



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SROVNÁNÍ RŮZNÝCH TECHNOLOGIÍ ZHOTOVENÍ ODLITKŮ Z HLEDISKA DOSAŽENÍ JEJICH OPTIMÁLNÍ ROZMĚROVÉ PŘESNOSTI

COMPARISON OF DIFFERENT CASTING TECHNOLOGIES FROM THE POINT OF VIEW OF
ACHIEVING THE OPTIMAL CASTING DIMENSIONAL ACCURACY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB STRAKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

PROF. ING. MILAN HORÁČEK, CSc.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce si klade za úkol shromáždit informace o technologiích používaných při výrobě odlitků z hlediska dosažení co nejlepších rozměrových přesností. Zaměřena je především na technologii vytavitelného modelu, tlakové lití a odstředivé lití. Všechny tyto a další technologie jsou porovnány navíc kromě již zmíněné rozměrové přesnosti i z hlediska ekonomiky výroby, možností dosahovaných rozsahů hmotností odlitků a dalších aspektů.

Klíčová slova

Přesné lití, tlakové lití, odstředivé lití, rozměrové změny, rozměrová přesnost,

ABSTRACT

The main goal of this bachelor thesis is to collect basic information related to the foundry technologies from the point of view of achieving the optimum dimensional tolerances. Following foundry technologies are mentioned in this work, i.e. investment casting, pressure die casting and centrifugal casting.

All the above mentioned technologies are compared not only from the accuracy point of view but also from the economy of production, achievable casting weight, etc.

Key words

Investment casting, pressure casting, centrifugal casting, dimensional changes, dimensional accuracy

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STRAKA, J. *Srovnání různých technologií zhotovení odlitků z hlediska dosažení jejich optimální rozměrové přesnosti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 27 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Milan Horáček, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Srovnání různých technologií zhotovení odlitků z hlediska dosažení jejich optimální rozměrové přesnosti** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....
Jakub Straka

Poděkování

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

OBSAH

Abstrakt.....	2
Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Obsah.....	5
Úvod	6
1. TECHNOLOGIE VYTAVITELNÉHO MODELU	7
1.1 Obecný popis.....	7
1.2 Princip metody.....	8
1.3 Přesnost metody vytavitelného modelu.....	9
1.4 Faktory ovlivňující přesnost.....	9
1.4.1 Objemové smrštění (roztahení)-způsobené použitými materiály	10
A) Přesnost zhotoveného voskového modelu	10
B) Přesnost skořepinové formy	10
C) Chladnutí a tuhnutí odlitku	11
1.4.2 Deformace voskových modelů –způsobené tvarem voskového modelu	11
1.4.3 Deformace samotného odlitku – způsobené tvarem voskového modelu	11
2. TLAKOVÉ LITÍ.....	12
2.1 Obecný popis.....	12
2.2 Princip metody.....	13
2.3 Stroje pro tlakové lití	14
2.4 Materiály používané pro odlévání tlakovým litím	16
2.5 Rozměrové změny	16
3. Odstředivé lití	18
3.1 Obecný popis.....	18
3.2 Princip metody.....	19
3.3 Technologický postup výroby odlitku	20
3.3.1 Výroba modelů.....	20
3.3.2 Výroba formy.....	20
3.3.3 Odlévání.....	22
4. Srovnání různých technologií lití.....	23
Závěr	26
Seznam použitých zdrojů	27

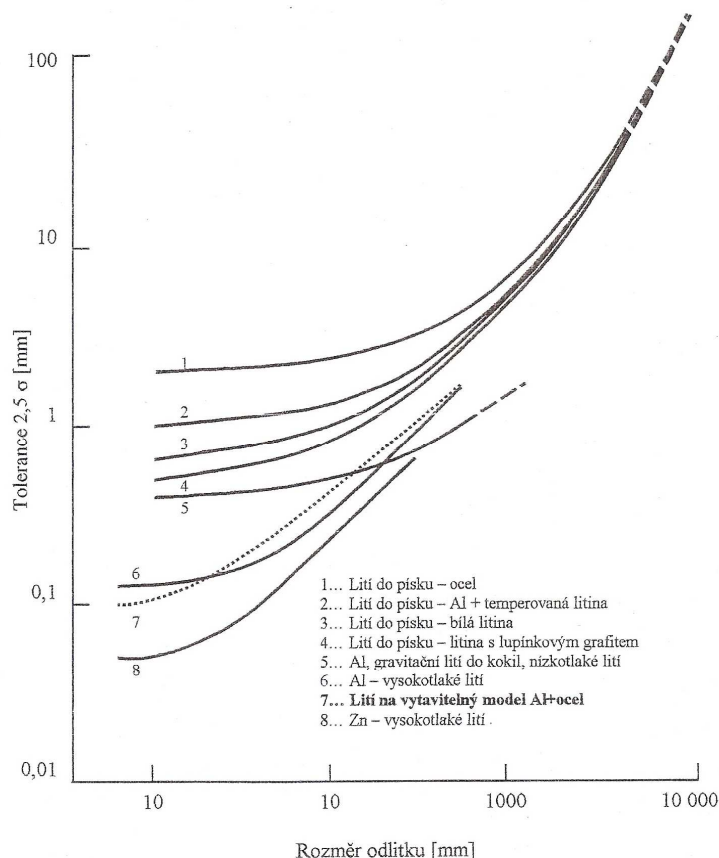
ÚVOD

Z hlediska velikosti a tvaru nelze vytvořit 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.1.1). Obecně však platí, že s rostoucím rozměrem rostou i „nepřesnosti“. [1]



Obr.1.1 Průměrné hodnoty rozměrových tolerancí u různých slévárenských technologií [1]

1. TECHNOLOGIE VYTAVITELNÉHO MODELU

1.1 Obecný popis

Technologie vytavitelného modelu („na ztracený vosk“ nebo tak „přesné lití“) zaujala jedno z předních míst mezi moderními slévárenskými technologiemi. 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“). Je možné vyrábět odlitky tvarově velmi složité s malými rozměrovými tolerancemi a s velmi dobrou jakostí povrchu (Obr.1.2). Z toho vyplývá ,že tato metoda vede k přímé, efektivní a ekonomické výrobě konečné součásti.

Touto metodou lze odlévat téměř všechny materiály a to dokonce i velice reaktivní jakým je např. titan a jeho slitiny. Také nabízí možnost výroby odlitků z obtížně obrobitelného materiálu, kde je výroba součásti jiným způsobem zcela nemožná nebo je příliš nákladná.

Vlastní termín „investment casting“ v anglickém originále (česky „metoda vytavitelného vosku“ nebo také častěji „přesné lití“) vznikl už z podstaty procesu, kdy se na voskový model nanáší(od slova nanášet-„to invest“) postupně keramická hmota [1,2].

Ukázky odlitků vyráběných metodou vytavitelného modelu:



Obr.1.2 Ukázky odlitků [3]

1.2 Princip metody

Základním prvkem této metody je model vyrobený z voskové směsi tzv. vzor. Ten se vyrábí vstřikováním roztaveného vosku do matečné formy.

Po vyrobení, opravách a očištění jsou vzory napojeny na centrální vtokový kůl 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.

