

Výroba odlitku metodou odstředivého lití

Jiří Hruboň

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří HRUBOŇ**
Osobní číslo: **T08914**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Výroba odlitků metodou odstředivého lití**

Zásady pro vypracování:

- 1) Teorie hutních pochodů.
- 2) Návrh silikonové formy pro odstředivé lití.
- 3) Provedení zkoušek.
- 4) Závěr.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Ptáček a kolektiv : Nauka o materiálu I,II, Akademické nakladatelství CERM, 2001
2. Jelínek, P.: Slévárství, VŠB TU Ostrava, skripta
3. Plachý,J. a spol.: Teorie slévání, ČVUT Praha, skripta

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Josef Hrdina

Ústav výrobního inženýrství

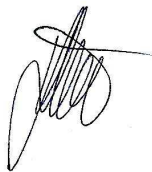
Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2011

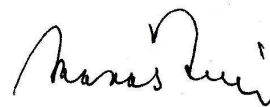
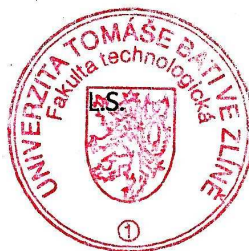
Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2011

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem mé práce je nastínit čtenáři slévárenskou výrobu od jejího počátku (zadání požadovaného výrobku) přes výrobu až po vyhodnocení výrobku z hlediska přesnosti a jakosti. Budeme se zabývat jak teoretickou stránkou výroby součásti odléváním, která bude pojata komplexně, tak praktickou částí, ve které se chci zaměřit na odlitek vyrobený formou odstředivého lití ze slitiny zinku. Výroba modelu bude realizována metodou Rapid prototyping.

Klíčová slova: slévárenství, odlitek, forma, úchytka, slitina zinku

ABSTRACT

The main intention of my work is outline the foundry to readers from its beginning (assignment desired product) over production up to evaluation of the product in term of accuracy and quality. We will cover both teoretical aspect of the production of the casting part which will be concepted complexly and practical part in which i want to focus on the casting produced by centrifugal casting of zinc alloy its additional measurement on the tensile machine together with the evaluation of the test.

Keywords: foundry industry, cast, form, alloy zinc

Děkuji vedoucímu práce Ing. Josefu Hrdinovi za veškeré rady a připomínky k práci. Dále děkuji Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za vyrobení modelu na 3D tiskárně. Velký dík patří doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi a Ing. Martinovi Řezníčku za pomoc a rady při veškerém měření. A v neposlední řadě, poděkování firmě Zinako s.r.o. a jejímu jednateři Davidu Halaštovi za vynaložený čas a umožnění vypracovat práci.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 TEORETICKÁ ČÁST	12
1 HISTORIE SLÉVÁRENSTVÍ.....	13
2 PŘEHLED SLÉVÁRENSKÉ VÝROBY.....	14
3 ZÁSADY PŘI KONSTRUKCI ODLITKŮ.....	16
3.1 VOLBA MATERIÁLU A TECHNOLOGIE DLE ZADANÉHO VÝROBKU.....	16
3.2 ÚKOSY STĚN, PŘÍDAVKY	17
3.3 ZAOBLNĚNÍ STĚN	17
3.4 PŘECHODY TLOUŠŤEK STĚN A ŽEBRA NA ODLITCÍCH.....	18
3.5 NÁLITKY	20
3.6 DĚLÍČÍ ROVINA A VOLNÉ ČÁSTI MODELU	20
4 MODELOVÉ ZAŘÍZENÍ	22
4.1 MODELY.....	22
4.2 JADERNÍKY A JÁDRA.....	23
4.3 VTOKOVÁ SOUSTAVA	23
4.4 ŠABLONY.....	26
4.5 MODELOVÉ DESKY	27
5 FORMOVACÍ LÁTKY	28
5.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI FORMOVACÍCH LÁTEK	28
5.2 FORMOVACÍ SMĚSI	28
5.3 ZÁKLADNÍ SLOŽKY FORMOVACÍ SMĚSI	29
6 FORMOVÁNÍ.....	30
6.1 RUČNÍ FORMOVÁNÍ.....	30
6.2 STROJNÍ FORMOVÁNÍ.....	31
a) Lisování.....	32
b) Střásání.....	33
c) Metání	34
7 ZPŮSOBY ODLÉVÁNÍ.....	35

7.1	ODSTŘEDIVÉ LITÍ	35
7.2	LITÍ DO KOVOVÝCH FOREM	36
7.3	LITÍ POD TLAKEM	36
7.4	NÍZKOTLAKÉ LITÍ	38
7.5	SKLOPNÉ LITÍ	39
7.6	LITÍ DO SKOŘEPINOVÝCH FOREM	39
7.7	LITÍ METODOU VYTAVITELNÉHO MODELU	40
7.8	KONTINUÁLNÍ LITÍ	41
7.9	ODLÉVÁNÍ KOVOVÝCH SKEL	42
8	VYTLOUKÁNÍ A ČIŠTENÍ ODLITKŮ	44
9	VADY ODLITKŮ	45
9.1	NĚKTERÉ VADY ODLITKŮ, ČASTO SE VYSKYTUJÍCÍ U ODSSTŘEDIVÉHO LITÍ	45
II	PRAKTICKÁ ČÁST	47
10	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	48
11	PROFIL FIRMY ZINAKO S.R.O.	49
11.1	VÝROBNÍ TECHNOLOGIE	49
a)	Výroba modelu mince, odznaku či plakety	49
b)	Výroba formy	50
c)	Odlévání kovu do formy	51
12	GRAFICKÝ A KONSTRUKČNÍ NÁVRH ODLITKU	52
12.1	MĚŘENÍ ZMĚNY ROZMĚRU ROZTEČE ÚCHYTKY MEZI MODELEM A ODLITKEM	52
a)	Měření průměru jádra	52
b)	Měření vnějšího rozměru mezi jádry	54
c)	Vyhodnocení měření	56
12.2	GRAFIKA A KONSTRUKCE ÚCHYTKY	57
13	VÝROBA MODELU	58
14	VÝROBA FORMY Č.1	59
15	ODLÉVÁNÍ ÚCHYTKY	63
16	VÝROBA FORMY Č. 2 A ODLITÍ VÝSLEDNÉHO VÝROBKU	64
17	MĚŘENÍ ROZTEČE VYROBENÉ ÚCHYTKY	65
17.1	VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	65
	ZÁVĚR	68
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ	71
	SEZNAM TABULEK	73
	SEZNAM PŘÍLOH	74

ÚVOD

Slévárenství je výrobní odvětví, které je v dnešní době nepředstavitelnou součástí strojní výroby. Toto řemeslo je známo již od dob před naším letopočtem, avšak největší průmyslový vývoj byl mezi 19. a 20. stoletím, kdy se začala rozvíjet hromadná výroba.

Postupně se výroba začala rozšiřovat, rozvíjí se dopravní průmysl, obráběcí stroje či armatury, a tím rostou nároky na tvarově složité součásti, které jsou jinými technologiemi těžko vyrobitelné nebo dokonce nevyrobitelné. Velikost výrobků může být od několika milimetrů po desítky metrů. Přibývají slévárny řízené poloautomaticky či automaticky.

Principem odlévání je výroba formy, která má dutinu ve tvaru budoucího výrobku, zvětšenou o míru smrštění odlévaného kovu. Dutina je vytvořena pomocí modelu, který má tvar odlitku zvětšený o přídavky na obrábění a technologické přídavky. Důležitou součástí výroby je konstrukční návrh odlitku, který musí být dobře zaformovatelný a musí jít z formy vyjmout. Nesmí se proto opomenout úkosity stěn a zaoblení hran pro lepší zatečení kovu. Do takto vytvořené formy se vlévá tavenina. Jako materiál pro odlévání se nejčastěji používá šedá litina, bílá litina, ocel na odlitky a slitiny neželezných kovů. Odlitek je buď polotovar, nebo hotový výrobek. To závisí na použité technologii odlévání.

V potaz se musí vzít aktuální priority výroby a těmi jsou co nejnižší náklady na výrobu, kterým však musí odpovídat požadované přesnosti jak rozměrové, tak jakosti povrchu. Také se u výroby snažíme snížit odpad na co nejmenší množství a tento celý proces se nazývá racionalizací. V dnešní době vysoké konkurence je to velký důvod, jak si firmy udržují své zákazníky.

Doba jde dopředu a s ní musí jít i technologie výroby a všechny její požadavky. Pro slévárenství jsou nutné znalosti z oboru technologie materiálového inženýrství, mechanické a fyzikální vlastností materiálu atd. V oblasti odstředivého lití, kterým se budu zabývat v této práci, jsou hojně využívány metody Atos Besana, TekCast (lití do silikonových forem), které nejsou tak technologicky náročné a je možno získat výrobek po navržnutí během několika hodin. Nevýhodou těchto metod je odlévání pouze neželezných slitin a omezená hmotnost odlitku do 1kg.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE SLÉVÁRENSTVÍ

První zmínky o slévárenství můžeme datovat již do 2000 př. n. l., kdy byly taveny nízko tavitelné kovy, jako jsou bronz a cín. Odtud také odvozujeme název epochy- období doby bronzové. Nejstarší používané formy byly kamenné, později kovové. V této době byly převážně vyráběny umělecké předměty, zvony, svícny či přístroje.

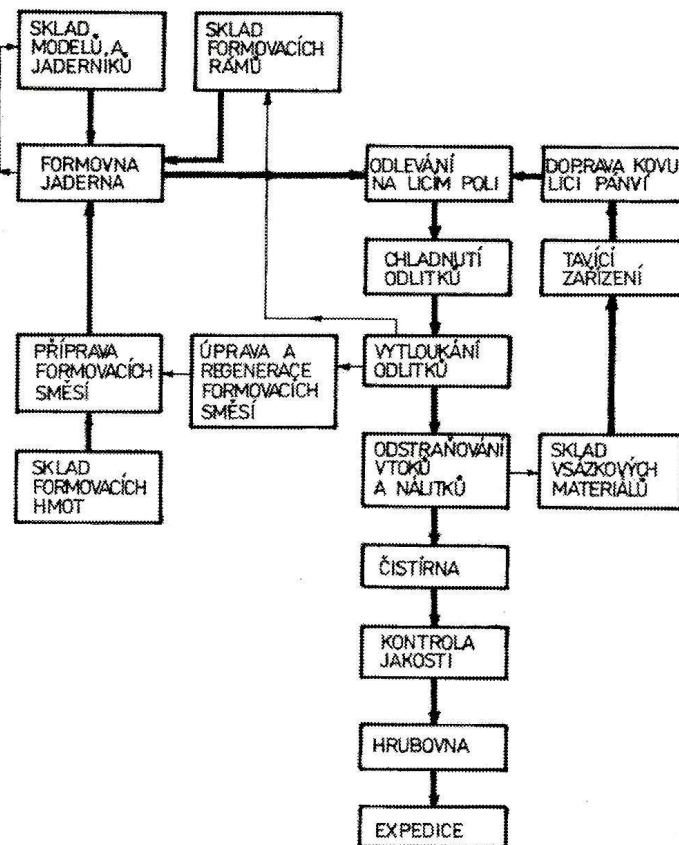
Dalším značným vývojem bylo dosažení vysoké rozpustnosti uhlíku v železe ve vysokých pecích, které umožnilo nízkou teplotu tavení litiny. První odlitky ze šedé litiny existovaly již na konci 14. století, ale markantního rozšíření dosáhla výroba až v 16. -17. století. Převládajícími výrobky z šedé litiny byly dělové koule a dělové hlavě.

Důležitým zlomem ve vývoji byla průmyslová revoluce na přelomu 18. a 19. století, která přinesla spousty technických novinek a s tím související rozšíření výroby tvarově složitých součástí. Ty však musely splňovat vyšší tepelné i pevnostní namáhání. Těmto požadavkům odpovídalo slévárenství šedé litiny, která se odlévá dodnes a stále má své uplatnění (bloky motorů, hlavy válců atd.). Později však byla nahrazena ocelí na odlitky. Ta splňuje vyšší požadavky na náročnější strojní součásti převážně v sériové výrobě a je také lépe obrobitelná, svařitelná a tepelně opracovávaná. [1]

2 PŘEHLED SLÉVÁRENSKÉ VÝROBY

V této kapitole se zaměříme na to, jaký je postup výroby součásti odléváním. Ten má v podstatě všeobecnou platnost ve všech slévárnách, ale podle použité odlévané slitiny a použité technologie se může taktéž podstatně měnit.

Nejčastější postup slévárenské výroby je znázorněn na Obr. 1. [2,3]



Obr. 1. Postup výroby odlitku a oběh hmot ve slévárně [2]

Začátkem výrobního procesu je zadání výrobního výkresu výrobku. Na základě tohoto výkresu se vytváří výkres odlitku, který je obohacen o přídavky na smrštění a přídavky na obrábění. Další operací je výroba modelu anebo šablony, která udává tvar odlitku. Následuje výroba jader v jadernících, která slouží k vytvoření dutiny (otvoru) v odlitku. Modely i jádra mají své umístění ve skladu modelů a jader, kde musí být řádně označeny, aby nedošlo k záměně při dalších krocích výroby. Model je umístěn do rámu, kde se postupně zasypává vrstvami formovací směsi, která se dále pěchuje. Jakmile je model zaformován, forma se složí dohromady (pokud je dvoudílná) a putuje k tavírně, ze které se do

formy odlíje roztavený kov o požadované teplotě. Modely, jádra a rámy jsou taktéž vráceny do skladů, kde jsou připraveny pro další použití. Po vychladnutí dochází k vytlučení odlitků, které se nazývají surové odlitky. Ty jsou poté zbavovány vtokové soustavy, výfuků, nálitků, jader, zbytků povrchových nečistot a písku. Takto získaný odlitek se nazývá hrubý odlitek. Na něm se provádí kontrola a dále putuje k expedici. Vratný materiál (vtoky, výfuky atd.) je vrácen do tavnice k dalšímu zpracování. Z popisu je zřejmé, že slévárenská výroba je náročná jak na technologičnost, tak na potřebnou dopravu všech zmíněných látek a její koordinaci. Také výrobní prostory musejí odpovídat požadovaným potřebám na sklady materiálů, modelů, jader, ráků, jejich výrobě a vlastnímu odlévání. Celému procesu musí pro jeho bezproblémový chod přispívat správná organizace práce. [2,3]

Pohyb hmot, ke kterému ve slévárně dochází, můžeme rozdělit do 4 skupin:

- 1) Pohyb modelů a jaderníků. Modely a jaderníky přicházejí ze skladu modelů do formovny a jaderny, odtud se po zhotovení požadovaného počtu forem vracejí zpět do skladu modelů.
- 2) Pohyb formovacích ráků. Ze skladu formovacích ráků přichází rám do formovny. Zde se zhotoví forma a vloží do ní jádra. Po odlití na licím poli a vychladnutí se odlitek z formy vyjímá (vytlouká) a rám se vrací do skladu ráků, častěji zpět do formovny k výrobě nové formy.
- 3) Pohyb formovacích hmot. Z přípravných formovacích směsí postupuje směs do formovny a jaderny. Po odlití odlitku, vychladnutí a vytlučení z formovacího ráku se formovací směs upravuje a regeneruje. Regenerovaný vratný písek se používá opět pro přípravu nové formovací směsi. Protože se určité množství směsí během tohoto pohybu ztrácí, jsou tyto ztráty doplňovány novými formovacími hmotami, přicházející ze skladu formovacích hmot. Průměrná spotřeba písku ve slévárně litiny je cca 6 tun na 1 tunu odlitků, z čehož spotřeba nového písku činí cca 0,6 tuny.
- 4) Pohyb materiálu na odlitky. Kovová vsázka přichází do tavnice ze skladu vsázkových materiálů, ve kterém se soustřeďuje i odpad ze slévárny, tj. části vtokových soustav, výfuků, případně zmetků. Nutno ovšem poznamenat, že v této podobě se vrací poměrně malá část kovového materiálu. Větší část přichází ze skladu vsázkových materiálů z hutních provozů. [2]

3 ZÁSADY PŘI KONSTRUKCI ODLITKŮ

Konstrukce odlitku je velmi důležitou součástí celé slévárenské výroby. Bez správně navrhnutého odlitku by vůbec nebyla možná jeho výroba anebo by byla neekonomická, nepřesná, s větším počtem vad. Nelze se však obejít bez znalostí slévárenské technologie, z níž vyplývá celá řada pravidel. Ta umožňují jak samotnou výrobu odlitku, tak její ekonomičnost výroby a požadovanou kvalitu výrobku. Mezi hlavní zásady při konstrukci patří například: volba materiálu, zaoblení a úkosy stěn, tvorba žeber, zamezení náhlých přechodů tloušťky stěn a spousty dalších, na které se v této kapitole zaměříme podrobněji. [2]

