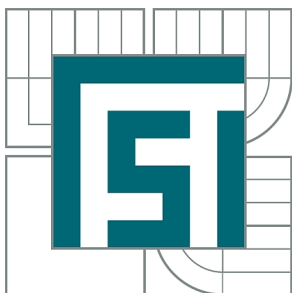


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE ZHOTOVENÍ ODLITKŮ "NA HOTOVO"

"NET SHAPE" TECHNOLOGIES SUITABLE FOR CASTINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

FILIP BARTOŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MILAN HORÁČEK, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Filip Bartoš

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 zhotovení odlitků "na hotovo"

v anglickém jazyce:

"Net Shape" technologies suitable for castings

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provedení literární rešerše nejvýznamnějších moderních slévárenských technologií vedoucích ke zhotovení odlitků s konečnými rozměry a tolerancemi požadovanými zákazníkem.

Cíle bakalářské práce:

Zhodnocení moderních slévárenských technologií nacházejících praktická uplatnění při výrobě odlitků bez nutnosti dalšího obrábění, tzv. "Net-Shape" technologie.

Seznam odborné literatury:

1. BEELEY, PR. and SMART, RF. Investment Casting. 1st ed. Cambridge: The University Press, 1995. 486 p. ISBN 0-901716-66-9.
2. DOŠKÁŘ, J., GABRIEL, J., aj. Výroba přesných odlitků. 1. vyd. Praha: SNTL, 1976. 315 s. DT 621.746.
3. CAMPBELL, J. Castings. 1st ed. Oxford: Butterworth – Heinemann, 1991. 288 p. ISBN 0-7506-1072.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Milan Horáček, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce si klade za úkol shromáždit základní informace o technologiích používaných při výrobě odlitků na hotovo, tedy bez nutnosti dalšího obrábění, tzv. „Net-Shape“. Zaměřena je především na technologii vytavitelného modelu, spalitelného modelu, skořepinového lití „Croning“, tlakové lití, lití do kokil a odstředivé lití. Všechny tyto technologie jsou porovnány z hlediska specifických vlastností, rozsahu použití, ekonomiky výroby, výhod, nevýhod, výsledné kvality odlitků a dalších důležitých faktorů.

Klíčová slova

Přesné lití, vytavitelný model, spalitelný model, skořepinové lití „Croning“, tlakové lití, lití do kokil, odstředivé lití.

ABSTRACT

This thesis has the task to gather basic information about the technologies used in the manufacture of finished castings, i.e. without further processing, the so-called "Net-Shape". It is focused on technology investment pattern, the combustible model shell casting "Croning", die casting pressure, die casting to ingot and centrifugal casting. All these technologies are compared in terms of specific features, range use, production economy, the advantages, disadvantages, the resulting quality of castings and other important factors.

Key words

Investment casting, lost wax, combustible model, shell molding "Croning" die casting pressure, die casting to ingot, centrifugal casting.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BARTOŠ, F. *Zhodnocení moderních slévárenských technologií nacházejících praktická uplatnění při výrobě odlitků bez nutnosti dalšího obrábění, tzv. "Net-Shape" technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 30 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Milan Horáček, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Technologie zhotovení odlitků "na hotovo"** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 28.5.2010

.....

Filip Bartoš

Poděkování

Děkuji tímto prof. Ing. Milanovi Horáčkovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
Úvod	8
1 DEFINICE A ROZDĚLENÍ METOD PŘESNÉHO LITÍ	9
2 ROZMĚROVÁ PŘESNOST ODLITKŮ.....	10
3 TECHNOLOGIE „PŘESNÉHO LITÍ“	11
3.1 METODA VYTAVITELNÉHO MODELU.....	11
3.1.1 Obecný popis.....	11
3.1.2 Princip metody.....	11
3.1.3 Klady a zápory metody	12
3.2 METODA SPALITELNÉHO MODELU	14
3.2.1 Obecný popis.....	14
3.2.2 Princip metody.....	14
3.2.3 Klady a zápory metody	15
3.3 METODA SKOŘEPINOVÉHO LITÍ „CRONING“	16
3.3.1 Obecný popis.....	16
3.3.2 Princip metody.....	16
3.3.3 Klady a zápory metody	17
3.4 GRAVITAČNÍ LITÍ DO KOKIL.....	18
3.4.1 Obecný popis.....	18
3.4.2 Princip metody.....	18
3.4.3 Klady a zápory metody	19
3.5 ODLÉVÁNÍ ZA ZVÝŠENÝCH SIL	20
3.5.1 Vysokotlaké lití (lití pod tlakem)	20
3.5.1.1 Stroje pro tlakové lití	20
3.5.1.2 Princip funkčnosti stroje s teplou tlakovou komorou	21
3.5.1.3 Princip funkčnosti stroje se studenou tlakovou komorou	22
3.5.2 Nízkotlaké lití	23
3.5.2.1 Obecný popis.....	23
3.5.2.2 Princip metody.....	23
3.5.2.3 Klady a zápory metody	24
3.6 Odstředivé lití	25
3.6.1 Obecný popis.....	25
3.6.2 Princip metody.....	25
3.6.3 Klady a zápory metody	26
4 SROVNÁNÍ RŮZNÝCH TECHNOLOGIÍ LITÍ.....	27
Závěr.....	29
Seznam použitých zdrojů	30

ÚVOD

V současné době se metoda přesného lití dynamicky rozvíjí v celosvětovém měřítku. Nové možnosti výroby a vývoje odlitků s využitím nových materiálů, počítačové simulace, konstruování ve 3D a rychlé výroby prototypů posouvají možnosti uplatnění odlitků vyrobených přesným litím do stále nových odvětví průmyslu.

Současný vývoj oblastí strojírenské technologie klade zvýšený důraz na užité vlastnosti stávajících konstrukčních materiálů a na vývoj materiálů nových nebo jejich zpracování novými progresivními technologiemi. Tyto skutečnosti přímo určují směry ve vývoji slévárenské výroby, zejména technologie přesného lití.

Vývoj směřuje nejen ke snižování technické náročnosti výroby odlitků z materiálů, které nelze vůbec nebo jen obtížně třískově obrábět, ale současně vede i k souladu mezi ekonomickou efektivitou a ekologizací výroby. Důležitým úkolem zůstává zlepšení komunikace mezi konstruktérem a výrobcem, kdy nejsou plně využívány nabízené možnosti této slévárenské technologie, která dokáže splnit požadavky i těch nejnáročnějších konstruktérů co do složitosti, tvaru a členitosti za přijatelných ekonomických podmínek. [1]

1 DEFINICE A ROZDĚLENÍ METOD PŘESNÉHO LITÍ

Jako přesné lití jsou označovány všechny metody, které umožňují zhotovit rozměrově a tvarově přesnější odlitky než běžně užívané slévárenské metody. Užší vymezení tohoto pojmu určuje toleranci $\pm 0,25$ % relativní přesnosti. Přesné lití lze charakterizovat jako technologii, která umožňuje vyrábět tvarově složité součásti, u nichž se část funkčních ploch vyrábí již při lití s takovou rozměrovou tolerancí a s takovou drsností povrchu, že dokončování obráběním není nutné. U ostatních ploch, které je potřeba obrábět, jsou přídatky na obrábění relativně malé a spotřeba času na jejich odstranění a s tím spojené náklady, jsou zřetelně nižší než u jiných způsobů lití. [1]

Technologie přesného lití je možné rozdělit dle forem na:

Odlévání s netrvalými formami, mezi které patří:

- Technologie vytavitelného modelu
- Technologie spalitelného (vypařitelného) modelu
- Lití do skořepinových forem „Croning“

Odlévání s trvalými formami, mezi které patří:

- Gravitační - lití do kokil.
- Za zvýšených sil - tlakové lití (nízkotlaké, vysokotlaké),
- odstředivé lití.

