odlitky neodpovídají předepsaným mechanickým vlastnostem vlivem špatného tepelného zpracování.

Příčina defektu

Tepelné zpracování proběhlo za nestandardních podmínek.

Následky defektu

Materiál postrádá předepsané mechanické vlastnosti.

Předcházení defektu

Striktně dodržovat předepsané podmínky tepelného zpracování jako je čas a teplota.

3.5.3 Nedodržené mechanické vlastnosti

Popis defektu

Materiál, ze kterého je odlitek zhotoven, nemá předepsané mechanické vlastnosti.

Příčina defektu

Tato vada je přímo spojena s vadou 3.5.1. a 3.5.2. Pokud dojde k nedodržení chemického složení materiálu, ve většině případů nejsou dodrženy ani mechanické vlastnosti. Mechanické vlastnosti jsou také přímo spojeny s tepelným zpracováním odlitků.

Následky defektu

Odlitek není schopen dobře odolávat mechanickému zatěžování. Jedná se o neshodný výrobek.

Předcházení defektu

Vždy je nutné dodržovat správné chemické složení a předepsané tepelné zpracování.

4 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se dělí do dvou hlavních kapitol. V první je stručně popsána výroba odlitků metodou vytavitelného modelu. V druhé části práce byla popsána majoritní většina defektů vznikajících během výroby odlitků metodou vytavitelného modelu.

Technologická část i katalog vad jsou pojaty tak, že i člověk, který s touto technologií nemá žádné zkušenosti, dokáže po porovnání vady odlitku s katalogem určit, kde daný defekt vzniknul, z jakých příčin, jaké má následky a jak jim předcházet. A to i za předpokladu, že takový neshodný odlitek drží v ruce poprvé.

V katalogu nejsou popsány pouze vady finálního odlitku, ale také defekty, které se běžně do stavu hotového odlitku nedostanou jako například vady voskového modelu. Je přirozené, kontrolovat výrobek během celého procesu výroby mezi jednotlivými operacemi tak, aby neshodný výrobek způsobený vadou voskového modelu neputoval celou výrobou až k finální kontrole a zde se teprve vyřadil. Tyto vadné výrobky jsou pak zachyceny mnohem dříve, čímž se šetří materiál, výrobní čas a náklady.

Nejdůležitějším předpokladem efektivního provozu jakékoliv společnosti je ale přístup všech zaměstnanců, jejich postavení k práci a zodpovědnost s jakou jednotlivé výrobky vytvářejí. Lze si jen těžko představit prosperující společnost, ve které nejsou zaměstnanci pečlivě proškoleni, a kteří se během pracovního procesu nesoustředí pouze na práci.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BEELEY, Peter R. *Investment Casting*. 1 ed. London: The Institute of Materials, 1995, 486 s. ISBN 09-017-1666-9.
- [2] ELBEL, Tomáš. *Vady odlitků ze slitin železa*. Brno: Matecs, 1992, 340 s.
- [3] HERMAN, Aleš. *Lití na vytavitelný model* [online]. 2007, 30 s. [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/MPL/presne%20liti%20na%20vytavitelny%20model.pdf>
- [4] DOŠKÁŘ, J., J. GABRIEL, M. HOUŠŤ a M. PAVELKA. *Výroba přesných odlitků*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1976, 315 s.
- [5] MRÁZEK, Martin. *Slévárství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2008. ISBN 0037-6825.
- [6] HORÁČEK, Milan. *LATEST TRENDS IN INVESTMENT CASTING TECHNOLOGY* [online]. 2008 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://www.investmentcastingwax.com/downloads/tl6.pdf>
- [7] *Lost Wax Casting Process in India* [online]. 6.4.2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.prevailcasting.com/process-lost-wax.html>
- [8] *Lost Wax Investment Casting - Northern Precision Casting Co.* [online]. 3.6.2009 [cit. 2012-07-03]. Dostupné z: <http://www.northernprecision.com/facts.htm>
- [9] *Pattern Wax - Argueso* [online]. 22.5.2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://http://www.argueso.com/pattern_wax.asp
- [10] *HK-3018 pattern wax products, buy HK-3018 pattern wax products from alibaba.com* [online]. 22.5.2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.alibaba.com/productgs/315136465/HK_3018_pattern_wax.html
- [11] *Pattern Assembly, Investment Casting - Investacast* [online]. 22.5.2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.investacast.com/pattern_assembly.aspx
- [12] *ALUCAST, s.r.o. - výroba přesných hliníkových odlitků* [online]. 22.5.2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.alucast.cz/poradenstvi.html>
- [13] *Wax patterns | Lost wax | coring tools* [online]. 22.5.2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.jmlcanada.com/allabouttoolingpatternsandcores.htm>
- [14] MIKULKA, Vít. *Optimalizace technologie výroby Al odlitku litého metodou vytavitelného modelu*. Brno, 2010. 73 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce prof. Ing. Milan Horáček, CSc.
- [15] HORÁČEK, Milan. *Rozměrová přesnost odlitků vyráběných metodou vytavitelného modelu*. 1. vyd. Brno: VUT FSI, 2009, 89 s. ISBN 80-214-2558-X.
- [16] *Výroba železa* [online]. 28.2.2008 [cit. 2012-02-22]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html

- [17] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 148 s. ISBN 80-214-2790-6.