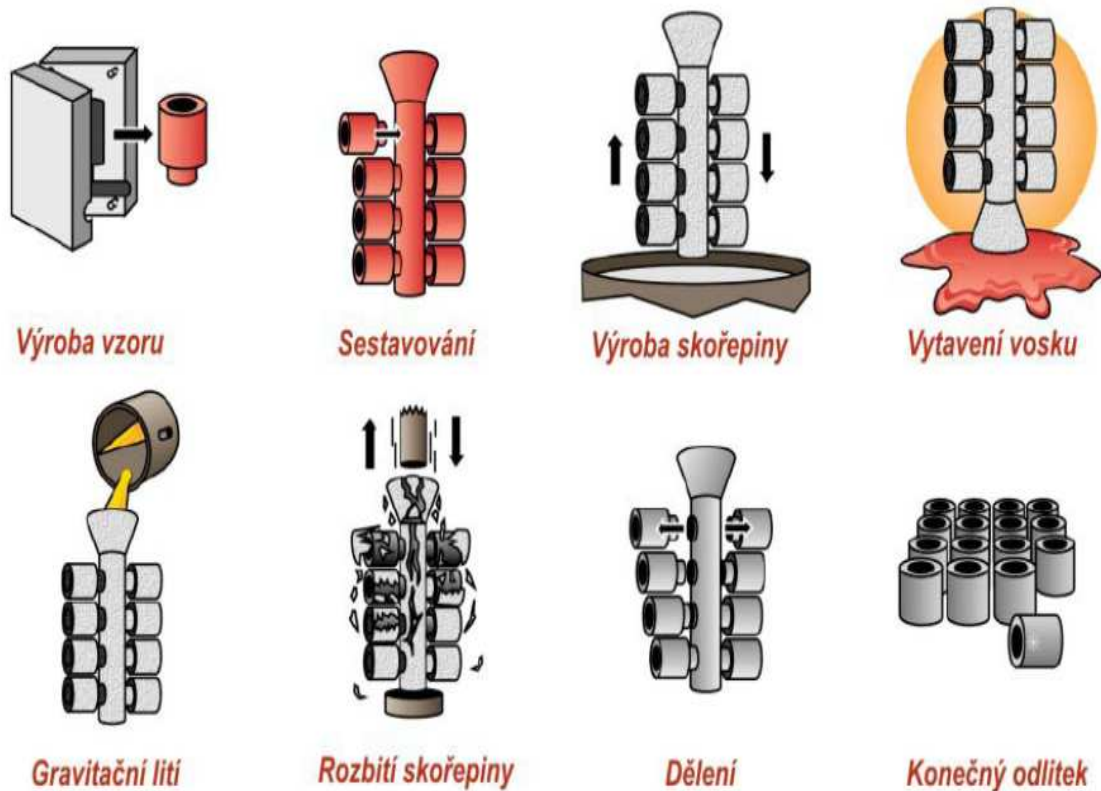
Z řádně vysušené a vytvořené skořepiny se odstraní vosková hmota. Ta se

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.

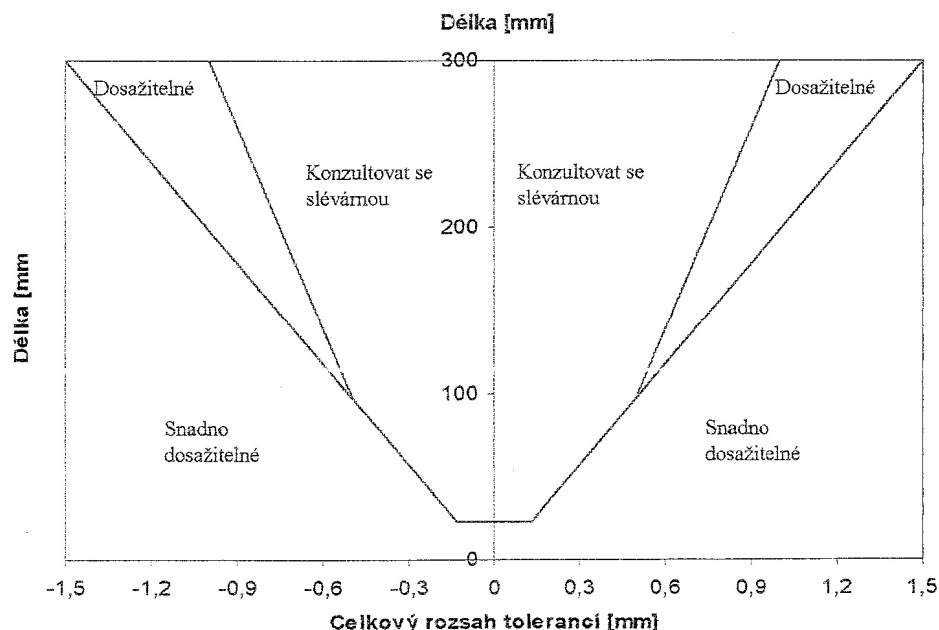
Po očištění jsou odlitky podrobeny kontrolám. Kontrolují se koncové rozměry (3D měření), vnitřní (rentgen) a vnější (vizuální) vady [2].



Obr.1.3 Princip metody [2]

1.3 Přesnost metody vytavitelného modelu

Jak již bylo řečeno výše, jedná se o metodu pro výrobu přesných součástí z hlediska dosažitelnosti velmi úzkých rozměrových tolerancí (tzv. „NET-SHAPE“ technologií- technologií výroby „na hotovo“) [1].



Obr. 1.4 Dosažitelnost tolerancí v závislosti na rozměru součásti [1]

1.4 Faktory ovlivňující přesnost

Jedná se zejména o chyby, které vznikají při výrobě, můžeme rozdělit na systematické a na náhodné. Mezi systematické chyby řadíme např. špatné sestavení voskového modelu, špatná manipulace atd., tyto chyby můžeme poměrně snadno odstranit. Náhodné chyby však tak jednoduše odstranit nejdou.

Při této technologii vznikají rozměrové a geometrické nepřesnosti. Dalším faktorem, který ovlivňuje koncové rozměry voskového modelu je jeho deformace. Vyskytuje se hlavně u silnostěnných modelů a u voskových modelů, které mají různou tloušťku stěn [2].

Základní členění faktorů ovlivňující přesnost u metody vytavitelného modelu:

- a) objemové smrštění (roztažení) – způsobené použitými materiály
- b) deformace voskových modelů – způsobené tvarem voskového modelu
- c) deformace samotného odlitku – způsobené tvarem voskového modelu

1.4.1 Objemové smrštění (roztažení)-způsobené použitými materiály

Rozměrové změny (Obr.1.5) je třeba posuzovat v 3D (je jiné smrštění délky, šířky a tloušťky). Obecně platí, že se vzrůstajícím jmenovitým rozměrem velikost nepřesností roste.

Hlavní parametry ovlivňující přesnost odlitků:

- a) přesnost rozměrů lisovacích forem
- b) vlastnosti voskových směsí
- c) přesnost rozměrů voskových vzorů
- d) poloha modelu ve vtokové sestavě
- e) způsob umístění nálitků a vtoků
- f) pevnost a přesnost skořepiny
- g) způsob lití
- h) metalurgické vlastnosti materiálu
- i) lící teplota kovu a teplota formy
- j) tuhnutí a chlazení odlitku

Největší podíl na rozměrové přesnosti odlitku mají 3 materiálové složky, které se metody na vytavitelný model zúčastňují. Při tuhnutí se smršťuje kov, skořepinová forma při vypalování a vosková směs se po vystříknutí také smršťuje. Z toho plyne, že se konečný odlitek, co se týče velikosti, neshoduje s voskovým modelem [2].

Parametry, které nejvíce ovlivňují přesnost odlitku:

- a) přesnost zhotoveného voskového modelu
- b) přesnost skořepinové formy
- c) chlazení a tuhnutí odlitku

A) Přesnost zhotoveného voskového modelu

Rozměrová stabilita voskového modelu je základním předpokladem výroby konečného odlitku s požadovanými rozměry.

Konečné rozměry a dosažená přesnost voskových modelů závisí na způsobu výroby. Nejčastěji se voskové modely vyrábějí vstřikováním voskové směsi do matečné formy. Vstřikovací parametry a jejich změny jsou prakticky jedinou možností jak ovlivnit koncové rozměry odlitků. Výsledný rozměr a dosažení požadované tolerance závisí na typu voskové směsi, tvaru a rozměru součásti a v neposlední řadě také na způsobu výroby voskového modelu, jak bylo řečeno výše.[2]

B) Přesnost skořepinové formy

Přesnost skořepinové formy je dána především druhem použité keramiky (ostřiva a pojiva), počtem obalových vrstev a způsobem tepelného zpracování (sušení a žíhání).