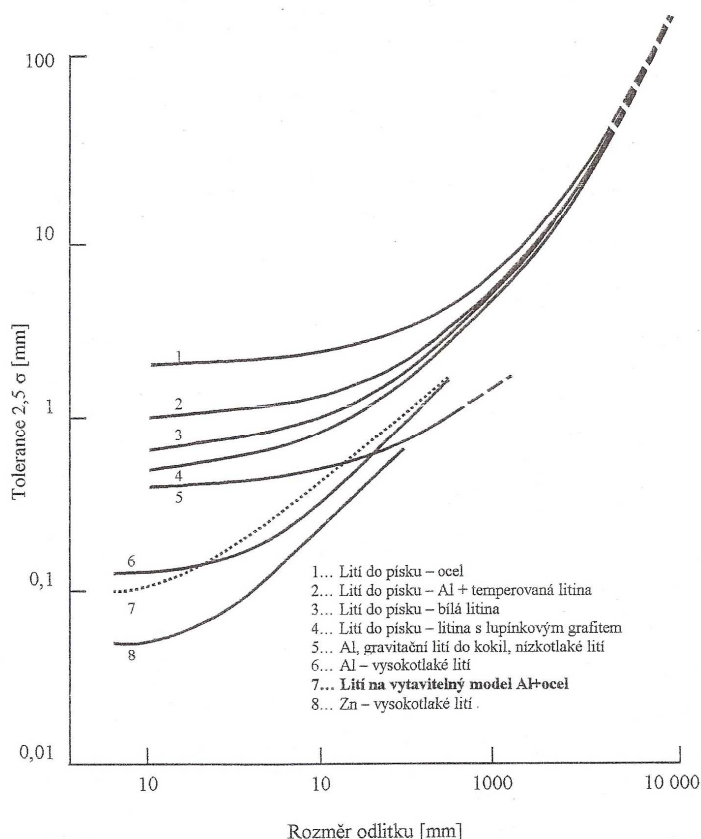
2 ROZMĚROVÁ PŘESNOST ODLITKŮ

Z hlediska velikosti, tvaru a konečných rozměrů prakticky nelze vytvořit zcela dokonalý odlitek. Z toho vyplývá, že nelze vyrobit dva odlitky naprosto stejné, a proto se na výkresech musí uvádět tolerance. Existují určité důvody, kterými mohou být elementární chyby, pro nedodržení těchto tolerancí. Tyto elementární chyby vedou k chybám systematickým, ale ty lze odstranit úpravou modelového zařízení. Ostatní chyby se odstraňují hůře, tyto se nazývají chybami náhodnými. Chyby rozměrů odlitků (tj. odchylky od nominálních hodnot) jsou dvojího typu: statistické a systematické.

První (tj. statistické) odchylky vznikají od nevyhnutelných malých odchylek proměnných v procesu a způsobují rozptyl výsledků, obecně s normálním rozdělením okolo střední hodnoty.

Druhé (tj. systematické) chyby posouvají maximální hodnotu rozdělení od nominální hodnoty k vyšším nebo k nižším hodnotám. Tyto systematické odchylky jsou způsobeny variacemi rozměrů modelu, ale hlavně plynou z nejistoty spojené s tolerancemi pro smrštění odlitku. To je dáno tím, že se berou hodnoty „čistého“ smrštění pro určitou slitinu bez ohledu na problematiku možných plastických deformací při brzděném smršťování atd.

Každá technologie vykazuje různé rozměrové přesnosti (Obr.2.1). Obecně však platí, že s rostoucím rozměrem rostou i „nepřesnosti“. [2]



Obr. 2.1 Průměrné hodnoty rozměrových tolerancí u různých slévárenských technologií

3 TECHNOLOGIE „PŘESNÉHO LITÍ“

3.1 METODA VYTAVITELNÉHO MODELU

3.1.1 Obecný popis

Metoda vytavitelného modelu patří mezi metody přesného lití. Pro svou univerzálnost se stala synonymem přesného lití. Hlavním cílem slévárenských pracovníků je vyrábět odlitky, které se nebudou už dále obrábět. Někdy se také říká, že jsou odlitky vyrobeny „téměř na hotovo“ („near net- shape“).

Metoda umožňuje vyrábět odlitky tvarově velmi složité s malými rozměrovými tolerancemi a s velmi dobrou jakostí povrchu. Na vytavitelný model se dají odlévat téměř všechny materiály. Lze dokonce odlévat i velice reaktivní materiály jako je titan a jeho slitiny. Dále nabízí možnost výroby odlitků z obtížně obrobitelného materiálu, kde je výroba součástí jinou technologií mimořádně nákladná, nebo dokonce zcela nemožná. V technické literatuře se uvádí, že tato metoda přesného lití nabízí konstruktérům jednu z nejširších možností ve volbě materiálů.

Metoda nalézá velmi široké využití v nejrůznějších oblastech průmyslu - umělecké a klenotnické odlitky, chirurgické nástroje, součásti šicích strojů, součásti vozidel, součásti letadel, zbrojní průmysl, lopatky spalovacích turbín ale i v lékařství - formou umělých implantátů a mnohé další. [3] [4]

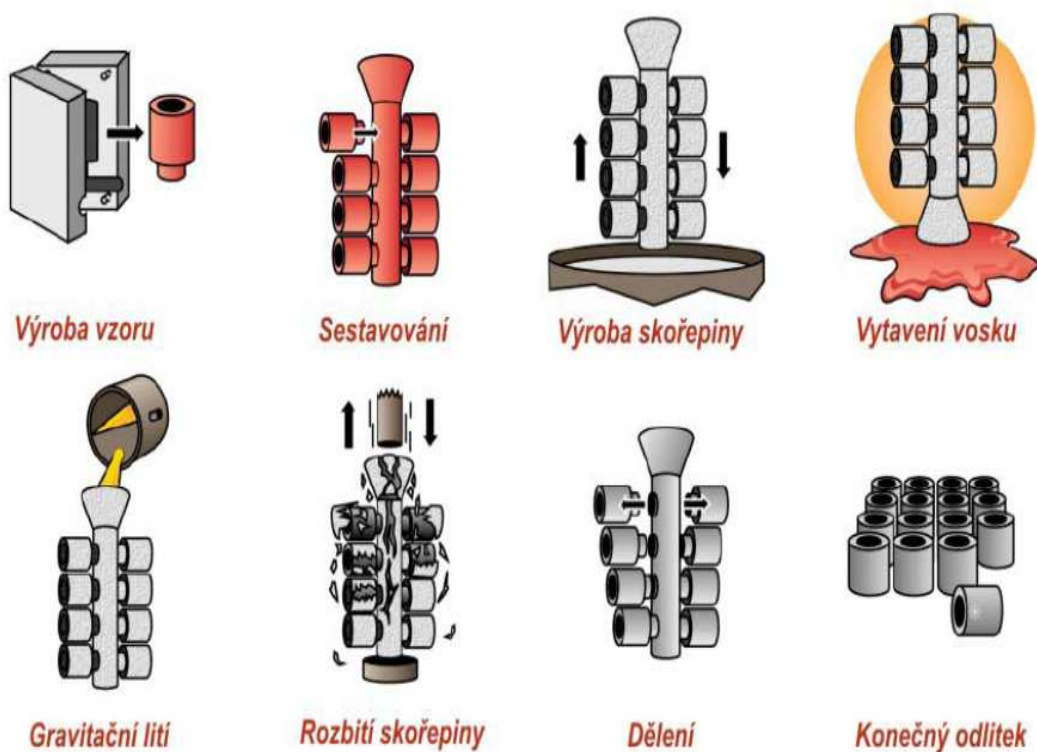
3.1.2 Princip metody

Základním prvkem této metody je model vyrobený z voskové směsi tzv. vzor. Ten se vyrábí vstřikováním rozehřátého vosku do matečné formy. Po vyrobení, opravách a očištění jsou vzory napojeny na centrální vtokový kúl nebo zabudovány do vtokové sestavy.