3.1 Volba materiálu a technologie dle zadaného výrobku

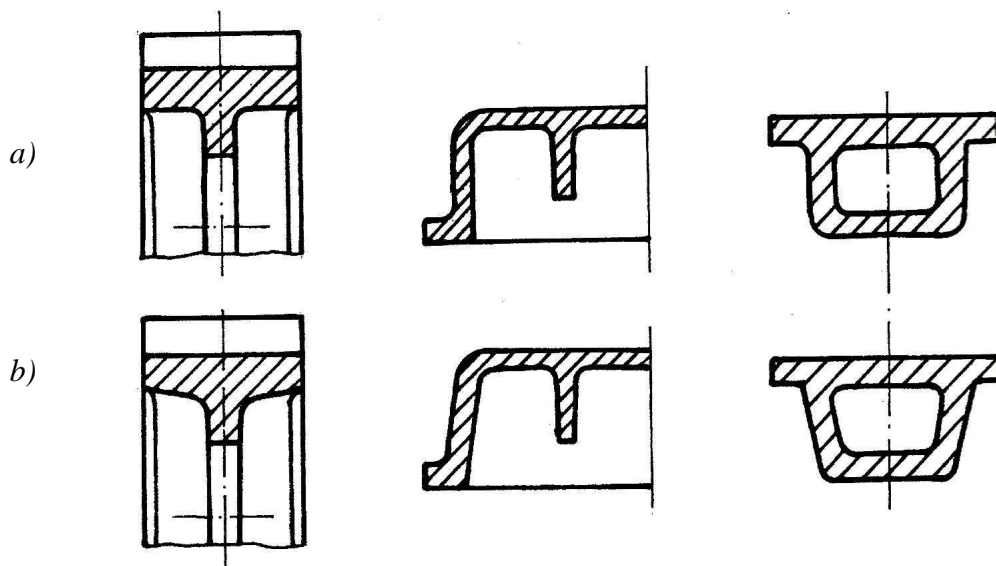
Prvním krokem při konstrukci je rozhodnutí, zda požadovaný tvar výrobku je vhodné vyrábět odléváním či zvolit jiný způsob výroby. Pokud se zvolí výroba odléváním, záleží na zvolené technologii, podle požadovaných vlastností výrobku. Stručný přehled základních slévárenských technologií, materiálů a dosažených přesností a drsností je uveden v tabulce č. 1

Tab. 1. Orientační hodnoty možností slévárenských technologií [4]

		Min. tloušťka odlitků	Min. průměr otvorů	Dosažitelná		
				Přesnost odlitků		Drsnost odlitků
		mm	Mm	%	IT	Ra
Pískové formy	Ocel	6-12	15	0,2	12	6,3
	Litiny	3-10	10	0,5-2	14-16	12,5-200
Kovové formy	Ocel	4-12	15	0,2-2	13-16	3,2-25
	Litiny	3-5	6			
Tlakové lití	Slit. Al	1-3	1	0,1-0,5	11-14	1,6-12,5
	Slit. Cu	2-4	3			
	Slit. Zn	1-2	1			
Metoda vytavitelného modelu		1-2	1	0,05-0,3	11-13	3,2-25

3.2 Úkosy stěn, přídávky

Ke snadnějšímu vyjímání modelu z formy se volí na bočních plochách modelu úkosy. Z toho vyplývá, že konstruktér, který navrhuje tvar součásti, by měl znát základní pravidlo formování odlitku, zejména polohu dělicí roviny a směr vytahování modelu z formy. S ohledem na tyto skutečnosti je pak potřeba v maximální míře využívat konstrukčních úkosů součásti. Příklady správného navržení úkosů jsou na obrázku 2 b). [2]



Obr. 2. Použití úkosů při konstrukčním návrhu součásti [2]

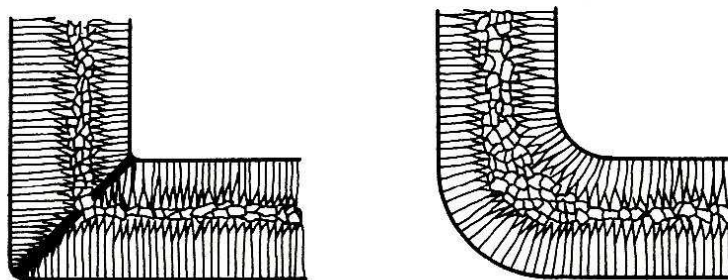
Výrobní výkres - zhotovený konstruktérem - určuje tvar, rozměry, jakost povrchu, tepelné zpracování a druh materiálu odlitku. Odlitek, který je s tímto výkresem shodný, se nazývá čistý odlitek. Vznikne obrobením hrubého odlitku, který se od něho liší přídávky na obrobení, popřípadě o přídávky technologické (úkosy, nálitky). [3]

3.3 Zaoblení stěn

Struktura kovu je po odlití složena ze zrn, která vzniklá růstem krystalizačních zárodků. Ochladuje-li se kov rychle, např. v kovové formě, tvoří se velké množství krystalizačních zárodků a krystaly při svém růstu na sebe brzy narazí a utvoří jemnozrnnou strukturu. Chladne-li kov naopak pomalu, např. v pískové sušené formě, tvoří se méně krystalizačních zárodků a vzniká hrubozrnná struktura, vyznačující se menší pevností. Při tuhnutí neroste krystal všemi směry, nýbrž ve směru tří krystalizačních os.

Vzniká tzv. dendrit (sloupkovitá, jehlicovitá čili tyčkovitá struktura). Na stěnách formy, kde nastává silné ochlazení kovu vlitého do formy, se zrychluje růst dendritů ve směru hlavních os, kolmých k ochlazované ploše.

Stýkají-li se dvě soustavy sloupkovitých krystalů, vyrůstá na ochlazovaných stěnách, jež spolu svírají jistý úhel - proto je možné takovou plochu přibližně proložit rovinou. V této rovině je odlitek značně oslaben a vystaven nebezpečí lomu. Není-li hrana ostrá, slabé místo nevzniká, a proto se hrany odlitků zaoblují. Znázorněno na obrázku 3. Na jednom odlitku se používá - pokud možno - stejných poloměrů zaoblení. [3]

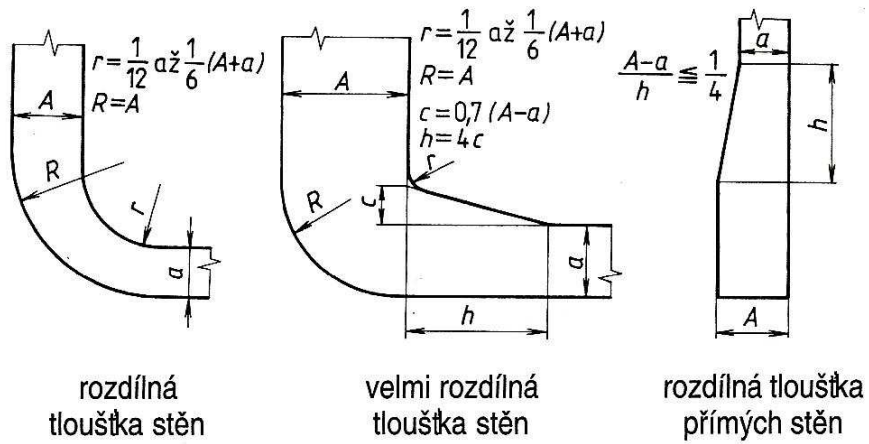


Obr. 3. Vliv hrany na strukturu kovu [3]

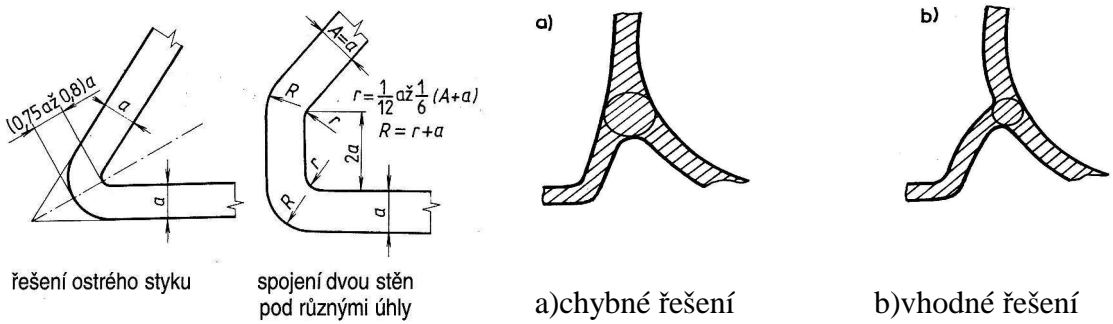
3.4 Přečody tloušťek stěn a žebra na odlitcích

Při konstrukci odlitků je důležité zachovat stejnoměrné průřezy bez místního nahromadění materiálu. Splněním tohoto základního požadavku získáme odlitky bez vnitřního pnutí a tomu odpovídajících vad. V případě přechodu stěn je důležité provést přechod pozvolna. Nejčastěji se tento problém řeší zaoblením, u větších přechodů klínovitým přechodem (obrázek 4). Rovněž konstrukční řešení spojení tří stěn či ostré zaoblení stěny by mělo bránit vzniku tepelných uzlů, které vznikají právě v těchto místech díky pomalejšímu tuhnutí taveniny vnitřních částí. Možnosti konstrukčního řešení jsou znázorněny na obrázku 5.

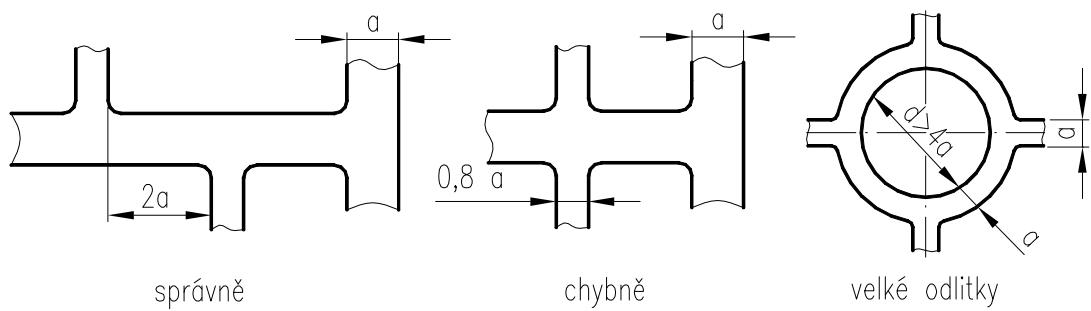
Žebra na odlitcích se volí ke zpevnění odlitku, zabraňují vzniku trhlin, prasklin a borcení odlitku. Jsou vždy tenčí než stěny odlitku, a proto ztuhnou rychleji a vytvoří pevnou konstrukci. Žebra nemají ústit proti sobě, ale mají být střídavě přesazena, jinak by v průsečících vznikaly tepelné uzly. U větších odlitků se volí žebra prstencovitá. Řešení žebra je zobrazeno na obrázku 6. [2, 3]



Obr. 4. Řešení spoje dvou stěn [3]



Obr. 5. Řešení spoje dvou a tří stěn [2, 3]

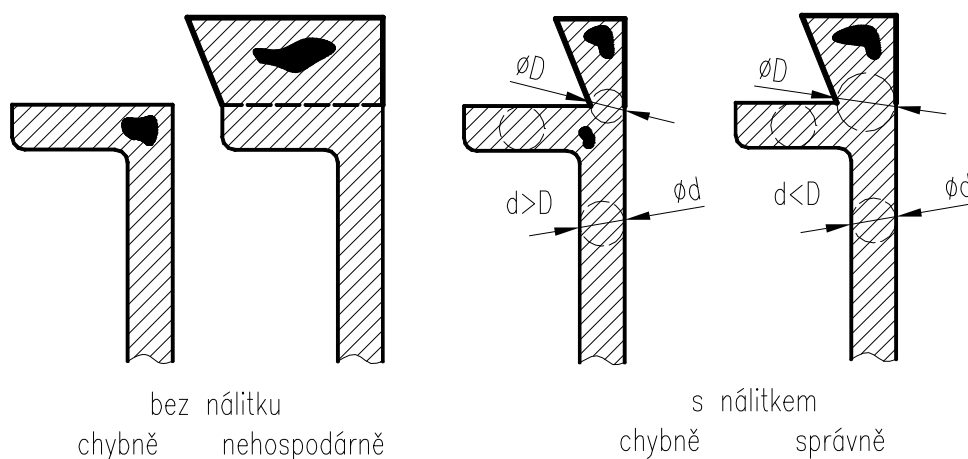


Obr. 6. Řešení žeber [3]

3.5 Nálitky

Nálitkuje se proto, aby se vyrobil zdravý odlitek bez staženin. Při tuhnutí dochází ke zmenšování objemu a v místech, kde je mnoho materiálu (velký průřez), se tvoří staženiny (dutiny). Je snahou, aby se staženiny tvořily mimo odlitek, tj. v nálitcích, které se z odlitku při čištění odstraní. Pro konstrukci nálitků musí platit tyto zásady:

- Každé místo výše položené je nálitkem místu níže položenému.
- Koule vepsaná do nejtlustšího místa odlitku musí projít všemi místy nad tímto místem směrem k nálitku (pravidlo vepsané koule).
- Nálitky se umísťují na místa, která se budou obrábět.
- Poloha nálitku při lití rozhoduje o způsobech formování, uspořádání vtokové soustavy i o velikostech přídavek. Snahou je umístění nálitků tak, aby byly snadno odstranitelné. [3]

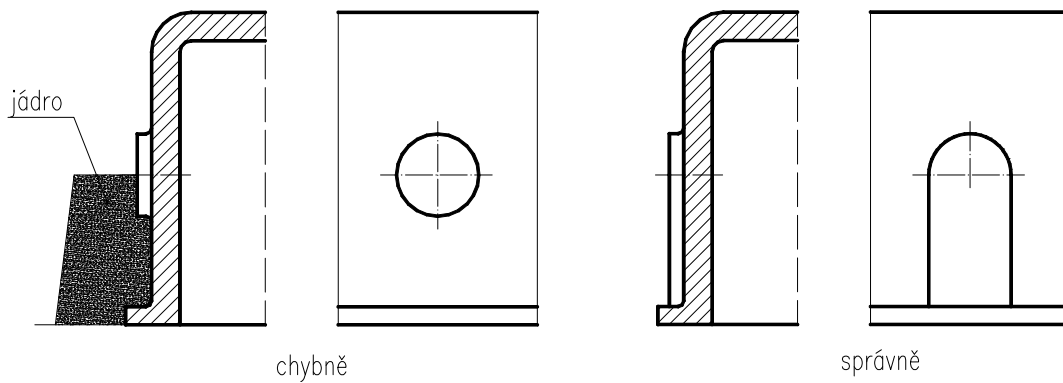


Obr. 7. Konstrukce a umístění nálitku [3]

3.6 Dělicí rovina a volné části modelu

Dělicí rovina se volí s ohledem na tvar odlitku a snadného vyjmutí modelu z formy. Avšak snahou je volit dělicí rovinu rovnou, ve složitějších případech lomenou či zakřivenou. Ve většině případů se umísťuje do spodní části formy, kde kov tuhne rychleji a neobsahuje příměsi jako strusku a písek. Ovšem to není jediný způsob, záleží na odlévaném materiálu, jeho velikosti a také požadovaných vlastnostech. [3]

Pro usnadnění formování se snaží konstruktér volit odlitek co nejjednoduššího tvaru s jednou dělicí rovinnou. Volné části modelu působí nepříznivě na rozměrovou přesnost odlitku a zvyšuje pracnost jak při formování, tak při čištění odlitku. Proto se při konstrukci snažíme volným částem modelu vyvarovat (obrázek 8). [2, 3]



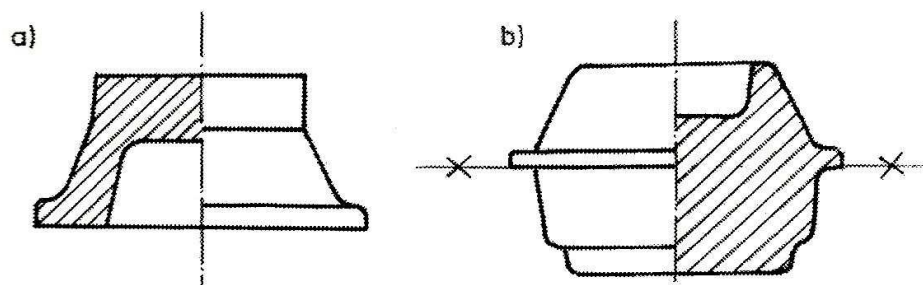
Obr. 8. Konstrukční řešení volné části modelu [4]

4 MODELOVÉ ZAŘÍZENÍ

Modelovým zařízením se souhrnně označuje zařízení potřebné k výrobě dutin ve formě. Zahrnuje model odlitku, modely vtokové soustavy a nálitků, jaderníky, šablony, modelové desky a další příslušenství. Modelové zařízení můžeme rozdělit na trvalé, které se používá opakovaně pro výrobu většího počtu forem, a jednorázové, kdy je pro výrobu každého kusu odlitku potřeba vyrobít nové modelové zařízení. Pro výrobu modelového zařízení se používá slévárenský postupový výkres. [2, 5]

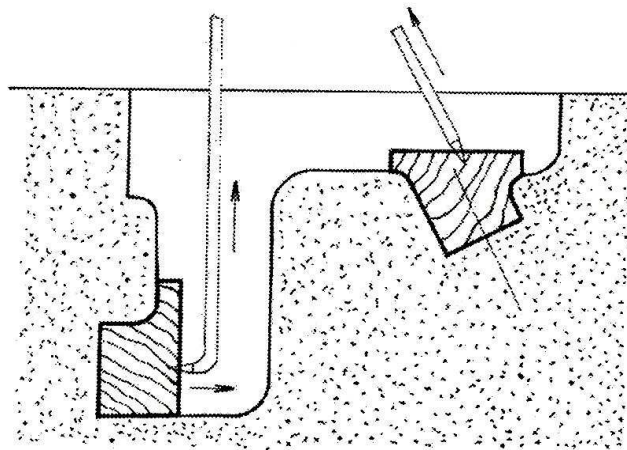
4.1 Modely

Modely slouží k výrobě vlastní dutiny odlitku, mají tvar odlitku zvětšený o přídavky jak na obrábění, tak na smrštění odlévaného kovu. Snahou konstruktéra je vytvořit model co nejjednodušší a snadno zaformovatelný. Také by měl být dostatečně masivní, aby nedocházelo při formování k jeho deformacím. Modely můžeme rozdělit na nedělené a dělené v dělicí rovině. Nedělené modely jsou snazší na výrobu a jsou levnější, avšak složité tvary odlitku, je jednodušší, rychlejší a někdy i jedinou možností vyrábět dělenými modely. Nedělený (a) i dělený (b) model je znázorněn na obrázku 9. [2, 3]