Při žíhání dochází k roztažení skořepiny. Velikost tohoto roztažení závisí na použitém keramickém zásypu.

Naopak při sušení dochází k mírnému smrštění 0,15 – 0,4% a největší vliv na smrštění má druh použitého pojiva.[2]

C) Chladnutí a tuhnutí odlitku

Při tuhnutí dochází k deformacím a smrštění, které je závislé na chemickém složení a na lící teplotě. Optimální hodnota teploty lití závisí na velikosti a tvaru odlitku a musí být udržována v poměrně úzkém rozmezí s ohledem na možný výskyt vad.[2]

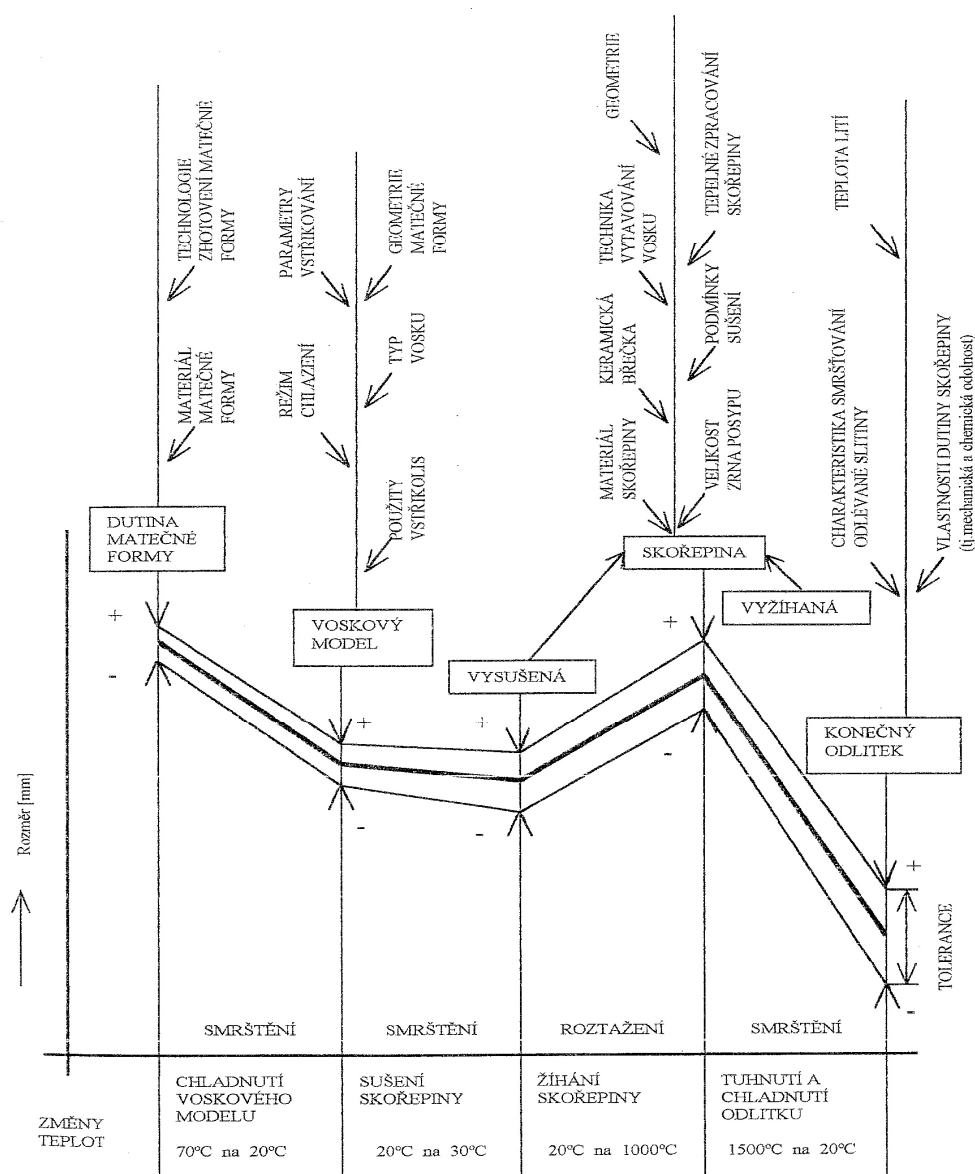
1.4.2 Deformace voskových modelů –způsobené tvarem voskového modelu

Voskové modely se ihned po vyndání z matečné formy deformují a tím způsobují nemalé problémy, co se týče tvarových a rozměrových změn.

Jedním ze způsobů jak deformacím zabránit je tzv. brzděné tuhnutí. Podstata spočívá v tom, že se voskový model hned po odlisování a vyndání z matečné formy umístí do fixačního přípravku. Toto opatření se v praxi běžně používá u modelů, které jsou náchylné k deformacím vznikajících při chladnutí.[2]

1.4.3 Deformace samotného odlitku – způsobené tvarem voskového modelu

Při chladnutí jednoduchých odlitků (válec, stěna) nastávají tepelné rozdíly mezi povrchem a středem odlitku. Povrch odlitku se ochlazuje rychleji než v tepelné ose. Okolí tepelné osy se i v tuhém stavu ochlazuje a tím i smršťuje, ale s určitým zpožděním vůči povrchu součásti. [2]



Obr. 1.5 Rozměrové změny v průběhu technologie vytavitelného modelu [1]

2. TLAKOVÉ LITÍ

2.1 Obecný popis

Výroba odlitků litých do kovových forem pod tlakem je dnes rozšířena pro řadu technických výhod, např. lze vyrábět odlitky 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 (Obr.2.1). Jednou z dalších podstatných výhod jsou ekonomické náklady, jako jsou menší hmotnost odlitku, vyšší využitelnost kovu a nižší pracnost dokončovacích operací. Důležité jsou také materiálové charakteristiky. Charakteristickými vlastnostmi tlakově litých odlitků jsou jemnozrnná krystalická struktura. Ta úzce souvisí s rychlostí krystalizace, resp. tuhnutím odlitku.

K tuhnutí odlitku přispívají dva důležité faktory: vysoká schopnost kovové formy akumulovat teplo a vysoký tlak působící na taveninu, který způsobuje její tzv. atermické podchlazení.

Značné uplatnění mají především slitiny s nižší tavicí teplotou, ale lze odlévat i slitiny s maximální tavicí teplotou cca do 1000 °C.

Současně je snaha překonávat nebo omezovat jeden z velkých nedostatků tlakově litých odlitků a tím je porezita, která se může objevit až po obrábění a bývá příčinou netěsnosti odlitků.