Tento sestavený voskový celek je následně obalen do keramického obalu a vzniká tzv. skořepina. Ta se vyrábí namočením voskového modelu v keramické břečce a následně se posype keramickým ostřivem. Vzniklá vrstva se nechá vysušit a postup se opakuje. Skořepina má 5 - 15 vrstev a ty musí být dostatečně pevné, aby vydržely následující technologické operace.

Z řádně vysušené a vytvořené skořepiny se odstraní vosková hmota. Ta se ze skořepiny odstraňuje převážně pomocí přehřáté páry v autoklávu. Po odstranění vosku se musí skořepina vysušit a vyžít.

V závěru dochází ke konečné kontrole, očištění, zaizolování a po zahřátí je skořepina připravena pro odlití. Po odlití, ztuhnutí a vychlazení odlévané slitiny se skořepina rozbije a odlitek i s vtokovou soustavou se zbaví ulpělé keramické směsi. Z takto upravené sestavy se oddělí odlitky a ty se poté omílají v bubnech nebo se tryskají. Po očištění jsou odlitky podrobeny kontrolám. Kontrolují se koncové rozměry (3D měření), vnitřní (rentgen) a vnější (vizuální) vady. [3] [4]



Obr. 3.1.1 Princip metody

3.1.3 Klady a zápory metody

Jednou z velkých výhod této metody je vysoká přesnost. Jedná se o metodu lití kovů do nedělených forem, z toho vyplývá možnost odlévat libovolné tvary s velmi hladkým povrchem. Metodou vytavitelného modelu se zhotovují převážně menší tenkostěnné, tvarově komplikované odlitky s tloušťkou stěny již od 1 milimetru, které často nejde vyrobit jinou technologií.

Mezi nevýhody patří technologicky náročná výroba. Z tohoto důvodu je tato metoda vhodná pro velké série, aby byla zajištěna ekonomická návratnost a maximální efektivita. [3] [4]



Obr. 3.1.2 Odlitek okrasné dveřní kliky



Obr. 3.1.3 Ukázky odlitků

3.2 METODA SPALITELNÉHO MODELU

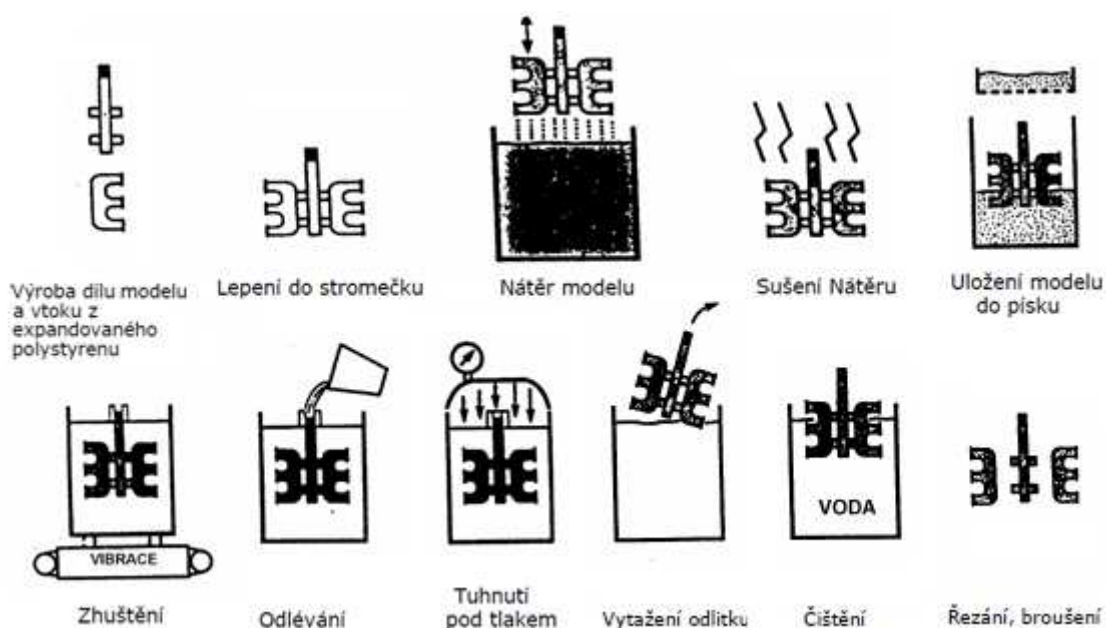
3.2.1 Obecný popis

Při běžném formování tzv. plné formy na spalitelný (nebo přesněji řečeno odpařitelný) model se zhotoví model odlitku z pěnového polystyrenu a zaformuje se buď přechováním nebo do samotvrdnoucí směsi. Na rozdíl od předchozích způsobů výroby však zůstává ve formě až do odlévání. Jedná se pak o tak zvanou metodu „plné formy“. Formování na spalitelný model usnadňuje výrobu unikátních odlitků, kdy potřebujeme pouze jeden kus. Tento postup se často využívá pro výrobu odlitků pro lisovací a tvářecí náradí. Výrazně se tím sníží náklady na výrobu a skladování dřevěných modelů.

Odlévání na odpařitelný model je však také využíváno v moderní velkosériové výrobě a je známo pod anglickým názvem Lost Foam (ztracená pěna). Princip této výrobní technologie má řadu společných prvků s výše popsaným přesným litím, které využívá vytavitelný model pro zhotovení 1 ks odlitku. V případě metody „Lost Foam“ se forma nepřechuje, ale pouze zasypává suchým ostřivem bez pojiva (směs III. generace). Povrch modelu se musí opatřit ochranným nátěrem proti penetraci kovu. [5] [6]

3.2.2 Princip metody

Během lití se plast vypařuje před postupujícím žhavým kovem, který pak vyplňuje vznikající dutinu. Uvolňované plyny při tom unikají díky dobré prodyšnosti pískové výplně. [6]