Obr. 9. Nedělený a dělený model [2]

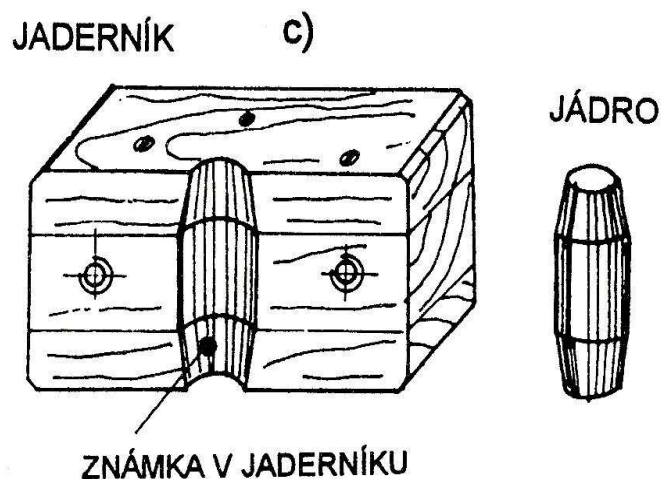
Některé části modelů (například výstupky ležící mimo dělicí rovinu) nelze po zaformování vyjmout zároveň s modelem, neboť by došlo k poškození dané části formy. V takových případech se zhotovují **volné části modelu**, které jsou k modelu upevněny pomocí háčků nebo rybinové drážky. Tyto volné části se vyjímají zvlášť po vyjmutí modelu a používá se k tomu hrotu, který se zapíchne do volné části. Znázorněno na obrázku 10. [2]



Obr. 10. Volné části modelu [2]

4.2 Jaderníky a jádra

Pro odlitky s předlitými dutinami (děrami) se využívá modelů s jaderníky, které obsahují model a jádro, jež vytváří tvar dutiny. Jaderník je v podstatě trvalá forma, která má dutinu tvaru budoucího jádra. Může být nedělený či dělený, dle složitosti vyráběného jádra. Jaderníky jsou často vyráběny ze dřeva a jádra jsou písková. Obrázek 11. [2]



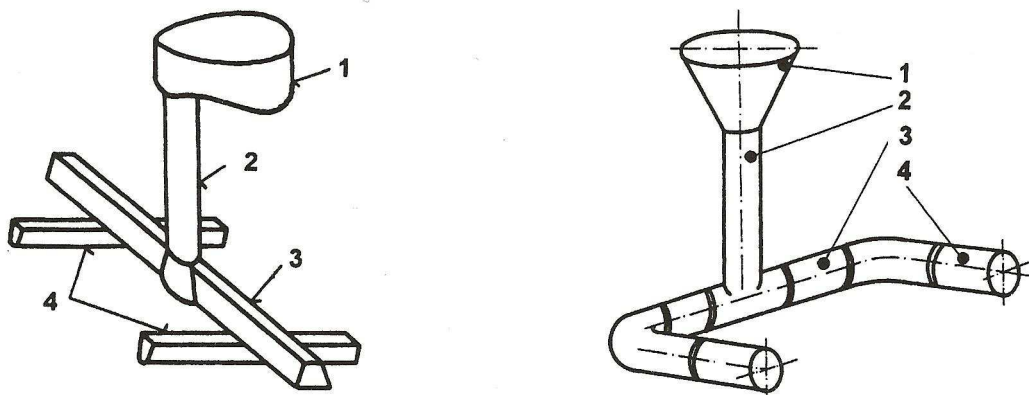
Obr. 11. Jaderník a vyrobené jádro [5]

4.3 Vtoková soustava

Vtoková soustava slouží k dopravení taveniny do místa dutiny a musí zaručovat dokonalé naplnění formy při klidném toku bez porušení stěn vtokové soustavy i dutiny formy. Tomu odpovídá určitá rychlost taveniny a doba plnění formy, která jednak nepřekročí maximální dobu lití, aby nenastalo termické poškození formy sálajícím teplem z ko-

vu, a naopak nebude moc krátká, aby všechen vzduch a plyny mohly uniknout z formy výfuky a průduchy. Taktéž záleží na místě přívodu kovu a tlaku dostačujícím k dokonalému zaplnění formy. Základními prvky vtokové soustavy zobrazenými na obrázku 11 jsou: [5]

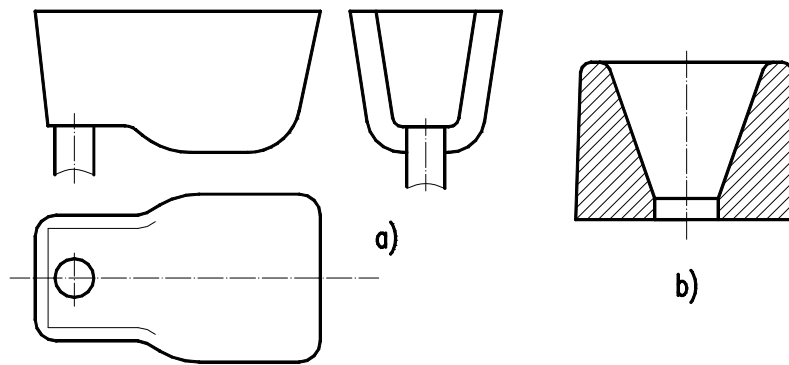
- 1) Vtoková jamka
- 2) Vtokový kanál
- 3) Struskový (litina) nebo rozváděcí (ocel) kanál
- 4) Zářezy



Obr. 12. Vtoková soustava pro lití šedé litiny

(vlevo) a oceli na odlitky (vpravo) [5]

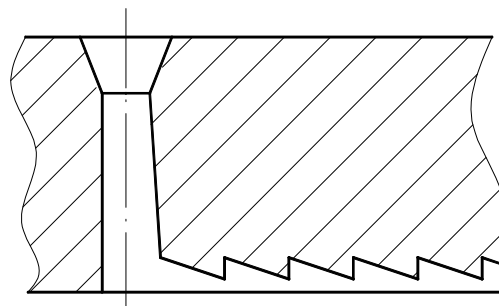
- a) **Vtoková jamka** slouží k zachycení proudu kovu z lící pánve a jeho usměrnění do vtokového kanálu. Dále musí zachytit strusku, která se sem dostala z pánve. Z tohoto důvodu musí být od začátku do konce lití neustále plná. Vtoková jamka na obrázku 12a je běžná pro odlévání šedé litiny, její hranatý tvar ruší víření kovu z pánve. Vtoková jamka pro odlévání oceli na odlitky je jednoduššího trychtýřovitého tvaru a je zobrazena na obrázku 12 vpravo. [5]



Obr. 13. Vtoková jamka pro odlévání

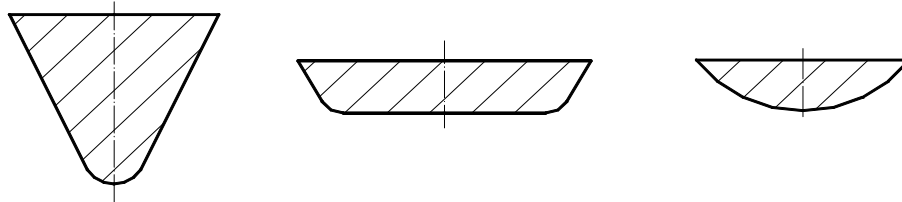
šedé litiny a oceli na odlitky [5]

- b) **Vtokový kanál** slouží k přivedení tekutého kovu z vtokové jamky do struskového, popřípadě rozváděcího kanálu. Je obvykle svislý, zpravidla kruhového průřezu, který se směrem dolů kuželovitě zužuje. Kuželovitost používána u vtokových kanálů bývá nejčastěji 4° (3 až 5°). [5]
- c) **Struskový kanál** bývá zpravidla vodorovný, přičemž jeho dolní plocha je v dělicí rovině formy. Rozvádí kov od vtokového kanálu k vtokovým zářezům a zachycuje strusku a nečistoty (oxidy písek), které byly strženy proudem kovu. Účinnost struskového kanálu je však omezena rychlostí prodění, pokud překročí kritickou hodnotu, dojde k turbulentnímu prodění a nečistoty zůstanou v kovu. Struskové kanály se používají při lití šedé litiny (obrázek 13). Pokud se odlévá ocel na odlitky, používá se **rozdávěcí kanál** kruhového průřezu. [5]



Obr. 14. Struskový kanál [5]

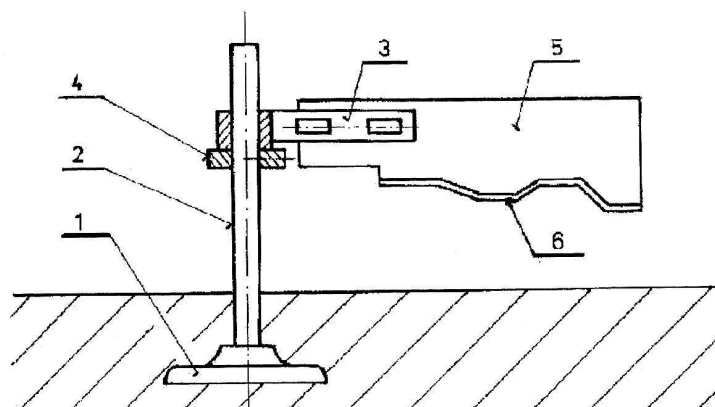
d) **Zářezy** jsou posledním prvkem vtokové soustavy. Spojují struskový nebo rozváděcí kanál s dutinou formy. Mívají průřezy dle obrázku 14 a jsou zpravidla umístěny na obvodu odlitku proto, aby kov plnil formu stejnoměrně. [5]



Obr. 15. Průřezy zářezů [5]

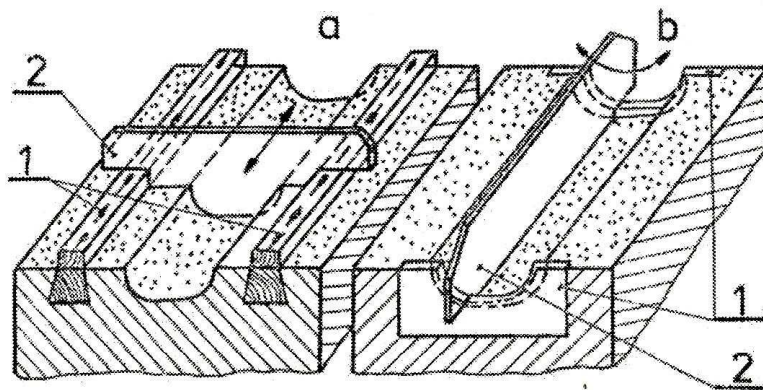
4.4 Šablony

Při výrobě odlitku bývá vysokou nákladovou položkou právě výroba modelu. Obzvlášť při kusové výrobě (při menším počtu odlitků) větších rozměrů je tato položka vysoká, a právě pro tyto případy je možné využít šablon. Šablony jsou převážně vyráběny z dřevěných desek, jejich okraj má tvar odlitku, je zkosen pod úhlem 45° a často je okován plechem pro větší životnost. Principem je pohyb šablony buď rotační, nebo rovinné, který ve formě vytváří do formovacího materiálu dutinu budoucího odlitku. Rotační šablony se používají pro šablonování rotačních tvarů. Zařízení je zobrazeno na obrázku 16 a skládá se z patky (1), vřetene (2), na němž je otočně nasazeno rameno (3), které je podepřené stavěcím kroužkem (4). Na rameni je připevněna šablona (5) s pracovním tvarem (6). [2]



Obr. 16. Zařízení pro rotační šablonování [2]

Pro výrobu podélného či příčného tvaru se používají šablony rovinné. Takové zařízení je znázorněno na obrázku 17. Po vodících lištách (1) se vede šablona (2). [2]



Obr. 17. Zařízení pro rovinné šablonování,

a) podélné, b) příčné [2]

4.5 Modelové desky

Modelové desky jsou základem pro strojní formování, jsou na nich pevně uloženy jak části modelů, tak modely vtokových soustav. Na okrajích desek jsou zapuštěna kovová pouzdra s otvory pro vodící kolíky, pomocí kterých se na modelové desky usazují formovací rámy. Modelové desky můžeme rozdělit dle konstrukčního uspořádání na jednostranné, oboustranné a reverzní.

Jednostranné modelové desky se používají pro formování, kde je využita jen jedna jejich strana, na které jsou uchyceny části modelů. Celé modelové zařízení se tedy skládá ze dvou modelových desek, jedna pro spodek formy a druhá pro vršek formy. Obě části se zhotovují odděleně, každá na jiném formovacím stroji.

Oboustranné modelové desky se využívají u formování, které probíhá na jednom stroji s otočným stolem. Modely a části vtokové soustavy jsou umístěny na obou stranách desky, jedna strana formuje spodek formy, druhá vršek formy.

Reverzní modelové desky se využívají jen z jedné strany, ale jsou symetricky rozděleny na dvě poloviny, přičemž jedna slouží k formování spodku a druhá vršku formy. Je možné je využít pouze u odlitků, kde nezáleží na tom, která část má být na spodku a která na vršku. K formování se používá jeden formovací stroj. [2]

5 FORMOVACÍ LÁTKY

Formovacími látkami se všeobecně označují suroviny sloužící k výrobě netrvalých a polotrvalých forem, jader a látky pomocné, které zlepšují technologické vlastnosti.

5.1 Základní vlastnosti formovacích látek

Použité formovací látky mají důležitý vliv na kvalitu odlitku, a proto je na jejich vlastnosti kladeno spousta požadavků, taktéž vlastnosti formy musí splňovat důležité požadavky. Mezi hlavní patří:

Formovatelnost – schopnost směsi vytvářet dutinu, tedy co nejlépe kopírovat tvar modelu.

Žárovzdornost – odolnost proti destrukci a porušení směsi i formy při vyšších teplotách, které má tavenina při lití do formy

Objemová stálost – při změně teploty dochází ke změně objemu, a proto musí být látky dostatečně odolné, v opačném případě dochází k nepřesnosti odlitků

Mechanické vlastnosti – jak při normálních teplotách, tak při teplotách zvýšených, patří sem manipulační pevnost formy, mechanická odolnost proti namáhání při lití, otěruvzdornost a odolnost proti erozi.

Prodyšnost – umožňuje odvod vzduchu a plynů z formy po odlití

Rozpadavost – ovlivňuje snadnost uvolňování odlitků z formy a obtížnost čištění odlitků od zbytku formovací směsi.

Životnost – doba, po kterou si směs udrží požadované vlastnosti při opětovné použití

Vaznost – soudržnost základních složek formovací směsi, kterými jsou pojivo a ostřívo, čili přimknutí pojiva k povrchu ostřiva [2]

5.2 Formovací směsi

Formovací směsi jsou souborem látek, které slouží k vlastní výrobě formy. Můžou být přirozené (přírodní slévárenské písky) anebo syntetické (uměle vytvořené písky) a podle způsobu použití je dělíme na:

- a) Modelové směsi – vytvářejí líc formy, který přichází do styku s roztaveným kovem

- b) Výplňové směsi – tvoří zbylou část formy a z hlediska vlastností jsou na ně kladeny nižší požadavky než na směsi modelové
- c) Jednotné směsi – tvoří celou formu a používají se tam, kde to jakosti odlitku dovolují. Velké uplatnění při strojním formování.
- d) Jádrové směsi – slouží k výrobě jader [2]

5.3 Základní složky formovací směsi

Jak už bylo zmíněno, základními složkami formovacích směsí je ostřívo a pojivo. Z hlediska granulometrie jsou ostřivem všechny podíly se zrna většími než 0,02 mm, pojivem pak všechny podíly menší než 0,02 mm. Podíl ostřiva ve formovací směsi bývá 75 až 98% a jeho vlastnosti jsou dány chemickým a mineralogickým složením, tvarem a velikostí jednotlivých částic. Podle chemické povahy rozlišujeme ostřiva kyselého, zásaditého a neutrálního charakteru. Nejpoužívanějším z nich jsou ostřiva kyselého charakteru, což je v praxi křemenný písek. Méně používané jsou magnezit a šamot. Pojivo tvoří vazbu mezi jednotlivými zrny ostřiva, po vysušení zajišťuje pevnost. Mezi nejpoužívanější pojiva patří jílová pojiva (kaolinitové, illitové jíly), dále se používá vodní sklo, ale také cement či sádra. [2, 3]

6 FORMOVÁNÍ

Formování je, jak již bylo zmíněno, část slévárenské výroby, do netrvalých pískových forem, kdy dochází k zaformování modelu do rámu pomocí formovací směsi. Tato operace může být provedena ručním nebo strojním formováním.

6.1 Ruční formování

Tímto způsobem formování je možné zhotovit formy uzavřené i otevřené. Formovat lze do formovacích ráků nebo do pudy slévárny, v řadě případů s použitím pravých či nepravých jader.