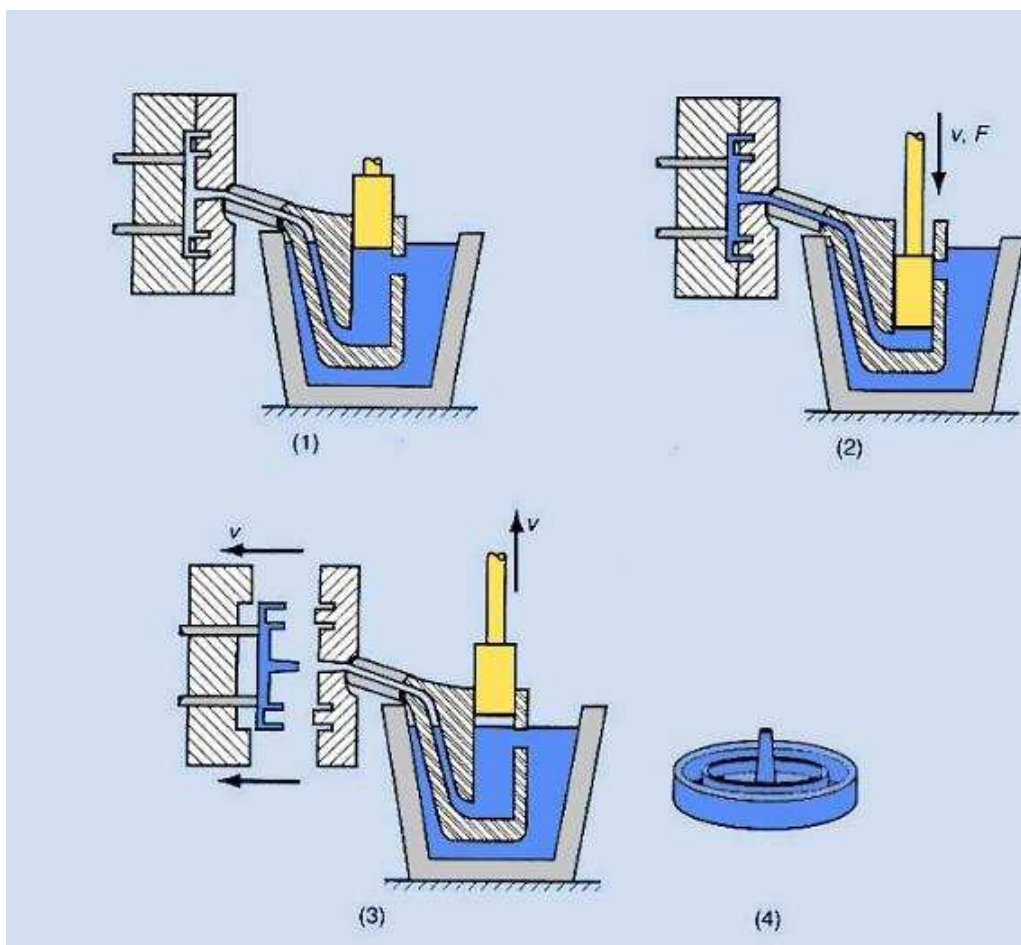
Největší uplatnění tlakově odlévaných odlitků je v automobilovém a leteckém průmyslu, také se s nimi lze setkat např. v šicích strojích, domácích spotřebičích. Jejich uplatnění je široké od automobilů až po hračky. Výsledkem tohoto způsobu lití je rovnoměrná součást, obvykle dobré rozměrové a povrchové přesnosti. [4,5]



Obr. 2.1 Ukázky odlitků vyráběných metodou tlakového lití [6]

2.2 Princip metody

Tlakové lití je univerzální postup pro výrobu kovových součástí. Součástky mohou být přesně definovány, s hladkým nebo s dekorativním povrchem. Základní proces tlakového lití (*Obr. 2.2*) se skládá ze vstříknutí tekutého kovu pod vysokým tlakem do ocelové formy. Formy mohou být navrženy pro výrobu složitých a přesných odlitků, které se odlévají ve větších sériích. [5,7]



Obr.2.2 Princip tlakového lití [8]

- 1- Forma je uzavřena a utěsněna. Píst je v horní poloze
- 2- Píst vstříkne tekutý kov přes „husí krk“ do formy, při zachování konstantního tlaku a posunu až do doby, kdy materiál neztuhne
- 3- Po odlití se píst vrací na původní pozici, zatímco odlitek zůstává ve formě
- 4- Odlitek je vyjmut z formy vysunutím postraních vyhazovačů

2.3 Stroje pro tlakové lití

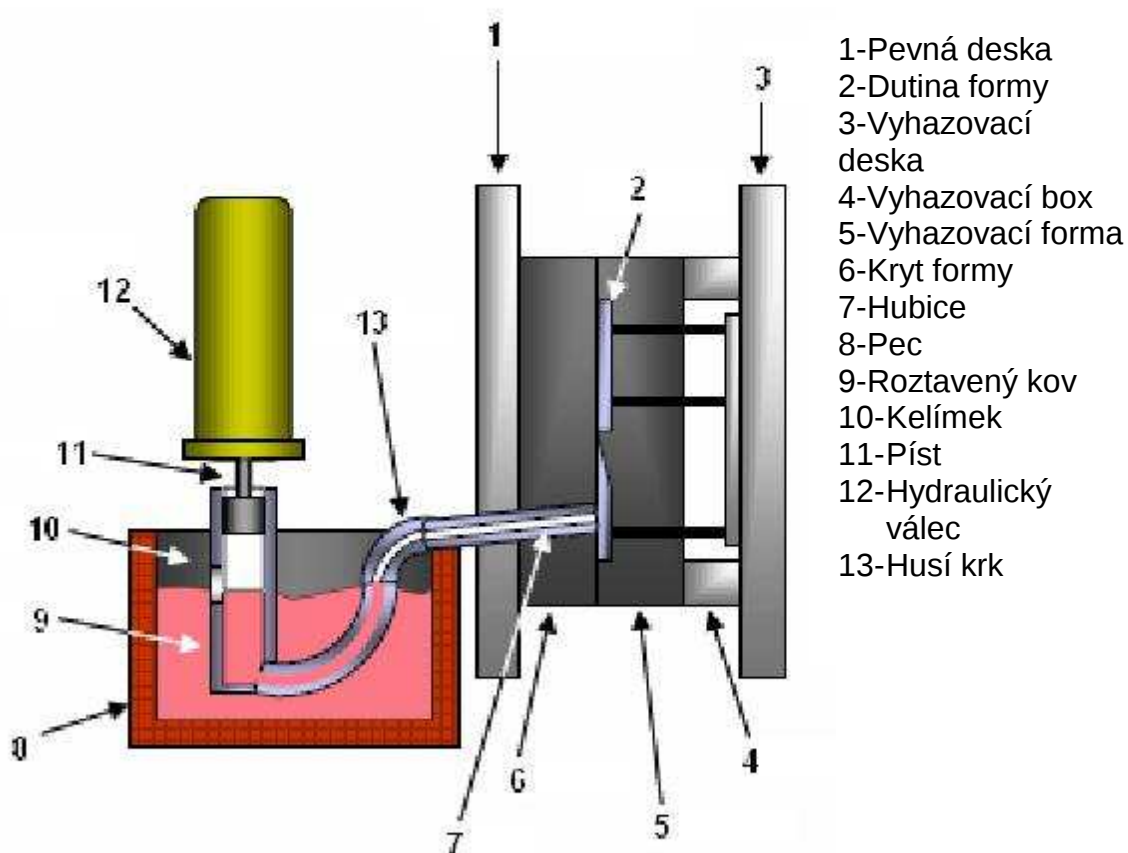
Stroje, tak jak je vidíme v dnešní podobě jsou výsledkem dlouholetého vývoje. Ovšem k vysoké kvalitě a výhodné konstrukci napomohlo využití řídicích a elektronických prvků a také výpočetní techniky.

Zejména konstrukce a technické provedení těchto strojů doznaly velkých změn. Původní stroje s teplou tlakovou komorou (Obr. 2.3) jsou dnes více vytlačovány stroji se studenou tlakovou komorou (Obr. 2.4).