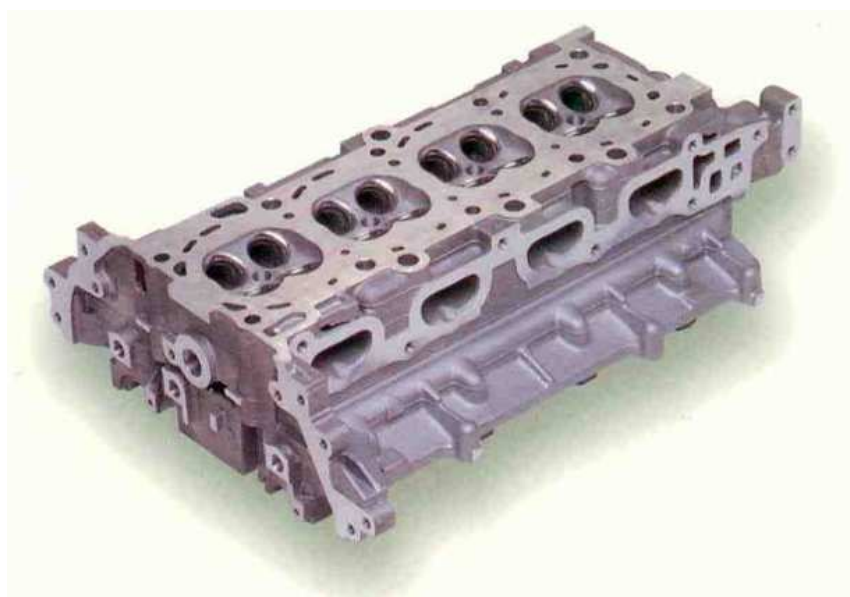
Obr. 3.2.1 Princip metody

3.2.3 Klady a zápory metody

Metoda umožňuje lití tvarově složitých dílů bez nutnosti vyjímání modelu. Odpadá tedy potřeba úkosů, úprav dělicí roviny, vnějších jader a komplikovaného formování. Možné je použití jak v kusové výrobě tvarově složitých odlitků (např. díly prototypů) tak i v sériové výrobě obtížně formovatelných odlitků (např. tělesa a díly elektromotorů). [6]



Obr. 3.2.2 Odlitek zhotovený metodou spalitelného modelu



Obr. 3.2.3 Hlava motoru zhotovena metodou spalitelného modelu

3.3 METODA SKOŘEPINOVÉHO LITÍ „CRONING“

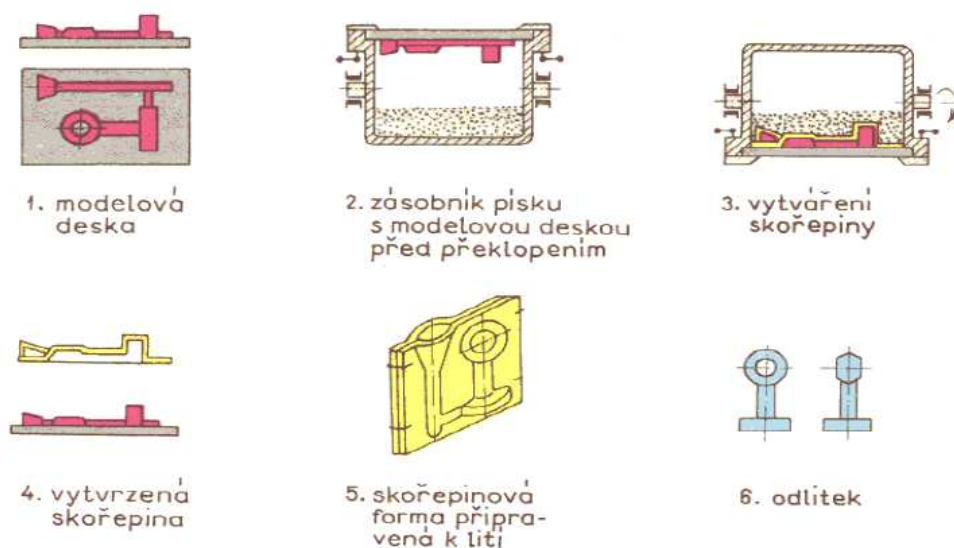
3.3.1 Obecný popis

Metodu skořepinového formování vynalezl v roce 1944 v Hamburku J.Croning. Proto je tento postup označován jako metoda „C“. Jedná se o jednu z metod využívající uměle připravená organická pojiva. Metoda je vhodná prakticky pro všechny slévárenské slitiny. Tato technologie umožňuje výrobu odlitků s vysokou kvalitou povrchu, rozměrovou přesností a s poměrně komplikovanými tvary. Dovoluje výrobu odlitků s minimálními přídávky na obrábění, proto je i tato metoda řazena mezi metody přesného lití.

Užívá se např. pro výrobu žebrovaných hlav válců vzduchem chlazených motorů a kompresorů, klikové a vačkové hřídele, výfuková potrubí apod. [5] [7]

3.3.2 Princip metody

Při výrobě skořepin se postupuje tak, že se kovová modelová deska s kovovým modelem ohřeje na teplotu 150 až 290 °C, postříká emulzí, zabraňující přilepení směsi, překlopí na nádobu se směsí. Po spojení modelové desky a nádoby se směsí se celek otočí o 180°. Pryskyřice na povrchu teplého modelu taje a váže písek, vytváří skořepinu o tloušťce několika milimetrů, lpící na modelu. Celek se znovu otočí zpět, aby z modelu odpadla nespotebovaná směs. Modelová deska se skořepinou se vloží do sušárny, v níž nastane polymerace pryskyřice obsažené ve směsi. Po vytvrzení se skořepina oddělí od modelové desky. Dvě poloviny skořepiny, tvořící formu, se pak složí a spojí lepením, sešroubováním nebo sepnutím. Takto složená forma se ve vhodném rámu obsype litinovým nebo křemenným pískem a je připravena k lití. [7]



Obr. 3.3.1 Princip metody

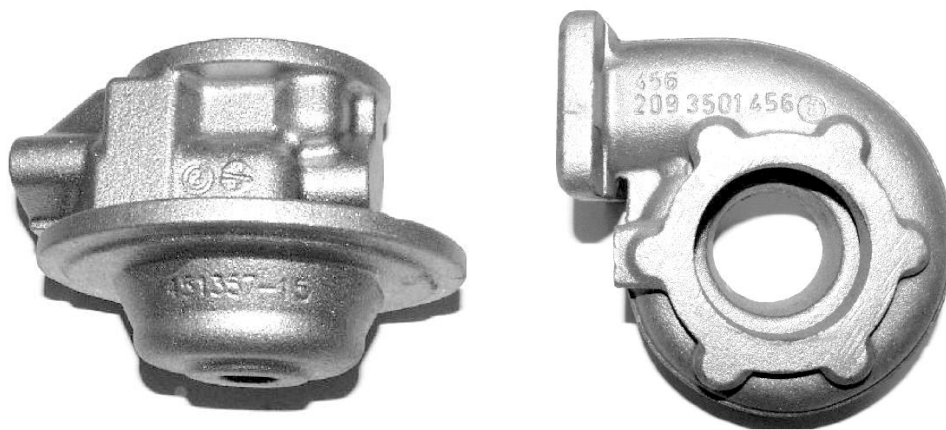
3.3.3 Klady a zápory metody

K hlavním výhodám patří:

- nízká spotřeba formovací směsi (5 – 10% proti běžným formám)
- Vysoká rozměrová přesnost odlitků
- hladký povrch odlitků
- možnost lití složitých tvarů např. tenká žebra s malými úkosi
- jednoduchost zařízení (odpadají vstřelovací a střešací stroje)
- dobrá rozpadavost forem

K hlavním nevýhodám patří:

- vysoké náklady na výhodu modelového zařízení
- vysoká cena formovací směsi
- možnost použití pro dolitky do hmotnosti zhruba 50 kg. [5]