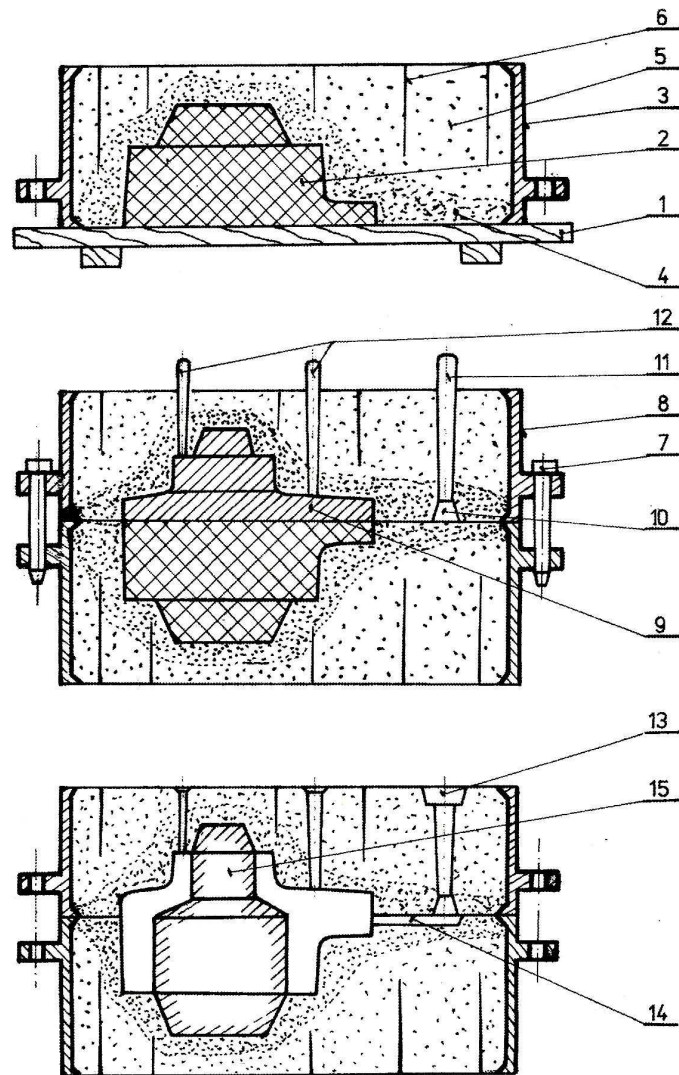
Postup formování jednoduchého odlitku do dvou ráků pomocí děleného modelu a jádra je znázorněn na obrázku 18.

Na formovací desku (1) se položí část modelu (2) a formovací rám odpovídající velikosti (3). Potom se dělicím práškem zapráší povrch modelu. Do formovacího ráku se nasype tolik modelové směsi (4), aby jí byl model a formovací deska přikryty. Po upěchování této vrstvy se nasype první vrstva upravené výplňové směsi (5) a stejnoměrně se upěchuje. Po zaplnění a upěchování celého prostoru ráku (pěchování po vrstvách) se zbytek výplňové směsi odstraní (seřízne) ocelovým pravítkem a bodcem se napíchají průduchy (6). Tím je zaformován spodek formy.

Spodní rám i s deskou se obrátí a deska se sejme. Na spodní rám se pomocí zaváděcích čepů (7) přisadí vrchní rám (8). Založí se druhá část modelu (9), model odstruskovače (10), vtokového kanálu (11) a výfuků (12). Dělicí rovina a povrch modelu se popráší dělicím práškem, do ráku se nasype modelová směs a pokračuje se v pěchování jako při výrobě spodku formy (stupeň napěchování vyšších vrstev je nižší – odvod plynů). Po napěchování se přebytečná směs odstraní ocelovým pravítkem, kolem modelu vtokového kanálu se vyformuje (vyřízne) vtoková jamka (13) a do vršku formy se bodcem napíchají průduchy. Poklepem se uvolní modely vtokového kanálu a výfuků a vytáhnou se z formy.

Po sejmutí a obrácení vršku se z něho po rozklepání vyjme část modelu (9) a model odstruskovače (10). Ve spodku formy se vyříznou vtokové zářezy (14), uvolní a vyjme se část modelu (2). Po vyspravení líce formy a jeho uhlazení se obě poloviny formy zapráší grafitem. Jde-li o formu, kterou nelze odlévat na syrovo, je nutno ji před složením vysušit. Nakonec se do spodní formy založí jádro (15), které se vyrobí zvlášť v odpovídajícím ja-

derníku a forma se pomocí zaváděcích čepů (7) složí. Po složení a zajištění proti vztlaku je forma připravena k odlití. [2]



Obr. 18. Postup ručního formování [2]

Dalším možným způsobem ručního formování je využití šablon, o kterých jsme se zmínili v předchozích kapitolách. Při tomto způsobu se nejprve pýchováním vytvoří formovací směs, do které je poté šablonovacím zařízením zhotovována postupným odebíráním formovací směsi dutina odlitku.

6.2 Strojní formování

Strojní formování je využíváno především při sériové výrobě, kdy díky němu odpadá namáhavá ruční práce, zvyšuje se produktivita a přesnost odlitků. Strojním formováním

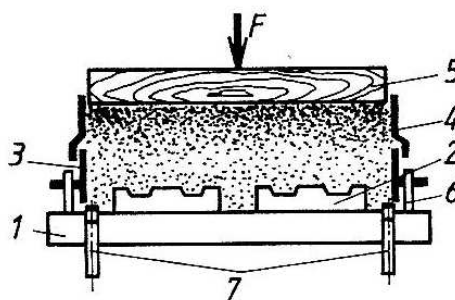
se zhotovují jak formy, tak jádra. Dle použití formovacího stroje se dělí strojní formování na:

- lisování
- střešování
- metání
- foukání (strojní výroba forem i jader)
- vstřelování (strojní výroba forem i jader)

Podrobněji se zaměříme na nejpoužívanější metody, kterými se formovací směsi zhušťují. [2]

a) Lisování

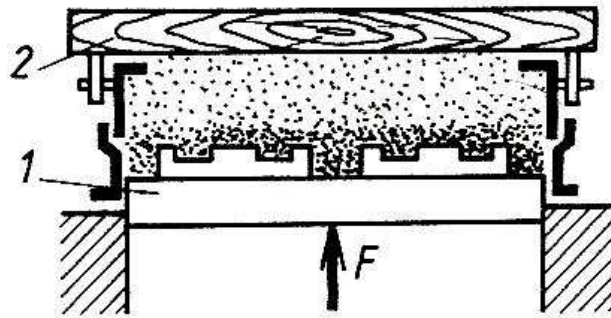
Na modelovou desku se připevní formovací a pomocný rám. Po naplnění obou rámu formovací látkou se tlakem lisovací desky přemístí formovací látka z pomocného rámu do formovacího. Největší zhuštění formovací látky je pod lisovací deskou, kde však má být forma prodyšná, aby z ní mohly snadno odcházet plyny. U modelu má pak být zhuštění co největší. Tento způsob je vhodný jen pro ploché a jednoduché odlitky. Je to tzv. lisování shora (obrázek 19). Uvedené nevýhody odstraňuje lisování zdola nebo oboustranné lisování (obrázek 20). [3]



Obr. 19. Lisování shora [3] 1 - modelová deska, 2 - model,

3 - formovací rám, 4 - plnicí rám, 5 - lisovací deska,

6 - zajišťovací kolíky, 7 - nadzvedávací kolíky

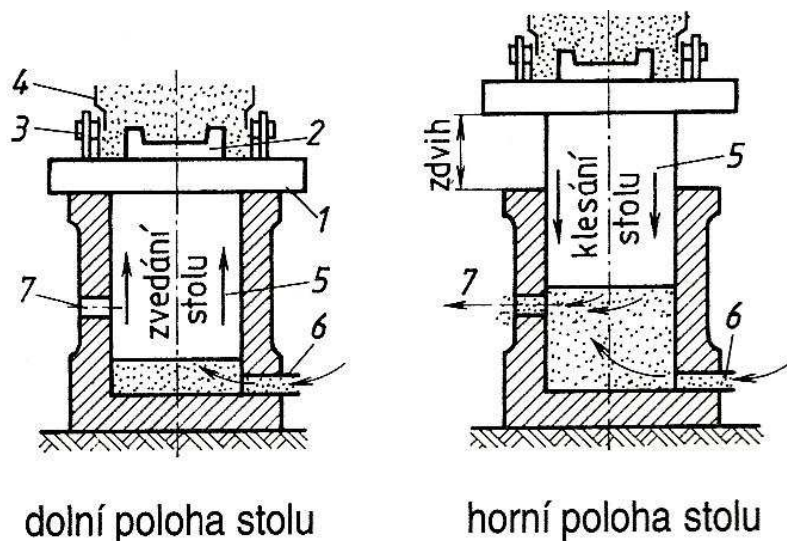


Obr. 20. Lisování zdola [3]

1 - modelová deska, 2 - opěrná deska

b) Střásání

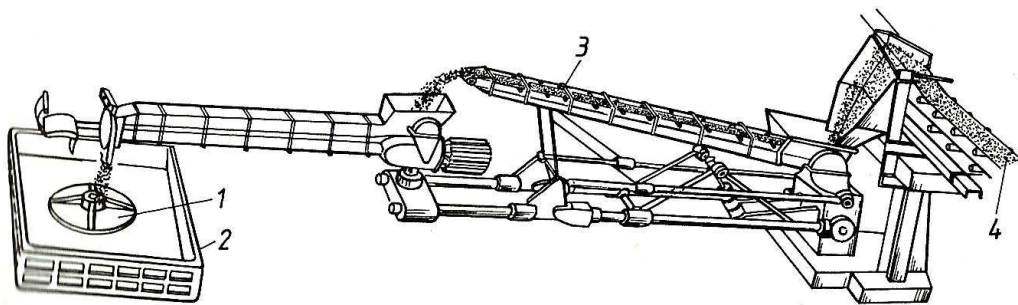
U těchto strojů se písek zhušťuje nárazy formovacího stolu na válec formovacího stroje, a to nejvíce v okolí modelu. Horní vrstvy jsou zhuštěny nedostatečně, a proto se forma musí dopěchovat nebo dolisovat. Tento způsob je dnes nejpoužívanější při výrobě forem pro malé a střední odlitky. Na obrázku 21 je náčrt střásacího stroje, který se skládá z formovacího stolu (1), modelu (2), formovacího rámu (3), násypného rámu (4), pístu (5), přívodu vzduchu (6) a výfuku (7). [3]



Obr. 21. Formování střásáním [3]

c) Metání

Principem tohoto způsobu je metání formovací směsi na model rotující lopatkou v metací hlavě. Formovací materiál je do ní doplňován ze zásobníku dopravníky s pryžovými pásy. Metací hlava je v kloubovitém ramenu, takže s ní lze pohybovat nad celou formou. Způsob je vhodný pro velké a hluboké formy (10 až 15 tun), uspoří práci několika dělníků, vyžaduje však doplňkovou mechanizaci (zpracovává se 5 až 40 m³ písku za hodinu). Na obrázku 22 je metací formovací stroj (pískomet), jenž obsahuje model (1), formovací rám (2), dopravní pás (3) a formovací materiál (4). [3]



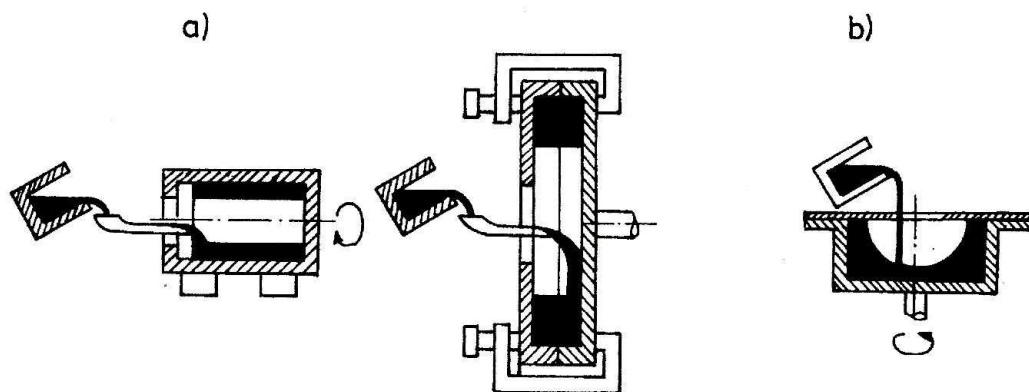
Obr. 22. Metací stroj [3]

7 ZPŮSOBY ODLÉVÁNÍ

Doposud jsme se zabývali slévárenskou výrobou a odléváním do pískových forem. Tento způsob je nejrozšířenějším ve slévárenství, není však jediným způsobem, jak odlitky vyrábět. Existuje spousta metod, jak vyrobit odlitek s menší tloušťkou stěn, menší celkovou velikostí či přesnějšími rozměry a jakostmi povrchu. V této kapitole se zaměříme na stručnější popis jednotlivých metod oproti přesnějšímu, nikoliv však dokonalému popisu odlévání do pískových netrvalých forem.

7.1 Odstředivé lití

Odstředivé lití je technologie, kdy se vlévá roztavený kov do rotující formy. Díky odstředivé síle, která působí na odlitek a přitlačuje ho ke stěně formy, je tak dosahováno vyšších přesností, lepší jakosti povrchu a lepších mechanických vlastností. Využívá se pro odlévání rotačních součástí, jako jsou trubky, ložiska, válcová pouzdra, pístní kroužky, atd. Touto technologií je možné vyrábět také odlitky, které jsou složeny z různých materiálů, a tím dosáhnout rozdílných vlastností na vnějším a vnitřním povrchu odlitku. Výhodou je odlévání součástí s otvory bez použití jader. Pro odstředivé lití se používají jak trvalé, tak netrvalé formy. Dle osy rotace dělíme odstředivé lití na vodorovné (obrázek 23a) a vertikální (obrázek 23b). Dle způsobu lití na pravé a nepravé. U lití pravého odpadá vtoková soustava. Dosahovaná přesnost se pohybuje v toleranci 0,05 až 3 mm v závislosti na velikosti odlitku.



Obr. 23. Odstředivé lití [2]

Pravé odstředivé lití – tekutý kov se odlévá do osy rotace, která je shodná s osou rotace odlitku, podél osy rotace se vytváří dutina, jejíž průměr závisí na množství nalitého kovu. Vnější průměr určuje kokila.

Nepravé odstředivé lití – u tohoto způsobu nebývá shodná osa rotace s osou odlitku. Shodná bývá osa vtokového kanálu a osa rotace. Používá se pískových forem a jader, ale také silikonových forem (Atos Besana), kterou se budeme zabývat v praktické části práce. Forma bývá často násobná a tvar odlitku nemusí být rotační. [2, 3]

7.2 Lití do kovových forem

Lití do kovových forem (kolik) se využívá při sériové výrobě. Výroba formy je drahá, avšak je velice přesná a její životnost se pohybuje od 200 do 750 000 odlitků, dle odlévaného kovu, materiálu formy a tvaru odlitku. Dlouhá životnost je podmíněna žáruvzdornými nátěry. Materiál formy musí splňovat dostatečnou žáruvzdornost a odolnost proti deformacím a vzniku trhlin. Jako materiál formy se nejčastěji používá šedá litina, ale je možné použít i ocel nebo slitiny lehkých kovů. Výroba je možná třískovým obráběním nebo litím, které zaručí delší životnost formy. Odlévaný materiál může být taktéž šedá litina, ocel či slitiny neželezných kovů. Lití do kokil se řadí mezi metody přesného lití. Forma se musí před začátkem lití přehřát na provozní teplotu, která bývá v rozmezí 100 až 500°C, poté se již pouze chladí díky tepelné vodivosti odlévaného materiálu na materiál formy. Je vhodné vyrábět tvarově jednoduché součásti, které mají jemnozrnnou strukturu z důvodu rychlého chlazení. Pro odvzdušnění formy se využívá odvzdušňovacích kanálů, které bývají umístěny v dělicí rovině formy, a musí být dostatečně velké pro odvod veškerých par z formy. Litím do kokil se vyrábějí například písky, součásti elektrických strojů nebo součásti v leteckém průmyslu. [2, 3, 4]

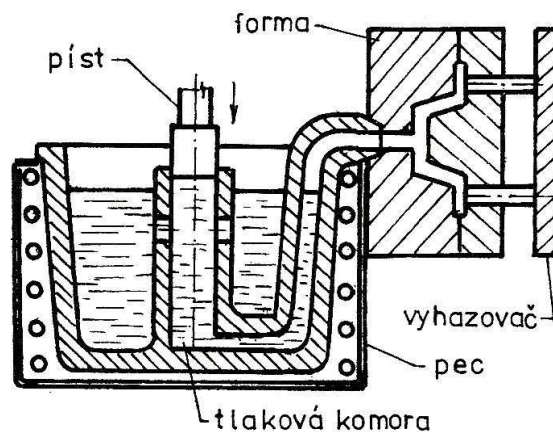
7.3 Lití pod tlakem

Slouží k odlévání složitých a tenkostěnných odlitků. Roztavený kov je vtlačěn do kovové formy vysokým tlakem (20 – 600 MPa). Tavenina při tom dosahuje rychlosti až desítek m/s. Díky tomu může dokonale zaplnit i velmi tenké stěny (kolem 1mm) a složité detaily formy. Z nízkotavitelných slitin lze takto odlévat drobné odlitky s předlitými otvory od průměru 1mm. Tlakově lité odlitky mají jemnozrnnou strukturu bez ředin s dobrými mechanickými vlastnostmi a jakostní povrch s minimálními nároky na obrábění. Rozměro-

vá přesnost bývá kolem 0,05 mm a drsnost povrchu do 0,005 mm. Tlakové lití se zejména využívá ve velkosériové výrobě odlitků z neželezných slitin s nižšími teplotami tavení.