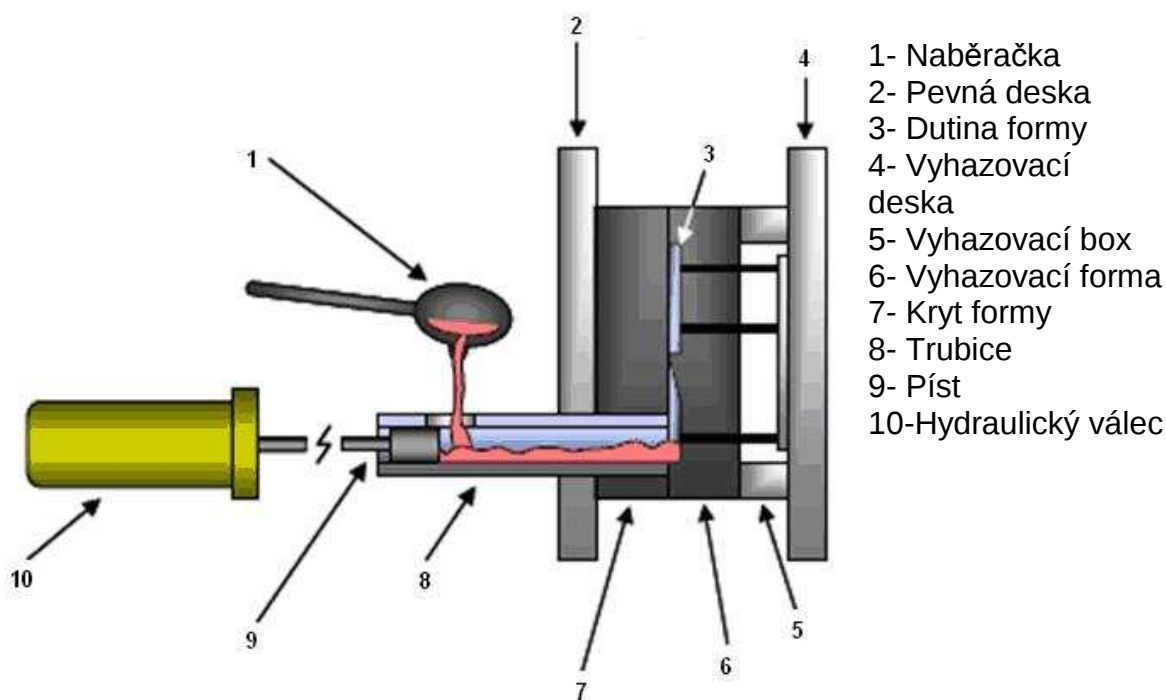
Dalším pokrokem byla konstrukce tlakový strojů s horizontální tlakovou komorou. Stroje této konstrukce si našly velké uplatnění, protože dosahují vyššího pracovního výkonu, lepšího využití odlévaného kovu a současně se

vyznačují jednodušším vstřikovacím systémem a jsou také spolehlivější. Rychlost plnění je cca $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ v okamžiku, kdy tavenina pronikne do zářezu se rychlost zvýší na $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Forma je dělená a předehřívá se na teplotu cca $200\div 240^\circ\text{C}$.

Stroje s vertikální komorou mají v komoře naproti sobě dva písty, z toho horní píst je pracovní a spodní je pomocný. Horním pístem se vtlačuje tavenina do dutiny formy a spodním se vytlačuje přebytek taveniny. Píst postupně vtlačuje taveninu do dutiny formy, která se otevře až po ztuhnutí. Pohyblivá část formy dojde na doraz a vyjedou z ní vyhazovače. Tyto musí být rozloženy tak, aby se odlitek nedeformoval. Forma bývá temperovaná.[4,9]



Obr. 2.3 Stroj pro tlakové lití s horkou komorou [10]



Obr. 2.4 Stroj pro tlakové lití se studenou komorou [10]

2.4 Materiály používané pro odlévání tlakovým litím

Slitiny používané pro tlakové lití, musí být nejen dobře slévatelné, ale kromě vhodných mechanických vlastností musí být také za tepla dostatečně pevné. To umožňuje, aby tlakově lité odlitky při rychlém a brzděném smršťování ve formě nepraskaly.[4]

Touto metodou mohou být odlévány jak železné tak i neželezné kovy. Mezi nejpoužívanější materiály patří zejména hliník, měď, hořčík, zinek, cín ale i olovo. Obecně je používána pro větší série a většinou pro odlitky „menších rozměrů“, u kterých je kladen důraz na rozměrovou přesnost a kvalitu povrchu. [6]

Asi nejvíce je používán pro odlévání hliník a popř. jeho modifikace, které lze po odlití ochlazovat vodou. To přispívá nejen ke stabilitě rozměrů odlitků pro následující operaci odstranění vtoku odstříháváním, ale i pro využití následujícího efektu - tepelného zpracování - vytvrzování za normální teploty.

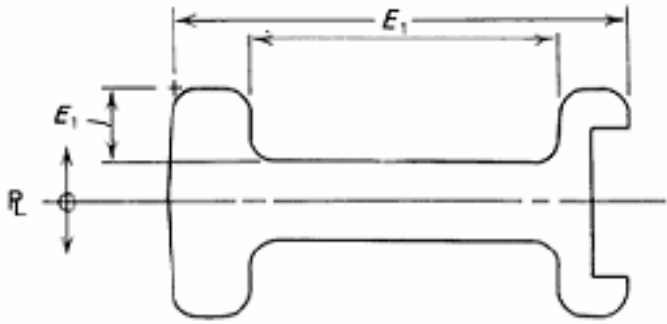
Vedle tlakových slitin hliníku se nyní začínají také uplatňovat pro tlakové lití slitiny hořčíku, které se vyznačují malou hmotností. [4]

2.5 Rozměrové změny

Rozměrová změna se určuje z návrhu formy, přesností její konstrukce a tuhnutí odlitku. Nejpřesnější formy jsou ty, které jsou vyráběny na číslicově řízených strojích a následně také zkontrolovány pomocí číslicových metod.

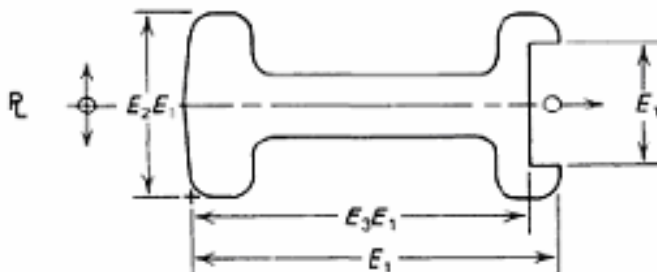
Těmito metodami je kontrolováno složení slitiny, teplota lití, čas a vstřikovací tlak a vedou k zlepšení shodnosti rozměrů. Minimální změna rozměrů je požadována pro ty rozměry, které jsou obsaženy pouze v jedné polovině formy. V tabulce 1.1 jsou uvedeny doporučené tolerance lineárních rozměrů podle Amerického Institutu pro tlakové lití (ADCI) . V tabulce 1.2 jsou uvedeny doplňkové tolerance doporučené dle ADCI. Tolerance jsou funkcí velikosti odlitku a plánovaného rozsahu. Teplota formy, hydraulické tlaky stroje a čistota formy jsou základními faktory, které jsou kontrolovány. Další rozměrová změna nastává vlivem posouvajícího členu formy (jádro). [11]

Tab.1.1 Doporučené tolerance lineárních rozměrů podle ADCI [11]

			
Délka rozměru[palec=2,54mm]	Základní tolerance[palec] pro:		
	odlitky ze slitin zinku	odlitky ze slitin hořčíku a hliníku	odlitky ze slitin mědi
Netolerované rozměry			
do 1	± 0.01	± 0.01	± 0.014
od 1 do 12	...	...	...
nad 12	...	...	...
Tolerované rozměry			
do 1	± 0.003	± 0.004	± 0.007
od 1 do 12	...	...	...
nad 12	...	...	...