Obr. 3.3.2 Odlitek těla malé turbíny

3.4 GRAVITAČNÍ LITÍ DO KOKIL

3.4.1 Obecný popis

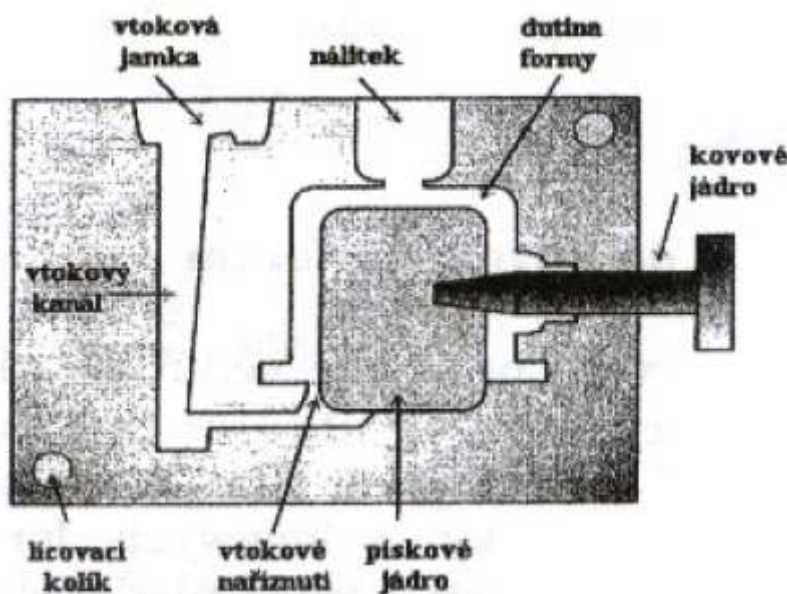
Kokila je trvalá forma z kovu, obvykle z šedé litiny, výjimečně z oceli, k odlévání ingotů při výrobě oceli nebo odlitků ve slévárenství. Kokila při lití rychle odvádí teplo, a tím urychluje tuhnutí. Litím do kokil se dosahuje hustší struktury odlitku. Jde o další z metod přesného lití. Forma je kovová (trvalá), pro vytvoření dutin se používá kovových, nebo pískových jader. Materiál forem bývá nejčastěji litina nebo ocel.

Životnost kokil je 200 - 200 000 odlitků, trvanlivost kokil se prodlužuje žáruvzdorným nátěrem (slouží i jako tepelná izolace). Odvzdušnění formy obstarávají kanálky v dělicí rovině, musí být tak velké, aby se nezalily kovem a současně musí včas odvést vzduch z formy.

Metoda je vhodná hlavně u velkosériové výroby, například pro výroba pístů, armatur, součástí elektrických strojů, pístů, bloků spalovacích motorů ze slitin hliníku a dalších. [5] [7]

3.4.2 Princip metody

Slévárenská forma je předehřátá na pracovní teplotu se stalou temperancí na teploty cca 200 až 300 °C (s ohledem na danou slitinu). Líc formy je ošetřen nátěrem nebo nástřikem. Jedná se o gravitační způsob odlévání, kdy kov se nalévá do formy stejným způsobem jako u pískových forem. Do kovových forem lze vyrábět i duté odlitky. V tomto případě se do formy zakládají buď písková jádra nebo u jednoduchých dutin jádra kovová. [7] [8]



Obr. 3.4.1 Schéma formy pro gravitační lití

3.4.3 Klady a zápory metody

Výhodou gravitačního odlévání do kokil (kovových forem) je technologií, která umožňuje odlévání ve větších sériích. Oproti odlévání do písku lze při využití této technologie dosahovat lepší přesnosti odlévání i kvality povrchu.

Nevýhodou jsou naopak vyšší vstupní investice spojené s výrobou kokil a následná nutnost tepelného zpracování odlitků. Omezená složitost odlitku s vyšší tloušťkou stěn, omezená hmotnost odlitku max. 15 kg a nevhodné pro odlévání tenkostěnných odlitků. [8]



Obr. 3.4.2 Odlitek pístu spalovacího motoru



Obr. 3.4.3 Odlitek bloku spalovacího motoru

3.5 ODLÉVÁNÍ ZA ZVÝŠENÝCH SIL

Výroba odlitků litých do kovových forem pod tlakem je dnes rozšířena pro řadu technických výhod, např. možnost výroby odlitků složitých tvarů, s předlitými otvory, s vysokou rozměrovou přesností a hladkostí povrchu s minimálními přídávky na obrábění, jemnozrnnou strukturou a tím i vyššími mechanickými vlastnostmi. Zapomenout nelze ovšem ani na ekonomické výhody, jako jsou menší hmotnost odlitku, vyšší využitelnost kovu a nižší pracnost dokončovacích operací.

I když je možno při tlakovém lití odlévat slitiny s maximální tavicí teplotou cca do 1000 °C, mají značné uplatnění především slitiny s nižší tavicí teplotou. Současně je snaha překonávat nebo omezovat jeden z velkých nedostatků tlakově litých odlitků - porezitu, která se může objevit až po obrábění a bývá příčinou netěsnosti odlitků. I přes možnost výskytu této nepříznivé vlastnosti je největší uplatnění tlakově odlévaných odlitků v automobilovém a leteckém průmyslu.

Současný rozvoj tlakového lití souvisí nejen s uplatňováním slévárenských vytvrditelných slitin a metodami jejich odplyňování před odléváním, ale také s rozvojem a využitím specifických simulačních programů, které umožňují výpočty tuhnutí a chladnutí odlitků, včetně plnění forem. Programy zahrnují průběh celého výrobního cyklu, čímž se počítačová simulace stává vysoce účinným nástrojem predikce kvality tlakového odlitku. [5]

3.5.1 Vysokotlaké lití (lití pod tlakem)

Vysoká ochlazovací rychlost kovových forem zhoršuje zabíhavost slitin a tím i možnost získat tenkostěnné odlitky. Jednou z cest, jak zvýšit zabíhavost, je zvětšení rychlosti kovu při plnění formy. Při tlakovém lití se na roztavenou slitinu krátce působí jednostranným vysokým tlakem (6 až 40 MPa), čímž se uvede do prudkého pohybu (až 80m/s) a rychle naplní formu. [5]

3.5.1.1 Stroje pro tlakové lití

Dnešní stroje pro tlakové lití jsou výsledkem téměř stoletého vývoje a k jejich vysoké kvalitě a výhodné konstrukci přispěla aplikace řídicích a elektronických prvků s využitím výpočetní techniky. Ve svém vývoji doznaly konstrukce a technické provedení těchto strojů značných změn. Původní stroje s teplou tlakovou komorou dnes nahrazují stroje se studenou tlakovou komorou. [9]

Stroje s teplou tlakovou komorou

- k odlévání nízkotavitelných slitin
- tavicí pec je součástí stroje, ze které je roztavený kov tlačен přímo do formy:
 - a) pístem (u starších konstrukcí),
 - b) tlakem vzduchu (u novějších konstrukcí).

Stroje se studenou tlakovou komorou

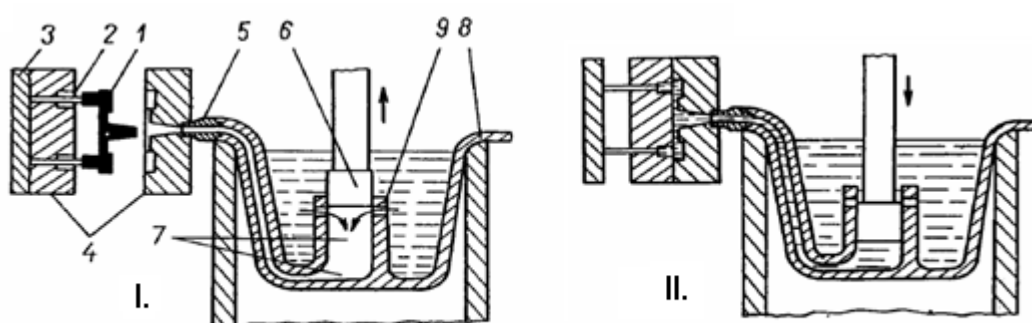
- pec postavena zvlášť mimo stroj,
- roztavený kov se dopravuje do tlakové komory ručně slévačskou lžící,
- množství nalitého kovu musí odpovídat velikosti odlitku a velikosti komory. [9]