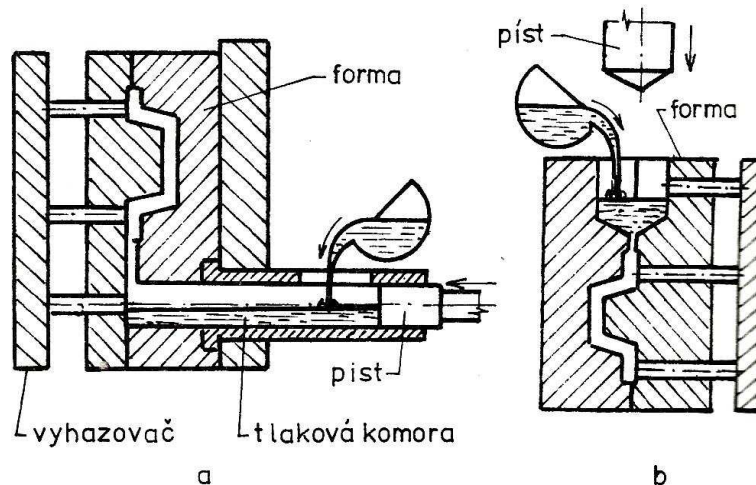
Základní dělení tlakového lití je dle konstrukce licích strojů:

Stroje s teplou komorou (obrázek 24) - mají vstřikovací komoru umístěnou přímo v kerámice s roztaveným kovem. Tavenina se do formy vstříkuje buď pístem, nebo stlačeným vzduchem. Prochází při tom hrdlem a plnicí tryskou, která je pevně připevněna k formě. Po ztuhnutí kovu se forma rozevře a odlitek je uvolněn vyhazovači. Licí cyklus je možné plně automatizovat, a proto má tento způsob lití vysokou produktivitu. K jeho výhodám patří malá oxidace taveniny, nízká pravděpodobnost výskytu nekovových vměšků a malé tepelné ztráty. Nevýhodou je poškozování vstřikovacího mechanismu teplotou a korozní účinky taveniny. Proto je tento způsob lití vhodný pouze pro slitiny s nízkými teplotami tavení.



Obr. 24. Tlakové lití s teplou komorou [4]

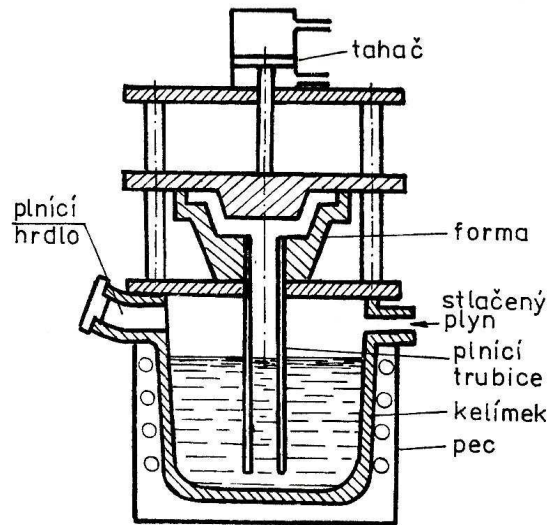
Stroje se studenou komorou (obrázek 25) – mají vstřikovací komoru zcela oddělenou od udržovací pece. Do komory se nalévá tavenina lžící nebo dávkovacím zařízením a okamžitě se vstříkuje pístem do formy. Tím se zmenší tepelné namáhání vstřikovacího zařízení, a proto lze tímto způsobem odlévat kovy s vyššími teplotami tavení. Podle uspořádání se rozlišují stroje s horizontální (a) a vertikální komorou. Při lití drobných odlitků může být vstřikovací komora vytvořena přímo v dělicí rovině formy (b). [4]



Obr. 25. Tlakové lití se studenou komorou [4]

7.4 Nízkotlaké lití

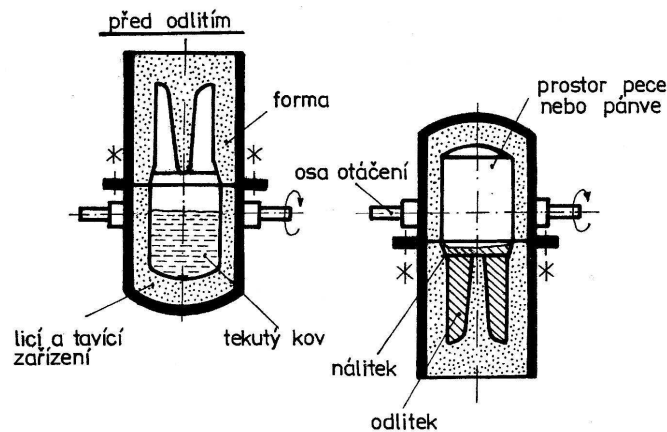
Nízkotlaké lití je poměrně nová metoda spojující výhody kokilového a tlakového lití. Neumožňuje odlévání tak složitých a tenkostěnných odlitků jako lití tlakové, vyžaduje však na rozdíl od něj mnohem jednodušší zařízení. Zařízení pro nízkotlaké lití (obrázek 26) je tvořeno utěsněnou vytápěnou komorou, na jejíž víko se upevňuje kovová forma s uzavíracím mechanismem. Kov se připravuje v tavicí peci a přelévá do licího stroje plnicím hrdlem utěšňovaným během lití. V tavenině je ponořena plnicí trubice umožňující plnění formy po vpuštění tlakového média (vzduch, argon, 0,01 – 0,2 MPa) nad hladinu taveniny. Plnicí trubice má funkci vtokové soustavy. Po ztuhnutí kovu ve formě je tlak uvolněn a tavenina z plnicí trubice klesne zpět do kelímku. Následuje rozevření formy a vyjmutí odlitku. Složité dutiny se vytváří pomocí pískových jader, forma je kovová, pískové se neosvědčily. Dnes je metoda využívána především pro odlitky ze slitiny hliníku a hořčíku především v automobilovém průmyslu, ale také pro lití ocelových vagónových kol. [4]



Obr. 26. Nízkotlaké lití [4]

7.5 Sklopné lití

Podstata metody spočívá v tom, že formovací rám s formou a zařízením, ve kterém je tekutý kov, tvoří jeden celek. Odlitek se odlévá otočením celého zařízení o 180°. Vtoková soustava obyčejně odpadá, odlévá se přímo do nálitku (obrázek 27). [4]



Obr. 27. Sklopné lití [4]

7.6 Lití do skořepinových forem

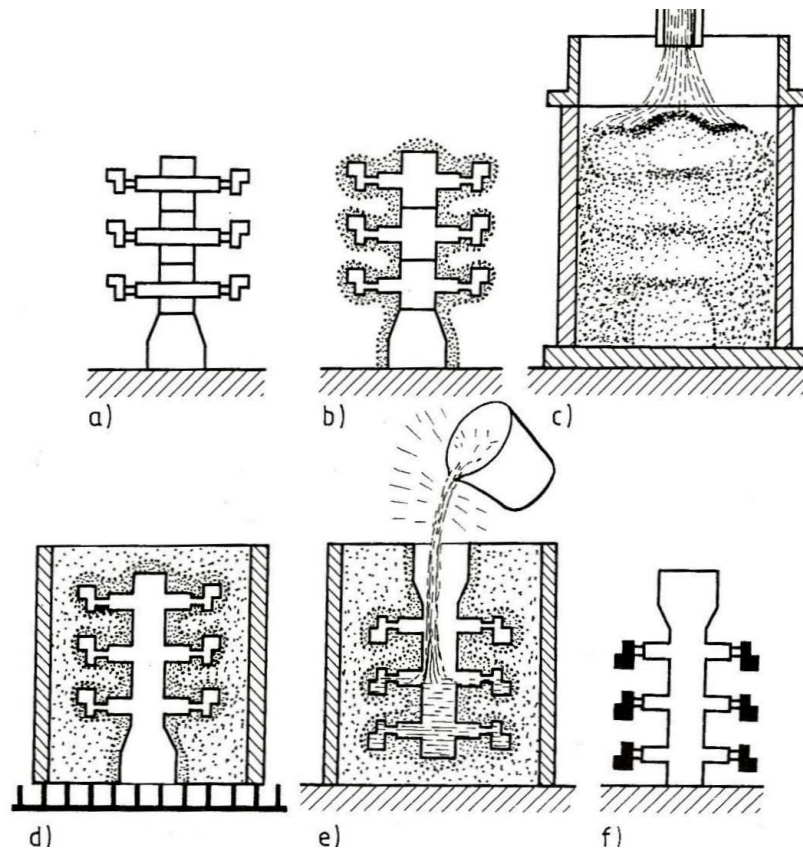
K výrobě skořepinových forem se používá směsi křemenného písku s přísadou 5 až 10 % syntetické pryskyřice. Kovová modelová deska s kovovým modelem a vtokovou soustavou se zahřeje na 200 až 250°C a postříká se silikonovým olejem, který zabrání přilepení směsi na model. Takto upravená deska se připevní na zásobník písku a celé zařízení se

překlopí. Tím se písková směs přesype na zahřátou modelovou desku. Pryskeřice se roztaví, obalí zrnka písku, slepí je a vytvoří tak na povrchu modelu tenký povlak čili skořepinu. Po dosažení žádané tloušťky (5 až 12 mm) odpadne přebytečný materiál zpětným překlopením zásobníku s modelovou deskou. Modelová deska se sejme i s modelem a vloží se do pece, kde asi při 300°C nastává polymerizace a skořepina vytvrdí. Obě takto vytvořené poloviny formy se složí podle vyformovaných čípků, spojí se a vloží do vhodného rámu. Ten se obsype litinovým nebo křemenným pískem a forma je připravena k odlití. Lití do skořepinových forem je vhodné v hromadné výrobě malých a středních odlitků. Velmi dobře se tímto způsobem odlévají složité odlitky, např. žebra válců motorů, součásti čerpadel atd. [3]

7.7 Lítí metodou vytavitelného modelu

Tato metoda má přednost v lití kovu do nedělených forem a odlitky se vyrábí s velmi hladkým povrchem (Ra 12,5 až Ra 6,3) a rozměrovou přesností (IT 13 až IT 12). Výroba je technologicky náročná, a proto se využívá pouze ve velkosériové výrobě. Podstata výroby je znázorněna na obrázku 28. Model vyrobený z vytavitelného (spalitelného) materiálu (a) se i s vtokovou soustavou namoří do řídké obalové kaše s etylsilikátem, a tak se vytvoří keramický obal (b). Ten se nechá vysušit a namáčení se opakuje, až se dosáhne předepsané tloušťky stěny. Modely se z forem vytavují, vzniklá skořepina se vloží do formovacích rámců (krabic) a prostor se zasype křemenným pískem (c). Formy se vypalují v tunelových pecích při teplotě 900 až 1050°C (d). Tím se forma zpevní a model se vytaví. Odlévá se do žhavých forem hned po vyjmutí z vypalovací pece (e). Vzniklé odlitky (f) se zbavují vtokové soustavy.

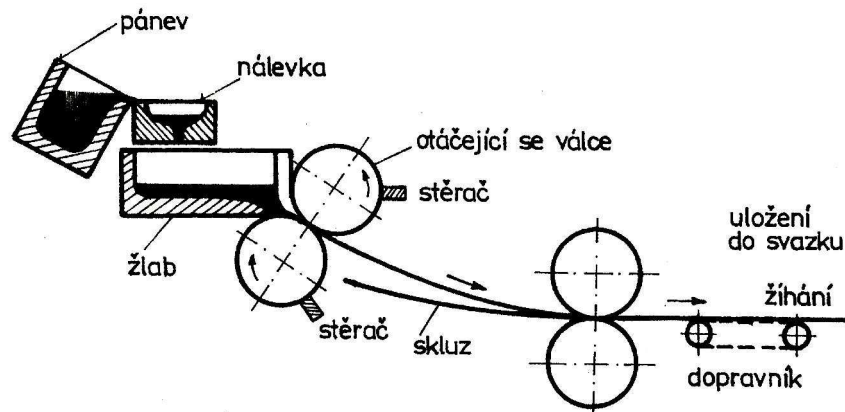
Využití této metody je především na umělecké a klenotnické odlitky, na chirurgické nástroje, součásti šicích strojů, vozidel, zbraní, lopatky spalovacích turbín atd. [3]



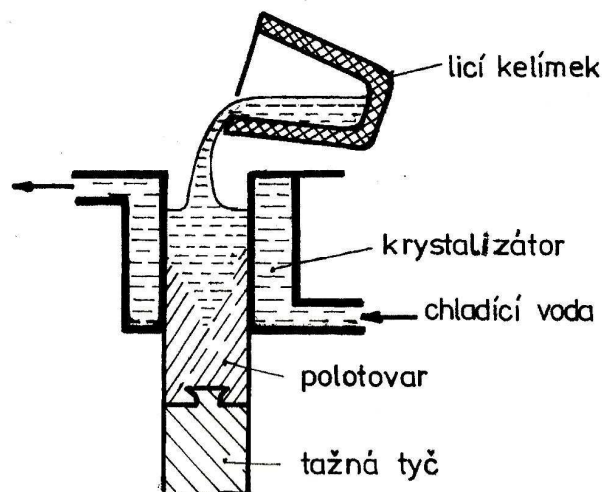
Obr. 28. Lití metodou vytavitelného modelu [3]

7.8 Kontinuální lití

Kontinuální lití je proces, při kterém se odlitek tvoří průběžně (plynule) z tekutého kovu, přičemž jeho průřez má jednoduchý nebo profilový tvar. Odlitky mají přesné rozměry, čistý povrch, poměrně stejnou tvrdost po průřezu a nemají vnitřní defekty. Kontinuálním litím se nejčastěji vyrábějí profily pro různé součástky v leteckém a automobilovém průmyslu, vodící tyče, pouzdra a profily nahrazující profily válcované. Kontinuální lití má výhodu v nepřetržité výrobě, která je ekonomická, a vlastnosti takto vytvořených odlitků mají lepší mechanické vlastnosti než například válcované polotovary. Schéma zařízení pro vodorovné odlévání mezi otáčející se a chladící se válce, nejčastěji pro výrobu plechů a pásů, je na obrázku 29. Schéma odlévání do krystalizátoru je na obrázku 29 vpravo. Krystalizátor je v podstatě průchozí forma chlazená vodou, která udá tavenině tvar a ta je okamžitě chlazená a odtahována. [2]



Obr. 29. Kontinuální lití vodorovné [2]

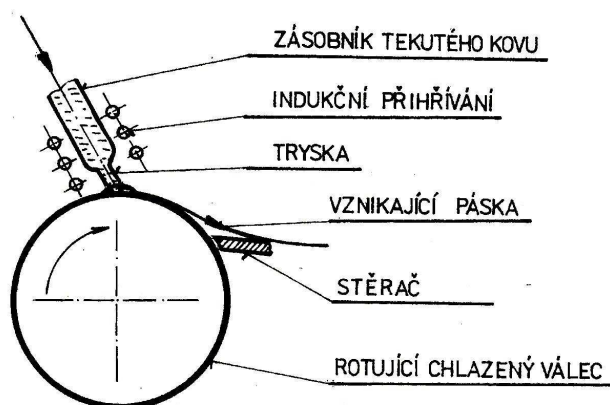


Obr. 30. Lití do krystalizátoru [2]

7.9 Odlévání kovových skel

Pojmem kovová skla jsou označovány kovy a slitiny v amorfním (bezkrystalickém) stavu. Nejdůležitějším parametrem při výrobě je jejich vysoká rychlost chlazení - řádově 10^5 až 10^6 K.s⁻¹. Tato rychlost ochlazování se musí dosáhnout v čase, kdy tavenina přechází do tuhého stavu. Odvod tepla musí v této fázi být tak velký, aby nedošlo ke vzniku krystalické struktury. Nejčastěji je to kontinuální lití (obrázek 30) a vyrobený produkt je páska. Z hlediska technického využití jsou nejdůležitější jejich fyzikální vlastnosti, tj. dobrá per-

meabilita (míra magnetizace), malý útlum akustických signálů, velký elektrický odpor atd., ale také jejich vysoká tvrdost (700 až 1 100 HV) a pevnost ($R_m=2\ 000$ až $3\ 000$ MPa). Naopak nevýhodou je využití jen do teploty 200 až 400°C, potom krystalizují a ztrácejí všechny výhody, které souvisí s amorfním stavem. [2]



Obr. 31. Lití kovových skel [2]

8 VYTLOUKÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODLITKŮ

Vytloukání odlitků nastává poté, co je odlitek ochlazen na požadovanou teplotu. To závisí jak na tvaru odlitku, tak na jeho velikosti a materiálu, ze kterého je vyroben. Velké odlitky z šedé litiny zůstávají ve formě i několik dní. Uvolňování odlitků je řešeno dle technologie odlévání, závisí na způsobu formování, pokud jsou rámy vůbec použity. Nejčastěji je odformování odlitku prováděno:

- Vytlačování odlitků – formovací materiál i s odlitkem je pomocí tvarové desky připevněné na pístnici pneumatického válce vytlačen z obou polovin formovacího rámu. Teprve poté je oddělen odlitek od formovací směsi.
- Vytloukání odlitků – provádí se nejčastěji pneumatickými vibrátory (vibracemi zavěšené formy na jeřábu je odstraněna formovací směs od odlitku) nebo vytloukacími rošty (narážení formy na pohybující se rošt).

Použitý formovací písek a formovací rámy jsou zpět dopraveny do skladů k dalšímu využití.