Délka rozměru[palec=2,54mm]	Doplňkové tolerance pro každý palec rozměru E1 pro:		
	odlitky ze slitin zinku	odlitky ze slitin hořčíku a hliníku	odlitky ze slitin mědi
Netolerované rozměry			
do 1	...	...	...
od 1 do 12	± 0.0015	± 0.002	± 0.003
nad 12	± 0.001	± 10.001	...
Tolerované rozměry			
do 1	...	...	...
od 1 do 12	± 0.001	± 0.0015	± 0.002
nad 12	± 0.001	± 0.0015	...

Tab.1.2 Doporučené doplňkové tolerance pro tlakové odlitky vyráběné ve formách s posouvajícími částmi [11]



předpokládaná oblast tlakově litého odlitku	Doplňkové tolerance pro:		
	odlitky ze slitin zinku	odlitky ze slitin hořčíku a hliníku	odlitky ze slitin mědi
do 10	± 0.004	± 0.005	± 0.010
od 10 do 20	± 0.006	± 0.008	...
od 20 do 50	± 0.008	± 0.012	...
od 50 do 100	± 0.012	± 0.015	...
od 100 do 200	± 0.016	± 0.020	...
od 200 do 350	± 0.020	± 0.025	...
od 350 do 600	± 0.025	± 0.030	...
od 600 do 1000	± 0.030	± 0.035	...

3. Odstředivé lití

3.1 Obecný popis

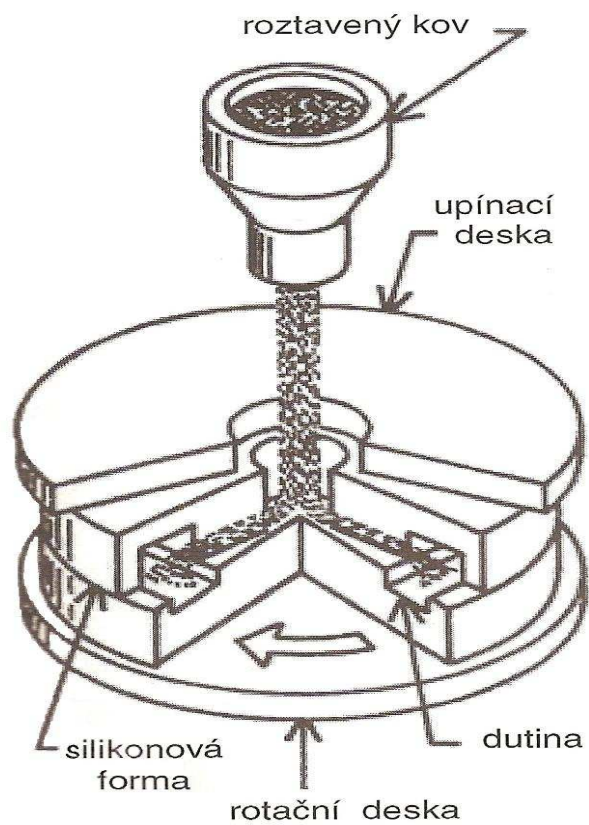
Technologie výroby odlitků odstředivým litím umožňuje získat vysoce kvalitní odlitky z běžných nízkotavitelných slitin, rozměrově přesné. Tato technologie je vhodná na výrobu malých a středních sérií výrobků, ale také je možné ji použít na výrobu prototypových odlitků.

Sortiment odlitků vyráběných touto technologií je široký a zahrnuje výrobu kovových dílců, medailí, nábytkových dveřních a okenních kování a jiných (Obr. 3.1). [12]



Obr. 3.1 Zinkové odlitky vyrobené odstředivým litím [12]

3.2 Princip metody



Obr. 3.2 Technologie odstředivého lití [12]

Technologie odstředivého lití (Obr.3.2) používá pro výrobu odlitků formy ze silikonové gumy a dále je potřebná odstředivá síla. Formy používané touto technologií mají charakteristický kruhový tvar s dutinami umístěnými po obvodě. Roztavený kov se přivede do středu rotující formy a vlivem odstředivé síly vytváří odstředivý tlak, který tlačí materiál do dutin. Výsledkem jsou nízkoporézní odlitky vysoké odlitky. [12]

3.3 Technologický postup výroby odlitku

Celý technologický postup se skládá ze tří etap:

- výroba modelů
- výroba formy
- odlévání

3.3.1 Výroba modelů

Modely se nejčastěji vyrábějí konvenčními technologiemi podle technického výkresu. Nejčastěji bývají z hliníku, mosazi, oceli a nebo plastu. Při výrobě modelu je třeba počítat s tepelnými roztažnostmi materiálu, protože vulkanizace silikonové formy probíhá za vyšších teplot. Při výrobě členitého reliéfu se také používá gravírovacího zařízení (pozn. gravírování-náhrada za ruční rytí) a nebo dnes rychle se rozvíjející metody Rapid Prototypingu. [12]

3.3.2 Výroba formy

Forma se skládá z horní a spodní části, ze kterých je každá navrstvená podle výšky modelu (Obr. 3.3.a). V závislosti na výšce a tvaru modelu můžou být dutiny ručně vyřezané (Obr. 3.3.b) do přibližného tvaru modelu, čímž se dosáhne požadované přesnosti uložení modelu ve formě a určí se dělicí rovina. V této fázi přípravy výroby formy je nutné zaformovat jádra, ovšem jen pokud to vyžaduje konstrukce.

Jádra můžou být pevnou součástí modelu (Obr.3.4) a při odlévání se použijí jiné, které mohou být vyrobeny z teflonu nebo ze silikonové gumy. Na okraj formy se po obvodě umístí centrovací kolíky, které zajišťují přesné vedení obou polovin formy a také zabraňují jejich vzájemnému posunutí při vlastním lití.

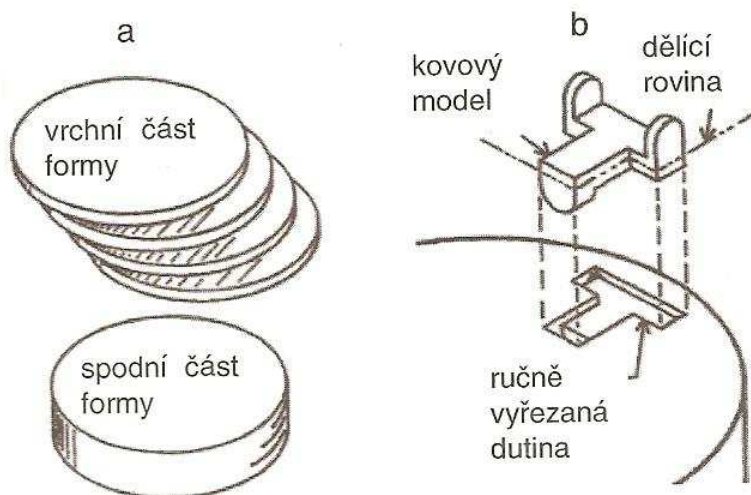
Dělicí rovina se po vulkanizaci oddělí od obou polovin formy silikonovým sprejem a nebo jinými přípravky. Po umístění modelů do formy se forma uzavře ve formovacím ráme a umístí se do vulkanizačního lisu (Obr. 3.5), kde se po určitou dobu vulkanizuje při teplotě 180°C a tlaku 150 bar. Výsledná forma je tuhá, pružná, rozměrově přesná, tepelně a chemicky odolná.

Modely a odlitky lze vytáhnout později díky pružnosti formovacího materiálu a to i v případě, že nemají žádné a nebo záporné úkopy.