3.5.1.2 Princip funkčnosti stroje s teplou tlakovou komorou

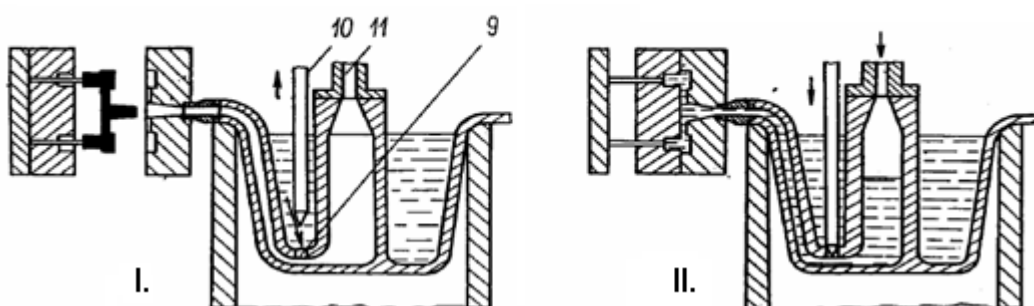
Při vstřikování pístem se píst nejprve zvedne a tím se uvolní plnicí otvory, kterými nateče do komory roztavená slitina. Pak se píst posouvá směrem dolů, čímž se plnicí otvory uzavřou a slitina proudí hubicí a tryskou do formy. Slitina zůstane pod tlakem tak dlouho, až odlitek ztuhne a po uvolnění tlaku vteče zpátky do komory.

Při vstřikování stlačeným vzduchem se nejprve tlaková komora naplní plnicím otvorem, který se uvolní zvednutím táhla zakončeného kužele. Pak táhlo uzavře plnicí otvor a do komory se vpustí stlačený vzduch, který žene slitinu do formy. [5]

A) Vstřikování pístem



B) Vstřikování stlačeným vzduchem



1- odlitek 2- vyhazovače 3- vyhazovací deska 4-forma 5- vstřikovací tryska 6-píst 7- komora 8- kelímek 9- plnicí kanálky 10-uzavírací tyč 11- přívod stlačeného vzduchu.

Obr. 3.5.1 Schéma tlakového lití s teplou komorou

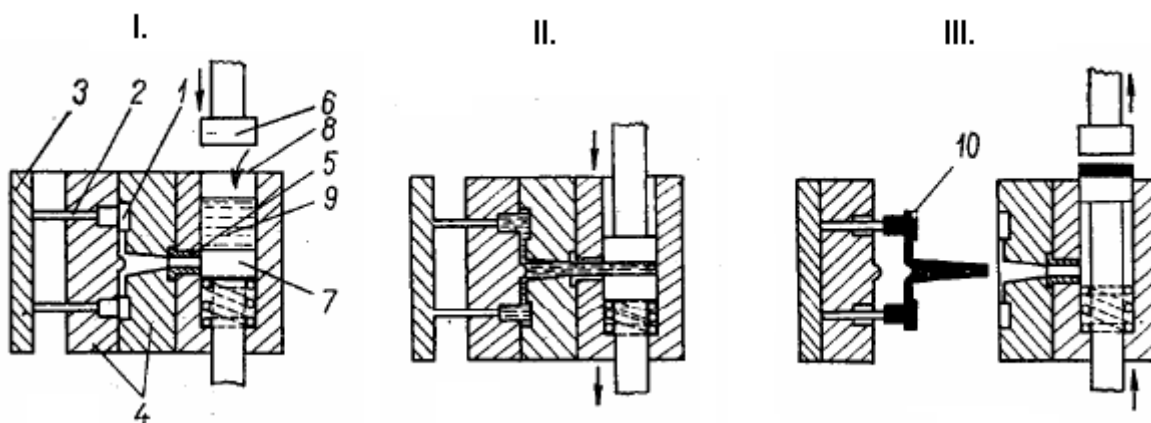
3.5.1.3 Princip funkčnosti stroje se studenou tlakovou komorou

U strojů s vertikální komorou je vstřikovací otvor zaslepen odpruženým protiběžným pístem, který tvoří dno tlakové komory. Do plnicího válce komory se nalije roztavený kov (obr.13a) a spustí se tlakový píst. Teprve tehdy, přemůže-li tlak kovu odpor pružiny, otevře se vstřikovací otvor a slitina je vstřikována do formy (obr.13b). Po dokončení vstřiku se uvolní tlak, protiběžný píst vyjede nahoru, odstříhne vtok od odlitku a vyhodí ztuhlý zbytek z komory (obr.13c). U slitin se často vytváří komora přímo ve formě.

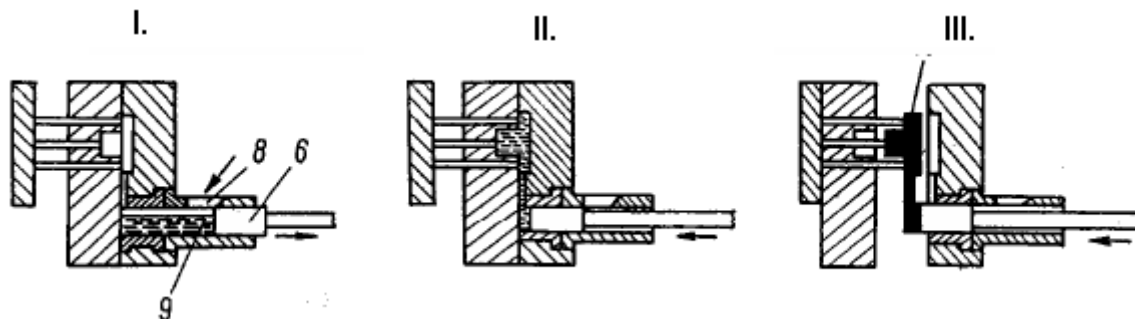
Ve strojích s horizontální komorou se vodorovný plnicí válec s otvorem, do kterého se nalévá roztavená slitina (obr.13d). Na plnicí válec navazuje komora ve formě, ve které je slitina stlačena pístem a vstříknuta do dutiny formy (obr.13e). Aby nedošlo k předčasnému zalití dutiny formy, umísťuje se forma většinou nad komorou. Po ztuhnutí odlitku se forma rozevře, píst vysune zbytek kovu z komory (obr.13f) a vrátí se do zadní polohy.