Jakmile jsou odlitky odděleny od formovací směsi, nastává operace čištění, čím se rozumí odstranění zbytku formovacího písku, nečistot z odlitku a odstranění drsného povrchu z odlitku. Ta bývá prováděna ručním čištěním, otryskáváním zrnitým materiálem (kovové kroky, písek) nebo vodním paprskem, popřípadě omíláním v bubnech.

Jako další operace je odstranění vtokové soustavy, výfuků a nálitků. U menších odlitků, především v kusové výrobě, bývají odlitky zbaveny vtoků uražením. Další možností používanou u menších odlitků jsou rotační bubny, tyto metody jsou však vhodné spíše pro litinu, ocel je houževnatá a není jednoduché takto vtokovou soustavu s nálitky a výfuky odstranit. Pro velké odlitky, popřípadě odlitky z oceli se pro odstranění vtoků a nálitků využívá řezání plamenem, které je nejčastěji prováděno kyslíkoacetylenovými hořáky.

Jako poslední operací bývá v případě potřeby zlepšení mechanických vlastností tepelné zpracování, nejčastěji normalizační žíhání a žíhání pro snížení vnitřního pnutí. [2, 5]

9 VADY ODLITKŮ

Vadou odlitku (dle normy ČSN 42 1240) se rozumí každá odchylka tvaru, rozměru, hmotnosti, vzhledu, struktury, chemického složení či mechanických a fyzikálních vlastností od daného výkresu odlitku a příslušné normy. Vady můžeme rozdělit dle způsobu zjišťování na zjevné (pozorovatelné pouhým okem či jednoduchými měřidly na neobrobeném odlitku) a skryté (zjistitelné až po obrobení, nebo pomocí laboratorních zkoušek). A podle míry znehodnocení na přípustné (takové, které norma připouští), opravitelné (vady, které jsou normou povolené vhodným způsobem opravit), odstranitelné (vady, jejichž odstranění je možné po předchozí domluvě s odběratelem provést zvláštními úpravami) a neodstranitelné (norma nepřipouští jejich výskyt či opravu).

Vady se dle již uvedené normy označují dvojmístným číslem, kde první číslice udává skupinu vad, druhá specifikuje danou vadu ve skupině. Základní skupiny vad jsou:

- vady tvaru, rozměru a hmotnosti (1 až 18)
- vady povrchu (21 až 28)
- přerušení souvislosti (31, 32)
- dutiny (41 až 46)
- vměstky (51 až 55)
- vady struktury (61 až 65)
- vady chemického složení, nesprávné fyzikální nebo mechanické vlastnosti (71 až 73)

9.1 Některé vady odlitků, často se vyskytující u odstředivého lití

11 – Nezaběhnutí (a) – tato vada je neúplným vytvořením tvaru odlitku vlivem nedostatečného vyplnění formy tekutým kovem. Nejčastějšími příčinami je nízká lící teplota, malá lící rychlost, nevhodné zaústění vtokové soustavy či neodvzdušněná forma.

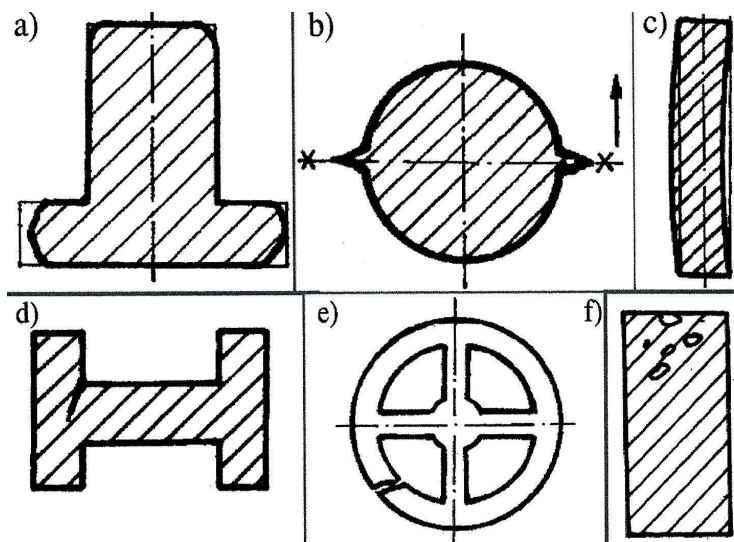
13 – Zatekliny (b) – je to zatečení kovu mezi částí formy, vzniklé nejčastěji nedostatečným zatížením částí formy při lití.

15 – Zborcení (c) – vznikne změnou tvaru a rozměru odlitku oproti výkresu vyvolanou vnitřním pnutím a příčinou je předčasné uvolnění odlitku z formy či nevhodné uložení odlitku během tepelného zpracování.

31 – Trhliny (d) – jsou to křivolaké roztržení odlitku po hranicích zrn vzniklé za vysokých teplot. Příčinami jsou nepoddajná forma nebo jádro, nevhodná konstrukce odlitku.

32 – Praskliny (e) – roztržení odlitku za nižších teplot v oblasti pružných deformací. Praskliny procházejí vnitřkem zrn a způsobuje je tuhá konstrukce odlitku, rychlé chlazení, koncentrace vnitřních napětí nebo nevhodné složení slitiny.

41 – Bubliny (f) – jsou povrchové nebo vnitřní dutiny s hladkým povrchem, vytvořené plyny. Příčinou bývá nedostatečné odplynění nebo desoxidace kovu, nevysušené lící zařízení, špatné odplynění formy nebo jader případně opomenutí výfuků a průduchů. [2,4]



Obr. 32. Některé vady odlitků

II. PRAKTICKÁ ČÁST

10 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem praktické části této práce je vytvoření odlitku úchytky nábytkového kování. Ta bude vyrobena technologií odstředivého lití ze slitiny zinku $ZnAl_{14}Cu_3Mg_{0,4}$. Materiál formy bude silikon vhodný pro odstředivé lití. Kritérium pro výrobu úchytky je dodržení rozteče děr na rozměr $96 \pm 0,3$ mm. Podstatou problematiky je určení rozměrového rozdílu rozteče děr mezi modelem a surovým odlitkem. Postup výroby byl po konzultaci s vedoucím práce stanoven následně.

- Určení rozměrového rozdílu mezi modelem a surovým odlitkem na již vyráběných úchytkách firmy Zinako s.r.o.
- Vytvoření konstrukčního návrhu s novým designem úchytky.
- Výroba modelu.
- Výroba formy.
- Samotné odlití výrobku.
- Závěrečné měření vyrobené úchytky.

11 PROFIL FIRMY ZINAKO S.R.O.

Firma Zinako s.r.o., u které mi bylo umožněno vytvořit praktickou část Bakalářské práce, je společnost, která vznikla v roce 2003. Její základy byly položeny však již v 90. letech, kdy byla zakoupena automatická jednomístná odstředivka italské technologie Atos Besana. Minulá výroba byla orientována převážně na výrobky nábytkového kování, jako jsou háčky, úchytky, věšáky, domovní číslice a další. Jednatel firmy se v posledních letech zaměřuje převážně na zakázkovou výrobu medailí, plaket, mincí, odznaků a dalších převážně reklamních předmětů, které se v mnohých případech vyrábí malosériově v několika tisících kusů. Tento směr výroby je převážně z důvodu vysoké konkurence z východu, kterou jde jen málokdy překonat nižší cenou. Avšak přesto z firemní nabídky nebyly vyřazeny výrobky, vytvářené již více než 15 let. Proto jsem si vzal za cíl vytvořit rozměrově přesnou úchytku s novým designem, kterou vytvořím v grafickém programu CATIA V5 R18.

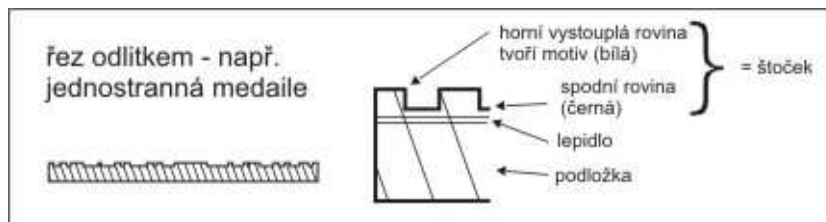
11.1 Výrobní technologie

Výroba ve firmě Zinako s.r.o. probíhá za využití technologie italské firmy Atos Besana. Tato technologie spočívá ve vytvoření formy ze silikonu vhodného pro odstředivé lití. Forma je dvoudílná a vytvrzuje se v peci, kde dochází k vulkanizaci kaučuku. Vytvořená forma se poté vkládá mezi dva ocelové válce, které formu přitlačí k sobě a roztočí se. Dále se do ní vlévá roztavená slitina zinku. Nyní si technologii představíme podrobněji.

a) Výroba modelu mince, odznaku či plakety

Výroba modelů výše uvedených, především reklamního charakteru, je svou technologií zajímavá, efektivní, relativně levná a rychlá. Výroba modelu spočívá ve vytvoření nákresu s požadovaným tvarem ve formě křivek. Pro tento návrh používá společnost program Corel Draw 12. Nákres je podmíněn několika kritérii. Musí být vytvořen dvoubarevně a to v kombinaci černá s bílou. Nejtenčí čáry a mezery mezi znaky musí být 0,15mm a šířka okraje nákresu musí být nejméně 0,8mm. Z tohoto návrhu se nechá udělat negativ na fotofilm. Bílá barva na snímku bude vystouplá, černá bude ve spodní rovině. Princip je v tom, že se fotofilm přiloží na tzv. štoček, což je fotocitlivý polymer, a ten se osvítí na dobu 2 minut UV lampou. Tam, kde se světlo UV lampy dostalo (bílá část fotofilmu), se polymer vytvrdil, tam kde byl fotofilm černý, zanechal polymeru původní měkké vlastnosti. Pomocí vlažné vody, kterou se celý štoček vymyje, vznikne spodní rovina, jelikož se vodou

polymer odstraní a dostane se na druhou (spodní) část polymeru, který je už vytvrzen v celé části. Takto vyrobený štoček se nalepí na ocelovou, popřípadě zinkovou podložku a model je připraven k zaformování. Na obr. 32 je znázorněn model medaile.



Obr. 33. Model medaile

b) Výroba formy

Jak již bylo zmíněno, forma se vyrábí ze silikonu vhodného k odstředivému lití. Tento materiál je dodáván jako polotovar ve formě kruhové desky o průměrech 230, 300 a 330 mm. Výška je 10 mm. Velikost polotovaru může být různá, uváděné rozměry jsou používány v Zinaku s.r.o. Do jedné části formy (spodní) jsou vloženy modely budoucích odlitků, zvětšeny o míru smrštění kovu. Po obvodu formy jsou umístěny ocelové elementy, které zaručují přesné dosednutí obou částí formy. Na takto vytvořenou spodní část formy se vloží druhá polovina formy, do které je ve středu vyřezán otvor o průměru 60 mm. Ten slouží jako přívod kovu do formy. Jakmile je forma složena ze svých dvou částí, je vložena do litinové vložky, podložena a přikryta hliníkovým plechem a zatížena druhou částí litinové vložky. Plech zabraňuje přilepení silikonu k litinové vložce, která má funkci udržet vnější průměr formy nezměněn od původního. Celá litinová vložka se umístí do vulkanizační pece, kde je stlačena pod tlakem 130 bar a probíhá vulkanizace za teploty 180°C po dobu 40 min. Poté se pec vypne a litinová vložka s vytvrzenou formou se nechá samovolně vychladit. Jakmile se dá forma z vložky vyjmout, otevře se a odstraní se z ní modely. Teď přichází práce zručného formaře, který do formy pomocí skalpelu vyřeže kanály pro přivedení kovu do formy (vtoky) a kanály pro únik vzduchu a plynů z formy (výfuky). Po této operaci je forma připravena k samotnému odlévání. Ukázka násobné formy je na obr. 32. Vlevo je spodní část formy, vpravo horní část formy.



Obr. 34: Ukázka násobné formy

c) Odlévání kovu do formy

Použitá slitina v Zinaku s.r.o. je $ZnAl4Cu3Mg0,4$ a technologie odstředivého lití je Atos Besana, specifikace jednomístné automatické odstředivky jsou uvedeny v Tabulce 2.

Tab. 2. Specifikace jednomístné automatické odstředivky

Specifikace	Hodnota
Maximální průměr formy	400mm
Maximální výška formy	70mm
Otáčky odstředivky	400-800 otáček/min
Tlak přítlačných kotoučů	3-5 atmosféry
Doba licího cyklu	nastavitelná po sekundách

Forma se složí k sobě pomocí středících elementů, vloží se do otevřené odstředivky, zavře se bezpečnostní kryt a spustí se otáčení. Do licího kanálu se pomocí naběračky vlije požadované množství roztavené slitiny o teplotě v rozmezí $410-420^{\circ}\text{C}$ a odstředivka se nechá dotočit. Po automatickém otevření krytu se forma vyjme, rozloží a oddělí se vtoková soustava od surových odlitků. Pokud má forma vysokou teplotu, nechá se vychladit a pokračuje se dalším licím cyklem.

12 GRAFICKÝ A KONSTRUKČNÍ NÁVRH ODLITKU

Nejdůležitější částí, kterou byla nutno zvolit, (kromě samotného grafického návrhu odlitku) byl rozměr rozteče na vymodelované úchytky. Tento rozměr musel být určen s ohledem na to, že výroba odlitku probíhá od modelu, ze kterého se nalijí submodely, dle násobnosti formy a až poté se odlíje hotový výrobek. Tudíž se musí počítat s dvojitým smrštěním odlitku.

12.1 Měření změny rozměru rozteče úchytky mezi modelem a odlitkem

Po konzultaci s Doc. Dr. Ing. Vladimírem Patou jsme zvolili postup měření ne jako měření smrštění, nýbrž měření změny rozměru rozteče. Smrštění je totiž záležitost objemová, a její určení je prakticky velmi problematické, v našem případě členitého výrobku ve školní laboratoři dokonce neurčitelné. Cílem měření tedy bylo určit rozměrovou změnu mezi roztečí modelu úchytky a samotného odlitku úchytky. Jako měřený předmět byla zvolena úchytka vyráběná ve firmě Zinako s.r.o. již několik let. Měření probíhalo následovně:

a) Měření průměru jádra

Na odlitku, ve kterém jsou předlity díry, se ponechaly po odlití silikonové jádra, jejichž průměr se měřil pomocí mikrometru Mitutoyo, s využitím technologie bezdrátového přenosu dat Mitutoyo U-WAVE (obr. 34). Tento systém funguje tak, že zařízení s označením T je zapojeno do měřidla a odesílá naměřené hodnoty po stisknutí tlačítka DATA. Zařízení s označením R je zapojeno do PC, data přijímá a zapisuje je do něj. Naměřené hodnoty a kalibrační listy použitých měřidel jsou uvedeny v příloze. Pro měření bylo zvoleno 5 kusů surových odlitků a jeden kus modelu odlitku (obr. 35). Postup byl následující:

- číselné označení jader pomocí tužky přímo na výrobky, z čehož byla vždy dvojice čísel následující za sebou jeden výrobek. Čili 1/2 = první úchytka, 3/4 druhá úchytka a tak dále.
- model byl označen MC/M, přičemž MC znamená strana úchytky, kde byl fixem vytvořen černý puntík. M strana opačná.
- vynulování přístroje 3x za sebou na hodnotu 0,000mm
- postupně se změřilo každé jádro 30x. Po naměření jedné hodnoty se pomocí tlačítka data na mikrometru odeslala číselná hodnota přímo na počítač do tabulky programu Minitab, kde se následně data vyhodnocovala.

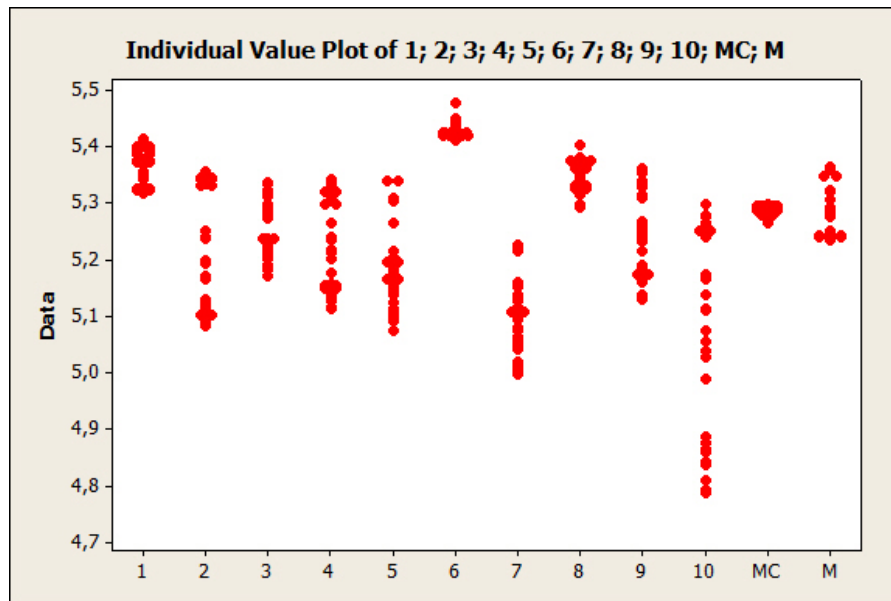
- z bodového grafu, který je na obr. 36, a tabulky 3 jsme dle největších variačních rozpětí (range) vybrali 2 úchytky, které byly z měření vyřazeny. Byly to úchytky 1/2 a 9/10.



Obr. 35. Systém bezdrátového přenosu dat.