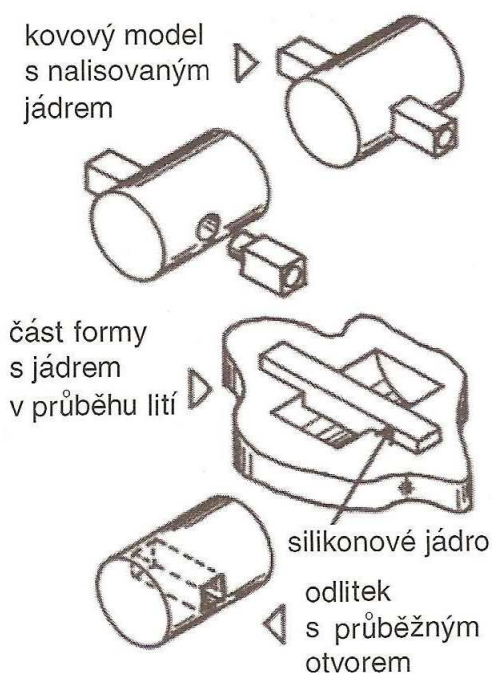
Vtokový systém a odvzdušnění (Obr. 3.6) se do zvulkanizované formy vyřezávají ručně, pomocí tvarových nožů a skalpelu. V závislosti na uspořádání a velikosti a dutin se vyřeže kompletní vtokový systém a to i v horní polovině formy, obzvláště pak u velkých odlitků ze zinku. Důležité je vyřezání zářezů do jednotlivých dutin formy. Zářez má tvar plochého

klínu a to z důvodu lehkého ulomení vtoků a výfuků od hotového odlitku. V případě hromadného vytlačení vzduchu ve spodních částech formy se na odvzdušnění dělají kanálky tenkým spirálovým vrtákem.

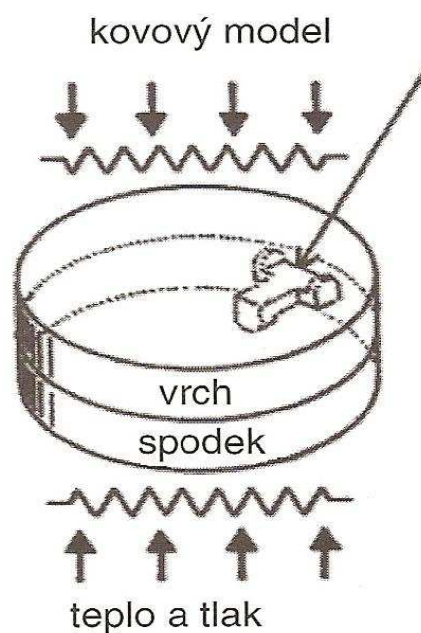
Odvzdušnění formy je velmi důležitou součástí, protože guma je neprodyšná. Pro zajištění kompletního vypuštění vzduchu z dutin musí mít všechny odvzdušňovací kanály průchod k vnějšímu obvodu formy. [12]



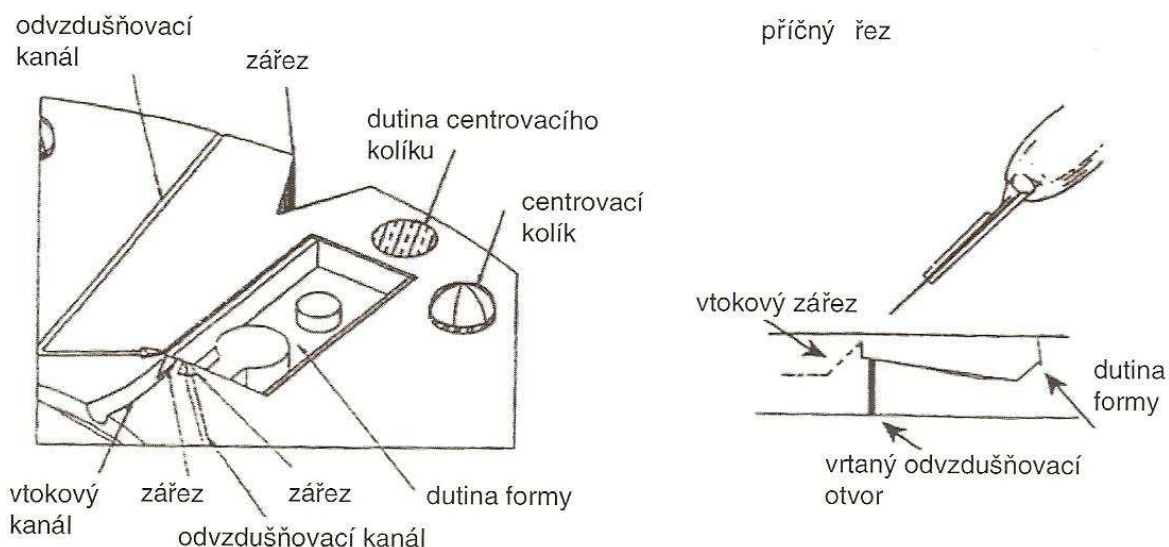
Obr. 3.3 Výroba formy [12]



Obr. 3.4 Jádra [12]



Obr. 3.5 Připravená forma do vulkanizačního lisu [12]



Obr. 3.6 Příprava vtokové soustavy a systému odvzdušnění [12]

3.3.3 Odlévání

Složená hotová forma se vloží do odstředivky, kde je vycentrovaná. Každý stroj má svůj vlastní systém pro vycentrování. Jakmile se uzavře pracovní prostor, tak se forma rotočí 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 oddělí. Většinu odlitků je možné použít bez dalšího obrábění. [12]

4. SROVNÁNÍ RŮZNÝCH TECHNOLOGIÍ LITÍ

Tab.1.6 Parametry odlitků u běžných způsobů lití [13]

Metoda lití	Rozměry (mm)	Tolerance IT	Hmotnost (kg)	Tloušťka (mm)	Drsnost R_a (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
Skorepinové formy	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
Tlakové lití	1 až $2 \cdot 10^3$	10	10^{-3} až 50	0,4 až 15	1,6 až 12,5

Tab.1.4 Charakteristika slévárenských metod [13]

Metoda lití	Specifické vlastnosti a použití	Ekonomická 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 odlitek ze všech kovů. Malá přesnost	nad 100
Skořepinové formy	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. Zdlouhavá výroba, pomalé tuhnutí, vhodné pro neželezné kovy	1 až 10^4
Vakuové formy (V – proces)	Formovací materiál bez pojiva, dokonalá reprodukce tvaru, snadné vytloukání 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, tvarově 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 výstolkou vhodné i pro slitiny s vysokou tavicí teplotou. Vysoká produktivita	10 až $5 \cdot 10^3$
Odstředivé lití	Jednoduchá výroba odlitek s dutinami rotačního tvaru, lepší mechanické vlastnosti, vhodné téměř pro všechny kovy	10^3 až 10^4
Nízkotlaké lití	Vysoká přesnost, zlepšené dosazování, lepší využití kovu, drahá výroba formy. Vhodné téměř pro všechny kovy	10^3 až 10^5
Tlakové 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

Tab.1.5 Srovnání technologie Tekcast s ostatními [14]