U strojů se studenou komorou je podstatně menší namáhání vstřikovacího ústrojí a proto je lze někdy používat i pro slitiny s licí teplotou do 1000 °C. V současné době se neustále prosazují stroje s horizontální komorou, které jsou jednodušší a tím rychlejší i spolehlivější v provozu. [5]

A) Stroj s vertikální komorou



B) Stroj s horizontální komorou



1- dutina formy 2- vyhazovací deska 4- forma 5- vstřikovací tryska
6- vstřikovací píst 7- protipíst 8- plnicí otvor 9- dávka slitiny 10- odlitek

Obr. 3.5.2 Schéma tlakového lití se studenou komorou

3.5.2 Nízkotlaké lití

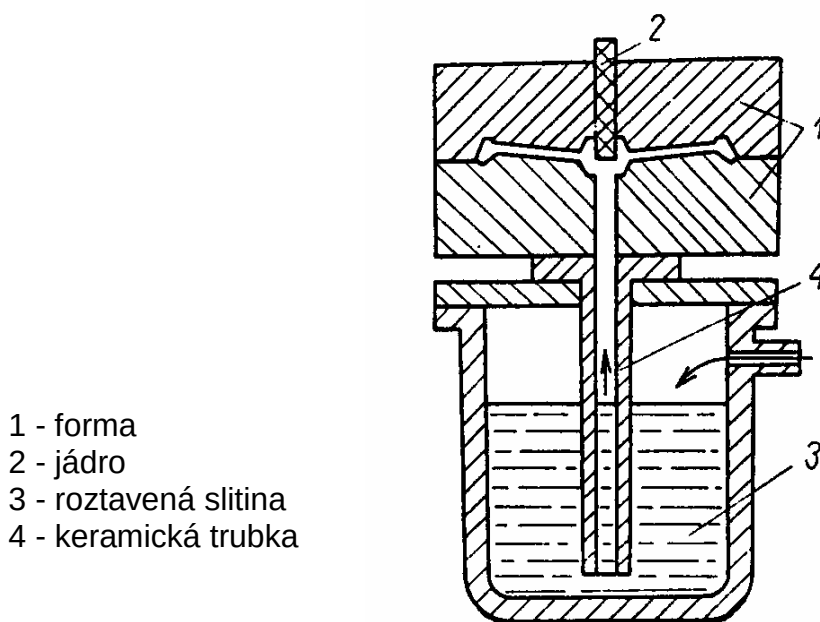
3.5.2.1 Obecný popis

Nízkotlaké lití připomíná lití pod tlakem s teplou komorou (proces popsán v kapitole 7.2.1), rozdíl je však v rychlosti plnění (asi 0,5 m/s) a použitém tlaku (do 0,3 MPa); zvlášť charakteristické je umístění formy, která se nasazuje těsně nad kelímek s roztaveným kovem (obr. 8.3).

Kov lze nízkotlakým litím odlévat do forem všech druhů. Nejčastěji se používají formy trvale (kovové). Pomocí nízkotlakého lití lze odlévat i velmi tenkostěnné odlitky, přičemž na formy nejsou kladeny tak vysoké požadavky jako při tlakovém lití. Rozšířilo se především při odlévání menších odlitků ze slitin hliníku, protože umožňuje do značné míry mechanizovat a automatizovat výrobní pochod. [5]

3.5.2.2 Princip metody

Nejprve se velmi nízkým tlakem vzduchu (0,02 až 0,06 MPa) na hladinu v kelímku vytlačuje kov trubkou přes trysku do formy. Jakmile se forma z větší části naplní, zvýší se tlak vzduchu na plnou hodnotu a setrvá se na ní tak dlouho, dokud odlitek neztuhne. U nízkotlakého lití prakticky odpadá vtoková soustava a nálitky, takže využití tekutého kovu obvykle převyšuje 90%. [5]



Obr. 3.5.3 Schéma nízkotlakého lití

3.5.2.3 Klady a zápory metody

Vysoké využití kovu 90 – 95%, vysoká kvalita odlitků, odlévaný kov se během pracovního cyklu nedostane do styku s okolní atmosférou, proudění taveniny během plnění je klidné, dobrá kompaktnost odlitku bez vnitřních vad typu, vměstků a plynových bublin vysoká těsnost Odlitek musí usměrněně tuhnout odshora směrem dolů – tuhnutí je ukončeno v ústí plnicí trubice. Usměrněné tuhnutí má zcela opačný směr než je tomu u gravitačního lití.

Nevýhodou je, že jakost odlitků je závislá na správné konstrukci formy.[10]



Obr. 3.5.4 Stroj pro nízkotlaké lití



Obr. 3.5.5 Ukázka odlitku nízkotlakého lití

3.6 Odstředivé lití

3.6.1 Obecný popis

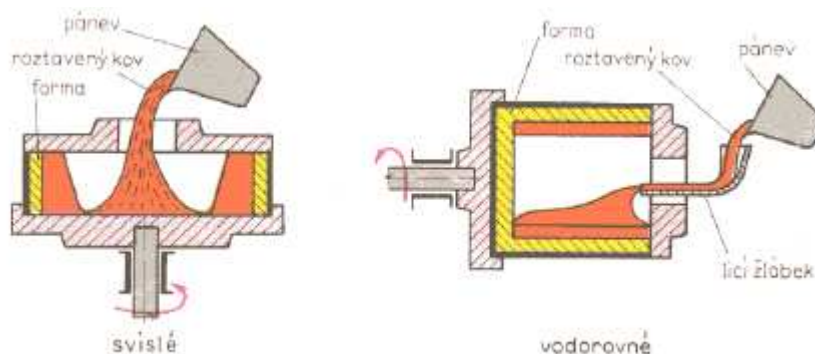
Při odstředivém lití se tvar odlitku vytvoří působením odstředivé síly na taveninu. Tekutý kov se nalévá do kovové nebo keramické formy, v které je odstředivou silou přitlačen na stěnu formy. Vlivem odstředivé síly je kov nucen se pohybovat proti a podél stěny formy a tímto se dosáhne těsný kontakt mezi kovem a stěnou formy. Plyny, struska a vměstky (oxidy) mají menší měrnou hmotnost jako kov a jsou proto vytlačovány směrem ke středu rotace tj. vnitřní plochy odlitku. Pro běh tuhnutí je od vnější plochy směrem dovnitř odlitku, přičemž při tuhnutí nepřetržitě působí odstředivá síla a zbytek tekutého kovu je po dobu tuhnutí vtlačován do mezidendritických dutin. To má za následek zvýšení homogenity odlitku. Osa rotace může být horizontální nebo vertikální.

Celý technologický postup se skládá ze tří etap:

- výroba modelů
- výroba formy
- odlévání

3.6.2 Princip metody

Složená hotová forma se vloží do odstředivky, kde je vycentrována. Každý stroj má svůj vlastní systém pro vycentrování. Jakmile se uzavře pracovní prostor, tak se forma rootočí a nalévací hrdlem je do ní možné nalít tekutý materiál. Obě části formy jsou k sobě přitahovány předem nastavenou silou, aby v procesu lití nedošlo k úniku odlévaného materiálu do pracovního prostoru stroje skrz dělicí rovinu. Tento odlévací cyklus trvá v případě odlévání zinku od 15 sekund až do několika minut. Mění se v závislosti na velikosti odlitku. Poté se forma vyjme ze stroje, následně se otevře a odlitky se vytáhnou. Vtoková soustava a výfuky se oddělí. Většinu odlitků je možné použít bez dalšího obrábění. [5] [7]



Obr. 3.6.1 Schéma metody odstředivého lití

4 SROVNÁNÍ RŮZNÝCH TECHNOLOGIÍ LITÍ

Pro přehledné srovnání vlastností a možností použití všech šesti představných technologií je vytvořena tabulka (Tab. 4.1). V této tabulce jsou pro srovnání uvedeny i další běžné slévárenské technologie, které nejsou v této práci dále rozvedeny..