Obr. 36. Měření průměru jader mikrometrem Mitutoyo



Obr. 37. Bodový graf průměru jader

Tab. 3. Vypočtené hodnoty Minitabem pro průměry jader

Rozměr	Počet	Průměr	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Minimum	Median	Maximum	Range
1	30	5,3679	0,00537	0,55	5,3180	5,3750	5,4130	0,0950
2	30	5,2065	0,0184	1,94	5,0830	5,1820	5,3570	0,2740
3	30	5,2435	0,00930	0,97	5,1720	5,2305	5,3370	0,1650
4	30	5,2143	0,0143	1,50	5,1140	5,2070	5,3410	0,2270
5	30	5,1819	0,0129	1,36	5,0740	5,1765	5,3390	0,2650
6	30	5,4286	0,00261	0,26	5,4100	5,4250	5,4770	0,0670
7	30	5,0965	0,0110	1,18	4,9980	5,0980	5,2260	0,2280
8	30	5,3450	0,00516	0,53	5,2920	5,3480	5,4030	0,1110
9	30	5,2368	0,0144	1,51	5,1310	5,2365	5,3620	0,2310
10	30	5,0778	0,0328	3,53	4,7870	5,1115	5,2980	0,5110
MC	30	5,2841	0,00171	0,18	5,2660	5,2860	5,2970	0,0310
M	30	5,2801	0,00784	0,81	5,2340	5,2765	5,3640	0,1300

b) Měření vnějšího rozměru mezi jádry

Druhým krokem v měření bylo zjistit vnější rozměr mezi jádry. Vybrané úchytky jsme pomocí vteřinového lepidla zpevnili v místě jádra, které bylo přilepeno k dřevu, aby se zamezilo vzájemnému pohybu. Měření jsme prováděli na úchylkoměru Mitutoyo ID-H se stojánkem, dálkovým ovládáním a drátovou spouští. Postup měření byl následující:

- na stůl stojánku jsme položili 10 mm vysokou koncovou měрку, která sloužila jako podpěra. Na tuto měрку byla položena druhá koncová měрка s výškou 100 mm, která sloužila

pro kalibraci a byla zde umístěna z toho důvodu, že úchylkoměr má rozsah pouze 30,48 mm. Předpokládaná rozteč úchytky byla 102 mm.

- po vložení obou měrek na stůl stojánku se úchylkoměr 3x kalibroval na hodnotu 0,000 mm. Znázorněno na obr. 37.

- koncová měrka s výškou 100 mm se vyjmula a namísto ní se postupně vkládaly úchytky. Ta se měřila z jedné strany, poté se otočila a měřila se ze strany druhé.

- měření bylo prováděno u každé strany úchytky 30x a využívalo se drátové spouště, kterou se vždy na úchytku najelo. Data se odesílala pomocí dálkového ovladače.



Obr. 38. Kalibrace úchylkoměru

V programu Minitab 15 jsem vyhodnotil potřebné hodnoty (tabulka 4), ze kterých vyplývá, že lze pro další výpočet použít aritmetický průměr, jelikož jeho hodnota není příliš vychýlená vůči mediánu. Druhým faktorem, který potvrdil, že lze využít průměr k dalším výpočtům, byl variační koeficient. Jeho hodnota by měla být do 10%. V našem případě byla hodnota maximálně 2,44%. Taktéž je možno si povšimnout nízkého variačního rozpětí (range), jehož hodnota nepřesahuje 0,25 mm a směrodatná odchylka v řádu setin.

Tab. 4. Vypočtené hodnoty Minitabem pro vnější rozměr jader

Rozměr	Počet	Průměr	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Minimum	Median	Maximum	Range
7/8	31	2,6050	0,00826	1,76	2,4750	2,6140	2,6920	0,2170
8/7	31	2,5045	0,0110	2,44	2,3790	2,4830	2,6250	0,2460
5/6	31	2,5334	0,00596	1,31	2,4530	2,5370	2,6020	0,1490
6/5	31	2,4714	0,00972	2,19	2,3760	2,4660	2,6010	0,2250
3/4	31	2,5813	0,00767	1,65	2,4900	2,5930	2,6520	0,1620
4/3	31	2,6386	0,00909	1,92	2,5120	2,6400	2,7510	0,2390
MC/M	60	3,6407	0,00423	0,90	3,5790	3,6355	3,7160	0,1370
M/MC	60	3,5470	0,00372	0,81	3,4750	3,5480	3,6130	0,1380

c) **Vyhodnocení měření**

Pomocí tabulek 3 a 4, společně se vzorcem pro výpočet rozměru rozteče úchytky modelu, uvedeného níže, určíme jeho hodnotu.

$$R_M = 100 + \frac{\bar{x}_{MC/M} + \bar{x}_{M/MC}}{2} - \left(\frac{d_{MC}}{2} + \frac{d_M}{2} \right)$$

$\bar{x}_{MC/M}$ průměr hodnoty MC/M z tabulky 4

$\bar{x}_{M/MC}$ průměr hodnoty M/MC z tabulky 4

d_{MC} průměr hodnoty MC z tabulky 3

d_M průměr hodnoty M z tabulky 3

Ostatní rozměry rozteče budou vypočítány stejným způsobem jako u modelu.

Tab. 5. Rozměry rozteče úchytek

č.úchytky	rozteč (mm)
model	98,312
2	97,381
3	97,197
4	97,334

Z následující tabulky určím průměrnou hodnotu úchytky odlitku a procentuální rozdíl mezi rozměrem rozteče úchytky modelu a surového odlitku.

rozteč modelu $R_M = 98,312\text{mm}$,

rozteč odlitku $R_O = \frac{R_2 + R_3 + R_4}{3} = 97,304\text{mm}$

$$\Delta = R_M - R_O = 98,312 - 97,304 = 1,008mm$$

$$\bar{x} = \frac{R_M + R_O}{2} = \frac{98,312 + 97,304}{2} = 97,808mm$$

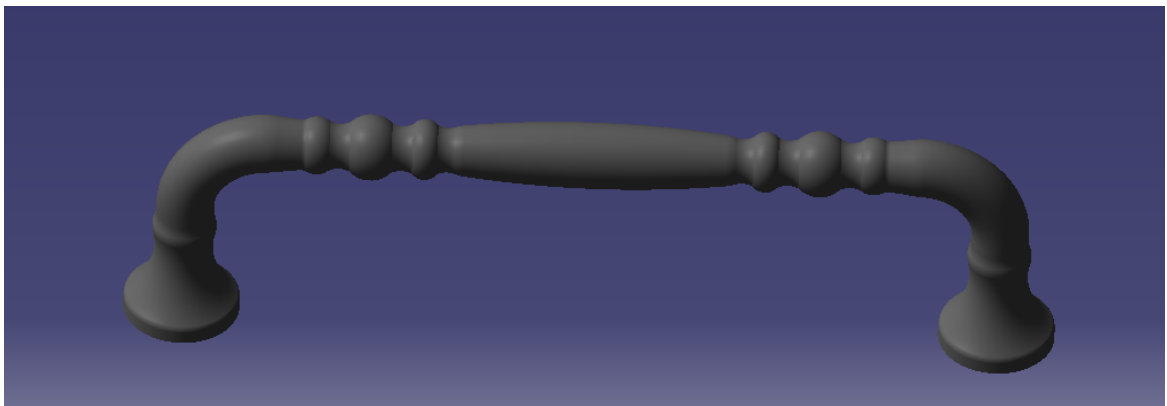
$$97,808 \dots\dots\dots 100\%$$

$$1,008 \dots\dots\dots x\%$$

$$\frac{97,808}{x} = \frac{100}{1,008} \Rightarrow x = \frac{97,808}{\frac{100}{1,008}} = 0,986\%$$

12.2 Grafika a konstrukce úchytky

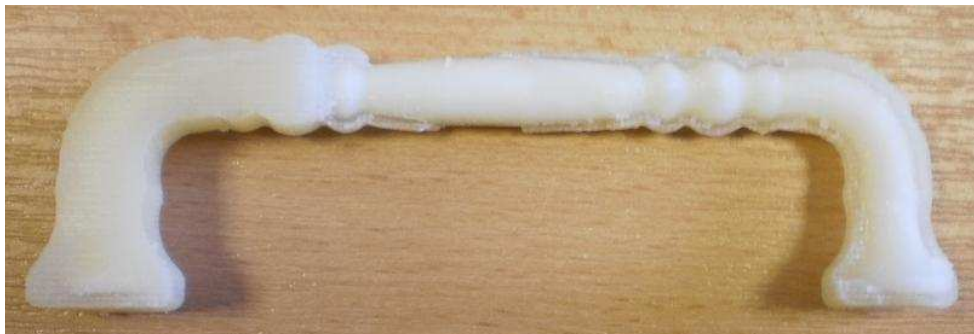
Design úchytky byl navržen s ohledem na vyrobiteľnosť modelu, jeho zaformování, vyjmutí odlitku z formy a funkčnost odlitku (dobré uchopení úchytky a dostatečná tloušťka průřezu pro případné prasknutí v užších místech úchytky). To vše probíhalo ve spolupráci s jednatelem společnosti Zinako s.r.o. Rozměr rozteče byl přepočítán dle výše uvedeného procentuálního „smrštění“, se kterým se počítalo dvakrát, jelikož bude nejprve vyroben submodel a až poté samotný odlitek. Výsledný rozměr rozteče je 97,89mm. Grafický design je uveden na obr. 38



Obr. 39. 3D návrh úchytky v programu CATIA V5

13 VÝROBA MODELU

Model byl vyroben metodou Rapid prototyping na školní 3D tiskárně značky Objet Eden 250. Princip výroby spočívá v nanášení polymeru po vrstvách na základnu tiskárny, dle vytvořeného 3D modelu v grafickém programu. Ten musí být převeden do formátu *.stl. Ten je pro tiskárnu přijatelný a je tím pádem takový výrobek možné vytisknout. Nanášení probíhá prostřednictvím trysky, která vrství materiál po výšce jedné vrstvy 0,016 mm a přejíždí nad základnou tiskárny. Materiál je nanášen ve formě taveniny, která je přiváděna ve tvaru drátu. Jako konstrukční materiál pro tvorbu modelu byl zvolen VeroWhite (pevný polymer bílé barvy) a jako podpůrný materiál byl zvolen FullCure (měkký materiál žluto-bílé barvy). Podpůrný materiál slouží ke snadnému oddělení modelu od základny, ochraně materiálu a k vytvoření vodorovných otvorů.



Obr. 40. Model obalen podpůrným materiálem



Obr. 41. Model po odstranění podpůrného materiálu

14 VÝROBA FORMY Č.1

Výroba formy probíhala v několika krocích, které již byly popsány v kapitole 11.1.

b. Nyní je doložím konkrétními fotografiemi z výroby formy pro „naší“ úchytku.

- 1) Vložení silikonu do litinové vložky, ve které je položen „alobal“.
- 2) Do otvorů vytvořených v modelu se vloží odpovídající jádra, která budou sloužit k budoucímu předlití děr v odlitku.
- 3) Umístění modelu na formu (obr. 42) - s ohledem na dobré zatékání kovu při směru otáčení formy v odstředivce, které je pravé. Klade se důraz na hladký povrch vnějšího tvaru úchytky, který bude při takovémto uložení zaručen díky odstředivým silám působícím na taveninu proti směru otáčení.



Obr. 42. Umístění modelu ve formě

- 4) Doplnění formy o další modely jak z ekonomického důvodu, tak z důvodu zamezení deformací modelu úchytky, které by se v případě samostatného zaformování mohly značně projevit a znehodnotit výrobu.
- 5) Vložení středících elementů (obr. 43) vhodným způsobem do formy. Počet není přesně stanoven, ale dle zkušeností formáře se umísťuje minimálně jeden element ke každému modelu, pokud je model větší, umístí se elementů více. Středící prvky jsou dvojího druhu. Nerezové polokoule, uvnitř duté, a tvarové kolíky.

- 6) Přiložení druhé poloviny formy - s kruhovým otvorem uprostřed pro přívod taveniny - do formy.



Obr. 43. Umístění středících elementů do formy

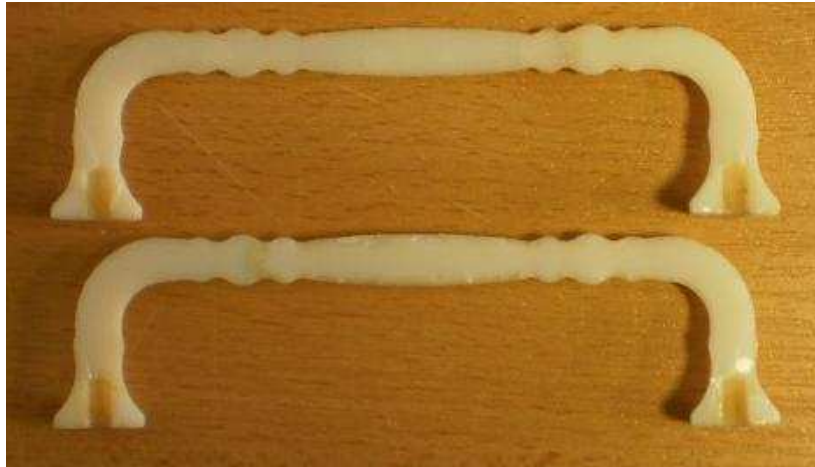
- 7) Přikrytí silikonu „alobalem“. Provádí se to z toho důvodu, aby se silikon nepřilepil na litinovou vložku.
- 8) Vložení druhé části litinové vložky na formu a její utažení pomocí šroubu.
- 9) Umístění celé formy do vulkanizační pece (obr. 44).
- 10) Pec tlakem 130 barů stlačí formu k sobě a vyhřeje se na teplotu 180°C. Na této teplotě vydrží po dobu 40 minut. Poté se forma chladí.
- 11) Jakmile má forma teplotu dostačující pro manipulaci s ní, povolí se šroub a vytvrzený silikon se vyjme z litinové vložky.
- 12) Forma se rozloží a vyjmou se z ní modely. V našem případě se model úchytky poškodil, projevilo se to rozdělením modelu v dělicí rovině. Tvar byl však ve formě zachován, a proto to pro nás má vliv jen na to, že tento model nebude možné použít opětovně. Vytvrzená forma a poškozený model je na obr. 45 a obr. 46.



Obr. 44. Vulkanizační pec

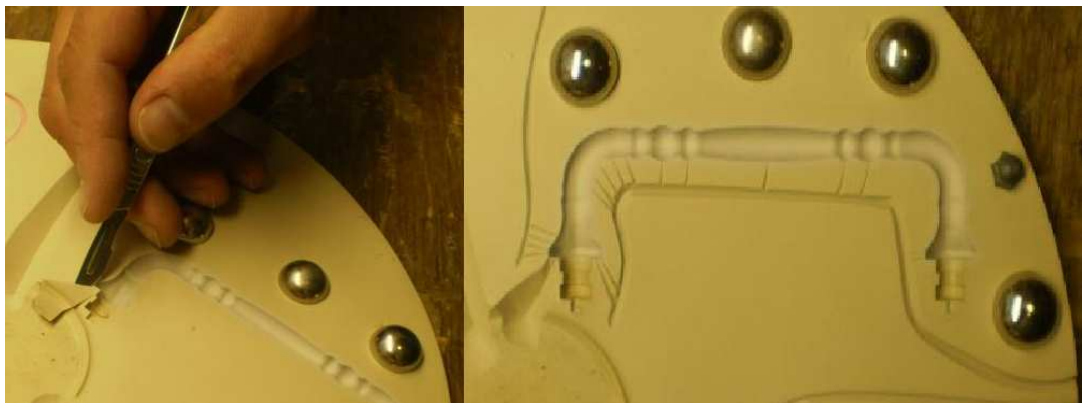


Obr. 45. Vytvrzená forma



Obr. 46. Porušený model po zaformování

- 13) V dalším kroku výroby formy je nutné pomocí skalpelu a zručného formaře vytvořit kanály pro vtok kovu a odchod vzduchu (obr. 47)
- 14) Takto vytvořená forma je po složení k sobě připravena k odlévání.



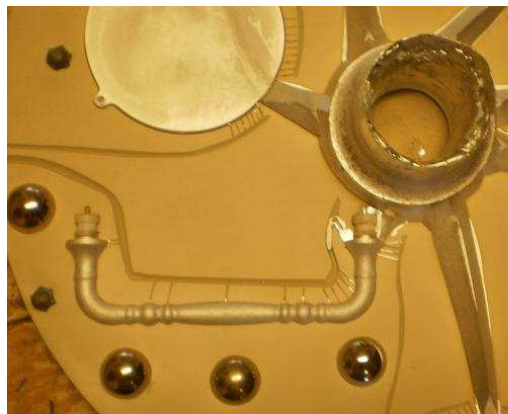
Obr. 47. Tvorba vtoků a výfuků ve formě

15 ODLÉVÁNÍ ÚCHYTKY

Odlévání probíhalo na jednomístné odstředivce od firmy Atos Besana (obr. 48) prostřednictvím slitiny zinku $ZnAl4Cu3Mg0,4$. Jako první krok je vložení jader do spodní poloviny formy a následné složení dvou polovin formy do sebe. Ta se vloží do odstředivky, mezi dva přítlačné kotouče, které jsou stlačovány tlakem 4 atmosféry. Jakmile je forma umístěna, pomocí dvou bezpečnostních spouštěčů (aby nedošlo k úrazu při vložení končetiny mezi kryt a rám stroje) se spustí její cyklus, který byl nastaven na 24 sekund. Kotouče unášející formu se roztočí na stanovené otáčky 600 otáček za minutu. Pomocí naběračky je z „kalíšku“, kde je roztavená slitina na teplotu 405°C nabrán kov. Ten se okamžitě vlije do nálevky, která ho přivede pomocí vtoků do formy. Po dokončení cyklu se odstředivka automaticky otevře a forma se neprodleně vyjme, rozloží a odstraní se z ní vtoková soustava i se surovými odlitky. Znázorněno na obr. 49. Nakonec se vyjmou z odlitku jádra.