Technologie	Odsíťivé lití Tekcast	Tlakové lití	Lití do sádky	Lití do pisku	Lití na vytavitelný model	Gravitační lití	Lití do uhlíkových forem	Lisování plastických hmot
Materiál použité formy	vulkanizovaná guma Teksil	obráběná nástrojová ocel	sádra	písek	keramika	obráběná ocel	obráběný grafit	obráběný hliník, mosaz nebo nástrojová ocel
Litý materiál	zinek, cín, olovo, epoxid, polyester	zinek, hořčík, hliník	většina neželezných kovů	většina slitvarensky tavitelných kovů	většina slitvarensky tavitelných kovů	zinek, hořčík, hliník	zinek	většina termoplastů
Průměrné náklady na výrobu formy v USD	35 - 850	10000-250000	1000-25000 (dřevěný nebo kov. model)	500-10000 (dřevěný nebo kov. model)	1000-25000	5000-125000+	2000-30000	5000-150000+
Ekonomický výhodná serie	1 a více	25000 a více	100 a více	100 a více	1000 a více	10000 a více	5000 a více	15000 a více
Vhodná velikost odlitku (délka nebo výška)	< 12" - 12" <12,5-300mm	<12"-24" <12,5-300mm	4"-36" 100-900mm	3"-36" 75-900mm	1"-24" 25-600mm	4"-24" 100-600mm	4"-24" 100-600mm	<1/2"-24" <12,5-600mm
Vhodná tloušťka stěny odlitku	<1/8"-1/2" <3-12,5mm	<1/8"-3/4" <3-20mm	1/8"-1" 3-25mm	1/4"-1" 6-25mm	1/8"-1" 3-25mm	1/4"-1" 6-25mm	1/4"-1" 6-25mm	<1/8"-1/2" 3-25mm
Přesnost odlitku	velice přesné	nejpřesnější	přesné	nejméně přesné	velice přesné	nepřesné	nepřesné	nejpřesnější
Možnost měnit tvar dutiny	nejsnadnější	velice obtížné	obtížné	snadné	velice obtížné	obtížné	obtížné	velice obtížné
Náklady na odlitek	velice nízké	nejnižší	velice vysoké	velice nízké	nejvyšší	nízké	vysoké	nejvyšší
Potřebné následné opravování	velice malé nebo žádné	nejmenší nebo žádné	malé	největší	velmi malé nebo žádné	malé	malé	nejmenší nebo žádné
Termín výroby prvního odlitku	3 hod. - 2 dny	12 - 24 týdnů	6 - 12 týdnů	4 - 12 týdnů	8 - 16 týdnů	12 - 24 týdnů	8 - 16 týdnů	12 - 24 týdnů

ZÁVĚR

Metod výroby odlitků je celá řada a každá z těchto metod vykazuje různé rozměrové přesnosti. Rozhodujícím faktorem pro volbu dané technologie může být právě dosahovaná rozměrová přesnost nebo také ekonomické náklady odlitku a mnohé další aspekty. Žádná technologie není zcela dokonalá. Každá má své výhody a své nevýhody, a proto je potřeba zvážit, jestli se jedná o kusovou nebo sériovou výrobu a také která technologie je pro daný typ odlitků vhodná. V dnešní době a pravděpodobně i do budoucna se dostanou do popředí technologie, které budou ekonomicky výhodné, ekologicky šetrné, ale také přesné. V této práci jsou popsány celkem tři technologie výroby odlitků, které patří mezi jedny z nejpoužívanějších technologií ve slévárenství.

Jako první technologie byla vybrána metoda vytavitelného modelu. Mezi hlavní výhody této metody patří zejména vysoká přesnost odlitků, která bývá okolo desátého stupně přesnosti. Z toho vyplývá, že většinou není třeba odlitky dále obrábět. Struktura povrchu patří mezi další výhody, odlitky vyrobenou touto metodou mají R_a v rozmezí od 1,6 μm po 25 μm . V neposlední řadě je výhodou také to, že touto technologií lze odlévat téměř všechny slévárensky tavitelné materiály do forem velmi složitých tvarů. Mezi nevýhody této metody patří omezená velikost odlitků a také drahá výroba, zejména výroba modelu je jednou z nejdražších součástí této technologie. Z toho vyplývá, že je používána pro hromadnou a sériovou výrobu, kde se náklady vložené do výroby modelu vrátí.

Jako další metoda byla vybrána technologie tlakového lití, která má své nezastupitelné místo v automobilovém průmyslu. Také má své výhody a nevýhody. Mezi výhody patří vysoká přesnost a kvalita povrchu. Jedná se o velice přesnou metodu. Přesnost bývá okolo desátého stupně přesnosti. Struktura povrchu u odlitků vyráběných touto technologií bývá v rozmezí od 1,6 μm po 12,5 μm . Z toho plyne, že další opracování se také většinou nepředpokládá a je vhodné tuto technologii pro sériovou a hromadnou výrobu. Nevýhodou tlakového lití je pórovitost odlitků, a také drahá výroba formy. Jistou nevýhodou může být také to, že nelze odlévat všechny slévárensky tavitelné materiály. Obvykle jsou odlévány materiály typu hliník, hořčík, zinek a jejich slitiny a opět do forem velmi složitých tvarů.

A jako poslední byla vybrána technologie odstředivého lití, která se řadí mezi další velmi přesné metody výroby odlitku. Přesnost u odstředivého lití bývá okolo 12 stupně přesnosti a odlitky mívají strukturu povrchu v rozmezí od 6,3 μm po 25 μm . Z toho plyne, že další obrábění se většinou nepředpokládá stejně jako u výše zmíněných metod. Technologie je poměrně jednoduchá a rychlá, první odlitek je možné vyrobit už za 3 hodiny od zadání do výroby. Odlitky mohou být vyrobeny téměř ze všech slévárensky tavitelných kovů a vyznačují se velmi dobrými mechanickými vlastnostmi. Nejčastěji se ovšem odlévá zinek, olovo, cín a jejich slitiny. Většinou je této technologie použito při kusové nebo malosériové výrobě, což může být jistou nevýhodou.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HORÁČEK, M. *Rozměrová přesnost odlitků vyráběných metodou vytavitelného modelu*. Brno: VUTUM, 2004. 36 s. Habilitační práce na Vysokém učení technickém v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [2] KRACMAN, O. *Faktory ovlivňující přesnost odlitků u metody vytavitelného modelu* [online], [cit. 2009-05-14]. Dostupné z :
<http://stc.fs.cvut.cz/History/2008/Sbornik/S3/Kracman_Ondrej_12133.pdf>
- [3] KDYNÍUM A.S., Kdyně, [cit. 2009-05-14]. Dostupné z :
<<http://www.kdynium.cz/cesky.asp?pid=p3>>
- [4] NOVÁKOVÁ, I., HOŠEK, Z., NOVÁ, I., Rozvoj tlakového lití. *MM Průmyslové Spektrum* [online]. 2004, č. 5 [cit. 2009-05-16] Dostupné z :
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/rozvoj-tlakoveho-liti>>
- [5] *FAQ about Die Casting* [online]. [cit. 2009-05-16]. <URL
<http://www.diecasting.org/faq/>>
- [6] Die casting [online]. [cit. 2009-05-16]. <URL
http://www.allstate.cn/en/die_casting.html >
- [7] Die Casting Process, Cold Chamber Process, Hot Chamber Process [online]. [cit. 2009-05-16]. <URL
http://www.streetdirectory.com/travel_guide/122186/technology/die_casting_process_cold_chamber_process_hot_chamber_process.html>
- [8] Ortal diecasting [online]. [cit. 2009-05-16]. <URL
<http://www.ortal.co.il/Index.asp?CategoryID=77&ArticleID=72>>
- [9] MICHNA, Š. *Progresivní technologie odlévání* [online], [cit. 2009-05-20]. Dostupné z : <http://www.stefanmichna.com/download/progresivni-technologie/progresivni_techologie_odlevani.pdf >
- [10] HERMAN, A. *Modifikace tlakového lití* [online], [cit. 2009-05-20]. Dostupné z :
<http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/MPL/modifikace_tlakoveho_liti.pdf >
- [11] ASM HANDBOOK. *Metals-Handbooks manuals tec.* 9th. ed. ASM International, 1992. s.616-619, ISBN 0-87170-007-7
- [12] FABIAN, V. Výroba zinkových odlitků metodou odstředivého lití. *Slévárství*, prosinec 2006, roč. 54, č 12, s. 452-456
- [13] HERMAN, A. *Slévání* [online], [cit. 2009-05-24]. Dostupné z :
<http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/NVPO/slev_prednasky.pdf>
- [14] CFW S.R.O., Ostrava-Muglinov, [cit. 2009-05-24]. Dostupné z :
<<http://www.cfw.cz/srovnanitech.htm> >