Tab. 4.1 Charakteristika slévárenských metod [11]

Metoda lití		Specifické vlastnosti a použití	Vhodnost ekonomické série (ks)
Pískové formy	ručně	Jednoduchá výroba, vhodné pro unikátní výrobky a všechny kovy, malá přesnost	1 až 100
	strojně	Nejběžnější sériová výroba lehkých a středních odlitků ze všech kovů, malá přesnost	nad 100
Skořepinové formy (Croning)		Rychlá výroba forem, přesné a hladké odlitky, omezená hmotnost, vysoké náklady	10^2 až 10^4
Sádrové formy		Přesné a hladké odlitky, tekutá formovací směs, pevný nebo pružný model, zdoluhavá výroba, pomalé tuhnutí, vhodné pro neželezné kovy	1 až 10^4
Vakuové formy		Formovací materiál bez pojiva, dokonalá reprodukce tvaru, snadné vytloutání a čištění, vhodné pro všechny kovy, omezené výškové rozměry modelu	10^2 až 10^3
Vytavitelný model		Vysoká přesnost, minimální obrábění, hladký povrch, vhodné pro všechny kovy, tvarové složité odlitky, omezená velikost, drahá výroba	10^2 až 10^4
Spalitelný model		Jednorázové použití modelu, nedělené formy, v kombinaci s keramickou formou vysoká přesnost, možnost použití písku bez pojiva, vhodné pro velké i malé odlitky	1 až 10^5
Keramické formy (Shaw)		Přesné a hladké odlitky, tekutá formovací směs, pevný nebo pružný model, drahá výroba	1 až 10^3
Kokily		Vysoká přesnost odlitku, lepší mechanické vlastnosti, drahá forma, s výstelkou vhodné i pro slitiny s vysokou tavící teplotou, vysoká produktivita	10 až $5 \cdot 10^3$
Odstředivé lití		Jednoduchá výroba odlitků s dutinami rotačního tvaru, lepší mechanické vlastnosti, vhodné téměř pro všechny kovy	10^3 až 10^4
Nízkotlaké lití		Vysoká přesnost, zlepšení dosazování, lepší využití kovu, drahá výroba formy, vhodné téměř pro všechny kovy	10^3 až 10^5
Vysokotlaké lití		Vysoká přesnost a kvalita povrchu, vysoká produktivita. Drahá forma a strojní zařízení, pórovité odlitky. Vhodné pro slitiny Al, Mg, Zn, Cu, litinu	10^3 až 10^5

V tabulce (Tab. 4.2) jsou porovnány parametry jednotlivých odlitků dle různých technologií. V této tabulce jsou uvedeny pro porovnání i parametry odlitků zhotovené technologiemi, které v této práci nejsou dále rozvedeny.

Tab. 4.2 Parametry odlitků dle metody lití [11]

Metoda lití	Rozměry (mm)	Tolerance IT	Hmotnost (kg)	Tloušťka (mm)	Drsnost Ra (μm)
Pískové formy	5 až $5 \cdot 10^3$	15	$2 \cdot 10^{-2}$ až $3 \cdot 10^5$	3 až 600	12,5 až 200
Skořepinové formy (Croning)	2 až $5 \cdot 10^2$	13	0,2 až 150	2 až 40	6,3 až 25
Sádrové formy	1 až $5 \cdot 10^2$	12	0,1 až 15	1 až 20	1,6 až 12,5
Vakuové formy	5 až $3 \cdot 10^3$	14	0,1 až 10^3	2 až 200	12,5 až 200
Vytavitelný model	5 až $2 \cdot 10^3$	10	10^{-3} až 10^2	0,2 až 20	1,6 až 25
Spalitelný model	10 až $5 \cdot 10^3$	12	1 až 10^5	2 až 600	12,5 až 100
Keramické formy (Shaw)	1 až $5 \cdot 10^2$	13	1 až 10^3	2 až 40	3,2 až 25
Kokily	50 až 10^3	12	1 až 10^3	2 až 600	3,2 až 25
Odstředivé lití	50 až 10^4	12	0,5 až $5 \cdot 10^3$	5 až 500	6,3 až 25
Nízkotlaké lití	50 až 10^3	12	0,5 až 10^3	2 až 50	3,2 až 12,5
Vysokotlaké lití	1 až $2 \cdot 10^3$	10	10^{-3} až 15	0,4 až 15	1,6 až 12,5

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo shromáždit základní informace o technologiích používaných při výrobě odlitků na hotovo (přesné lití), tedy bez nutnosti dalšího zásadnějšího obrábění, tzv. „Net-Shape“.

V našich podmínkách se obvykle pod pojmem „přesné lití“ myslí přímo technologie vytavitelného modelu, popsána blíže v kapitole 3.1. Není tomu tak. Na základě literárního rozboru je možno konstatovat, že existují i další slévárenské technologie, jenž umožňují zhotovit odlitky s požadovanými parametry a tolerancemi a je tedy možno tyto metody označit jako metody „přesného lití“.

V této práci je představeno celkem šest slévárenských metod, které jsou díky výsledným parametrům koncového odlitku, řazeny do technologie přesného lití. Každá metoda je zde obecně představena, poté popsán samotný princip metody a závěrem jsou uvedeny kladné i záporné vlastností každé z metod.

Výsledné vlastnosti a parametry všech představených metod jsou v závěru shrnuty do tabulky a doplněny pro porovnání s dalšími běžnými slévárenskými metodami. Stejně tak jsou do tabulky porovnány i parametry výsledných odlitků.

Jako v každém odvětví je ekonomická stránka důležitým faktorem. V době současné ekonomické situace jsou metody přesného lití technology stále častěji vyhledávány. Technologovi dávají rozmanitý výběr možných budoucích výsledných parametrů odlitku avšak vždy je třeba zvážit i ekonomickou stránku věci. To je již práce technologa zvážit všechny faktory pro finální výběr dané technologie.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MRÁZEK, Martin. *Technologie přesného lití. Slévárenství - Časopis pro slévárenský průmysl*. Září - říjen 2008, roč. LVI, č. 9 – 10, s. 468 – 471. ISSN 0037-6825.
- [2] HORÁČEK, Milan. *Rozměrová přesnost odlitků vyráběných metodou vytavitelného modelu* [online]. [cit. 2010-04-10]. <<http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/download/technologie-vytavitelneho-modelu.pdf>>.
- [3] KRACMAN, Ondřej. *Faktory ovlivňující přesnost odlitků u metody vytavitelného modelu* [online]. [cit. 2010-04-01]. <http://www.fsid.cvut.cz/cz/u218/stc/Sbornik/S3/Kracman_Ondrej_12133.pdf>.
- [4] HERMAN, Aleš. *Lití na vytavitelný model* [online]. [cit. 2010-03-29]. <<http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/MPL/presne%20liti-%20na%20vytavitelny%20model.pdf>>.
- [5] ELBEL, Tomáš. *Základy slévárenské technologie od historie po současnost*. 1.vyd. Ostrava: VŠB-TU, 2006. 37 s. Učební texty pro předmět - Průmyslové technologie I.
- [6] FEJTOVÁ, Blanka. *Výroba odlitků pomocí spalitelného modelu*. Brno, 1998. 17 s. Semestrální práce.
- [7] STROJNÍ LYCEUM [online]. *Odlévání* [cit. 2010-04-12]. <<http://www.strojnilyceum.wz.cz/maturita/tep/odlevani.pdf>>.
- [8] MICHNA, Štefan [online]. *Progresivní technologie odlévání* [cit. 2010-05-12]. <http://www.stefanmichna.com/download/progresivni-technologie/progresivni_technologie_odlevani.pdf>.
- [9] NOVÁKOVÁ, Iva. *Rozvoj tlakového lití* [online]. [cit. 2010-05-11]. <<http://www.mmspektrum.com/clanek/rozvoj-tlakoveho-liti>>.
- [10] ŠEBESTA s.r.o. *Služby slévárnám* [online]. [cit. 2010-04-29]. <<http://www.sebestasro.cz/html/litinefe.htm>>.
- [11] HERMAN, Aleš. *Slévání* [online]. [cit. 2010-05-24]. <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/NVPO/slev_prednasky.pdf>.