Obr. 48. Automatická jednomístná odstředivka [5]



Obr. 49. Surový odlitek s vtokovou soustavou

16 VÝROBA FORMY Č. 2 A ODLITÍ VÝSLEDNÉHO VÝROBKU

V předchozích krocích jsme vytvořili odlitek, jehož model byl vyroben metodou Rapid prototyping. Tento odlitek bude sloužit jako submodel (opětovně zaformovatelný), aby bylo možné v budoucnu vytvořit vícenásobnou formu. Pro naše účely jsme vybrali jeden odlitek, který splňoval podmínky pro submodel. Byl dostatečně hladký, správně zatečený a měl správně odlité otvory. Stopy po vtoku a po výfucích byly obroušeny pomocí brusného kotouče na stolní brusce. Následoval stejný postup jako při výrobě formy č. 1 a vytvořili jsme opět jednonásobnou formu, nyní již pro odlití výsledné úchytky.

Odlévání probíhalo taktéž stejným způsobem jako u odlévání formy č. 1. Jediným rozdílem bylo zvýšení teploty taveniny z důvodu rychlejšího a bezproblémového zatečení kovu do formy při sériovém lití. Teplota slitiny byla 420°C. Hotové výrobky jsou na obr. 50



Obr. 50. Hotový výrobek úchytky

17 MĚŘENÍ ROZTEČE VYROBENÉ ÚCHYTKY

Měření rozteče probíhalo stejným způsobem jako měření v kapitole 12.1. Jelikož byl model z 3D tisku porušen, nebylo možné ho měřit, a proto probíhalo měření pouze na submodelu a náhodně vybraných třech kusech odlitku úchytky (obr. 51).



Obr. 51. Měřené úchytky

17.1 Vyhodnocení naměřených dat

Naměřená data jsou přiložena v příloze. Pomocí programu Minitab jsem jako první určil variační koeficient, který byl v tomto případě maximálně 1,77%. Dále jsem zkontroloval, zda není medián značně rozdílný od aritmetického průměru, což se potvrdilo. Na základě těchto předpokladů je možné pro námi potřebné výpočty použít aritmetické průměry naměřených hodnot. Minitabem jsem určil potřebné hodnoty jak pro naměřené průměry jader (tabulka 6), tak pro naměřené vnější rozměry mezi jádry (tabulka 7).

Tab. 6. Vypočtené hodnoty Minitabem pro průměry jader

Rozměr	Počet	Průměr	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Minimum	Median	Maximum	Range
SC	30	8,1327	0,00385	0,26	8,0950	8,1325	8,1820	0,0870
S	30	8,1852	0,00298	0,20	8,1590	8,1875	8,2160	0,0570
1	30	8,4733	0,00175	0,11	8,4520	8,4740	8,4880	0,0360
2	30	8,3540	0,00148	0,10	8,3410	8,3545	8,3700	0,0290
3	30	8,1917	0,00400	0,27	8,1620	8,1910	8,2320	0,0700
4	30	8,1984	0,00126	0,08	8,1850	8,1995	8,2140	0,0290
5	30	8,2296	0,00632	0,42	8,1790	8,2295	8,2750	0,0960
6	30	8,3690	0,00737	0,48	8,2900	8,3690	8,4260	0,1360

Tab. 7. Vypočtené hodnoty Minitabem pro vnější rozměr mezi jádru

Rozměr	Počet	Průměr	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Minimum	Median	Maximum	Range
SC/S	30	4,8683	0,00218	0,25	4,8420	4,8680	4,8910	0,0490
S/SC	30	4,8516	0,00508	0,57	4,7980	4,8615	4,9030	0,1050
1/2	30	4,1441	0,00450	0,59	4,0840	4,1495	4,1850	0,1010
2/1	30	4,1141	0,0109	1,45	3,9620	4,1380	4,1770	0,2150
3/4	30	3,7086	0,0120	1,77	3,5630	3,7320	3,7820	0,2190
4/3	30	3,7173	0,00897	1,32	3,6310	3,7200	3,7910	0,1600
5/6	30	4,0610	0,00785	1,06	3,9740	4,0690	4,1230	0,1490
6/5	30	4,1207	0,00329	0,44	4,0510	4,1245	4,1430	0,0920

Díky vzorci, který byl vytvořen v kapitole 12.1, vypočteme rozměr rozteče submodelu a průměrnou hodnotu rozteče úchytky.

$$R_s = 100 + \frac{\bar{x}_{SC/S} + \bar{x}_{S/SC}}{2} - \left(\frac{d_{SC}}{2} + \frac{d_S}{2} \right)$$

$\bar{x}_{SC/S}$ průměr hodnoty SC/S z tabulky 7

$\bar{x}_{S/SC}$ průměr hodnoty S/SC z tabulky 7

d_{SC} průměr hodnoty SC z tabulky 6

d_S průměr hodnoty S z tabulky 6

Ostatní rozměry rozteče budou vypočítány stejným způsobem jako u submodelu.

Tab. 8. Rozměr rozteče submodelu a úchytek

č. úchytky	rozteč (mm)
submodel	96,701
1	95,715
2	95,518
3	95,792

Z následující tabulky určím průměrnou hodnotu rozteče úchytky odlitku a procentuální rozdíl mezi rozměrem rozteče úchytky submodelu a surového odlitku.

$$\text{rozteč modelu } R_s = 96,701 \text{ mm}, \quad \text{rozteč odlitku } R_o = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3} = 95,675 \text{ mm}$$

$$\Delta = R_s - R_o = 96,701 - 95,675 = 1,026 \text{ mm}$$

$$\bar{x} = \frac{R_s + R_o}{2} = \frac{96,701 + 95,675}{2} = 96,188 \text{ mm}$$

$$96,188 \dots \dots \dots 100\%$$

$$1,026 \dots \dots \dots x\%$$

$$\frac{96,188}{x} = \frac{100}{1,026} \Rightarrow x = \frac{96,122}{\frac{100}{1,026}} = 0,986\%$$

ZÁVĚR

U této práci jsem se zaměřil na výrobu odlitku metodou odstředivého lití s využitím moderních metod výroby modelu. Jako cíl práce bylo stanovit změnu rozměru rozteče mezi modelem a odlitkem a na základě tohoto zjištění navrhnout model tak, aby odlitek z něj byl v rozměrové toleranci. Navrhovaným výrobkem se stala úchytka nábytkového kování, která má normativní rozteč $96 \pm 0,3 \text{ mm}$.

V prvním kroku praktické části byla zjištěna rozměrová změna rozteče mezi modelem a odlitkem, kterou jsem přepočítal na procentuální změnu, a výsledkem byla hodnota 0,986%. Při měření bylo využito mikrometru a úchylkoměru s využitím bezdrátového přenosu dat. Vše od výrobce Mitutoyo. Toto měření bylo prováděno na úchytce, kterou vyrábí firma Zinako s.r.o., ve které jsem praktickou část práce vytvářel. Dle tohoto výsledku byla na vytvořený model v grafickém programu stanovena rozteč výrobku s ohledem na to, že od modelu k výslednému odlitku bude využito ještě submodelu. Z toho vyplývá, že rozměr rozteče modelu byl zvětšen z 96 mm dvakrát o 0,986%, tedy na hodnotu 97,89 mm. Zvoleným programem, ve kterém jsem úchytka vytvářel, byla CATIA V5, kterou jsme využívali i ve školních předmětech.

Na základě tohoto návrhu a jeho úpravy do formátu STL byl vytvořen model pomocí školní 3D tiskárny Objet z polymerního materiálu. Pomocí tohoto modelu byla vytvořena forma pro odstředivé lití, která je ze silikonu vhodného k odstředivému lití a její výroba je podmíněna vulkanizací této hmoty ve vulkanizační peci. Využitím italské technologie Atos Besana byla na odstředivce odlita úchytka, která sloužila jako submodel pro další výrobu. Původní polymerní model byl při formování, respektive při chlazení formy porušen a byl roztržen v dělicí rovině. Důvodem porušení modelu bylo nejspíše rychlé ochlazení formy, ale tvar modelu byl ve formě zkopírován dokonale a bez vady, proto bylo možné pokračovat v dalších krocích výroby. Zmíněný submodel byl opětovně zaformován a byla vytvořena forma pro výsledné odlévání úchytky nábytkového kování.

Po vytvoření této formy následovalo opět odlití slitiny zinku do vytvořené dutiny. Výsledná úchytka nevykazovala znaky jakéhokoliv porušení i v tom případě, že její průřez byl o poznání menší než průřezy úchytek ve firmě vyráběných. Zmenšení průřezu bylo zvoleno z ekonomického hlediska – snahou bylo snížit váhu odlitku a tím pádem dosáhnout snížení spotřebovaného materiálu jak na výrobu, tak na dodatečné povrchové úpravy, jako

je komaxit, lak či galvanické pokovování. Současně se sníženým průřezem však hrozí prasknutí v místech nejužších míst úchytky, ke kterému, jak bylo zmíněno, nedošlo.

Aby byl určen výsledek mé práce, bylo nutné vyrobené úchytky včetně submodelu opět změřit a zjistit výslednou rozteč výrobku. Měření probíhalo totožným způsobem jako v prvním kroku a výsledky jsou následující. Submodel byl vyroben s rozměrem rozteče 96,701 mm a průměrná hodnota výsledné úchytky je 95,675 mm. Tento výsledek je nepřijatelný, jelikož tolerance je $\pm 0,3\text{mm}$ a námi zjištěná hodnota je odlišná o 0,325 mm. Pověšimnout si však můžeme procentuálního rozdílu mezi submodelem a odlitkem, na kterém nebyla zaznamenána změna vůči prvotnímu měření. Obě hodnoty jsou 0,986%.

Chyba mohla nastat ve tvorbě modelu, jelikož 3D tiskárna má taktéž svou výrobní nepřesnost. A je vidět, že rozdíl mezi roztečí modelu a submodelu činí více než 0,986%. Možná příčina nepřesnosti výroby mohla být taktéž způsobena při výrobě formy č. 1, jelikož se forma zapékala při teplotě 180°C a tato teplota mohla způsobit změnu rozměru modelu, který byl kopírován do formy.

Jako kroky pro výrobu úchytky navrhuji tyto kroky:

- a) Vyrobení modelu úchytky se zvětšenou roztečí o 0,3mm
- b) Vyrobení modelu úchytky s použitím tepelně odolnějšího materiálu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] JELÍNEK, P. *Slévárství*. 1 vyd. Ostrava : VŠB Technická Univerzita Ostrava, skripta, 1966. 255 s. ISBN 978-80-248-1282-3.
- [2] BERNÁŠEK, V; HOŘEJŠ, J. *Technologie slévání*. 3., upr. vyd. V Plzni : Západočeská univerzita, 2006. 175s. ISBN 80-7043-491-0.
- [3] NOVOTNÝ, J. *Technologie I : (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. Vyd. 2. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2001. 227 s. ISBN 80-01-02351-6.
- [4] ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání*. 1. vyd. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010. 126 s. ISBN 978-80-248-2274-7
- [5] Atos Besana s.p.a. [online]. 2007 [cit.2011-5-21]. Centrifugal casting machines. Dostupné z www:
<http://www.atosbesana.com/en/elencoprodotti.asp?categoria=centrifughe%20a%20colata%20manuale>

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Postup výroby odlitku a oběh hmot ve slévárně [2]</i>	14
<i>Obr. 2. Použití úkosů při konstrukčním návrhu součásti [2]</i>	17
<i>Obr. 3. Vliv hrany na strukturu kovu [3]</i>	18
<i>Obr. 4. Řešení spoje dvou stěn [3]</i>	19
<i>Obr. 5. Řešení spoje dvou a tří stěn [2, 3]</i>	19
<i>Obr. 6. Řešení žeber [3]</i>	19
<i>Obr. 7. Konstrukce a umístění nálitku [3]</i>	20
<i>Obr. 8. Konstrukční řešení volné části modelu [4]</i>	21
<i>Obr. 9. Nedělený a dělený model [2]</i>	22
<i>Obr. 10. Volné části modelu [2]</i>	23
<i>Obr. 11. Jaderník a vyrobené jádro [5]</i>	23
<i>Obr. 12. Vtoková soustava pro lití šedé litiny</i>	24
<i>Obr. 13. Vtoková jamka pro odlévání</i>	25
<i>Obr. 14. Struskový kanál [5]</i>	25
<i>Obr. 15. Průřezy zářezů [5]</i>	26
<i>Obr. 16. Zařízení pro rotační šablonování [2]</i>	26
<i>Obr. 17. Zařízení pro rovinné šablonování,</i>	27
<i>Obr. 18. Postup ručního formování [2]</i>	31
<i>Obr. 19. Lisování shora [3] 1 - modelová deska, 2 - model,</i>	32
<i>Obr. 20. Lisování zdola [3]</i>	33
<i>Obr. 21. Formování střešáním [3]</i>	33
<i>Obr. 22. Metací stroj [3]</i>	34
<i>Obr. 23. Odstředivé lití [2]</i>	35
<i>Obr. 24. Tlakové lití s teplou komorou [4]</i>	37
<i>Obr. 25. Tlakové lití se studenou komorou [4]</i>	38
<i>Obr. 26. Nízkotlaké lití [4]</i>	39
<i>Obr. 27. Sklopné lití [4]</i>	39
<i>Obr. 28. Lití metodou vytavitelného modelu [3]</i>	41
<i>Obr. 29. Kontinuální lití vodorovné [2]</i>	42
<i>Obr. 30. Lití do krystalizátoru [2]</i>	42
<i>Obr. 31. Lití kovových skel [2]</i>	43

<i>Obr. 32. Některé vady odlitků</i>	46
<i>Obr. 33. Model medaile</i>	50
<i>Obr. 34: Ukázka násobné formy</i>	51
<i>Obr. 35. Systém bezdrátového přenosu dat.</i>	53
<i>Obr. 36. Měření průměru jader mikrometrem Mitutoyo.....</i>	53
<i>Obr. 37. Bodový graf průměru jader</i>	54
<i>Obr. 38. Kalibrace úchylkoměru</i>	55
<i>Obr. 39. 3D návrh úchytky v programu CATIA V5</i>	57
<i>Obr. 40. Model obalen podpůrným materiálem.....</i>	58
<i>Obr. 41. Model po odstranění podpůrného materiálu.....</i>	58
<i>Obr. 42. Umístění modelu ve formě</i>	59
<i>Obr. 43. Umístění středících elementů do formy</i>	60
<i>Obr. 44. Vulkanizační pec.....</i>	61
<i>Obr. 45. Vytvrzená forma</i>	61
<i>Obr. 46. Porušený model po zaformování</i>	62
<i>Obr. 47. Tvorba vtoků a výfuků ve formě.....</i>	62
<i>Obr. 48. Automatická jednomístná odstředivka [5].....</i>	63
<i>Obr. 49. Surový odlitek s vtokovou soustavou</i>	63
<i>Obr. 50. Hotový výrobek úchytky.....</i>	64
<i>Obr. 51. Měřené úchytky.....</i>	65

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Orientační hodnoty možností slévárenských technologií [4].....</i>	16
<i>Tab. 2. Specifikace jednomístné automatické odstředivky.....</i>	51
<i>Tab. 3. Vypočtené hodnoty Minitabem pro průměry jader.....</i>	54
<i>Tab. 4. Vypočtené hodnoty Minitabem pro vnější rozměr jader.....</i>	56
<i>Tab. 5. Rozměry rozteče úchytek.....</i>	56
<i>Tab. 6. Vypočtené hodnoty Minitabem pro průměry jader.....</i>	66
<i>Tab. 7. Vypočtené hodnoty Minitabem pro vnější rozměr mezi jádry.....</i>	66
<i>Tab. 8. Rozměr rozteče submodelu a úchytek.....</i>	66

SEZNAM PŘÍLOH

Jako přílohy jsou vložena naměřená data ze všech výše uvedených měření.

PŘÍLOHA : NAMĚŘENÉ HODNOTY

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MC	M
5,38 6	5,344	5,312	5,321	5,339	5,411	5,055	5,375	5,166	5,11	5,283	5,248
5,32 3	5,2	5,218	5,145	5,123	5,426	5,22	5,326	5,163	4,793	5,292	5,239
5,40 5	5,192	5,172	5,149	5,15	5,42	5,021	5,352	5,138	5,028	5,274	5,324
5,32 6	5,12	5,184	5,234	5,18	5,417	5,041	5,343	5,269	5,256	5,268	5,284
5,34 1	5,13	5,188	5,265	5,158	5,477	5,095	5,371	5,34	5,28	5,278	5,245
5,4	5,172	5,288	5,133	5,113	5,424	5,043	5,403	5,355	4,861	5,296	5,237
5,32 4	5,101	5,281	5,178	5,196	5,426	5,153	5,371	5,31	5,24	5,286	5,292
5,40 1	5,251	5,19	5,321	5,178	5,427	5,108	5,362	5,159	5,113	5,292	5,239
5,37 8	5,344	5,337	5,114	5,309	5,42	5,06	5,369	5,24	4,877	5,269	5,247
5,37 1	5,336	5,274	5,154	5,203	5,438	5,104	5,292	5,135	5,056	5,297	5,244
5,37 7	5,104	5,233	5,297	5,107	5,446	5,014	5,346	5,329	5,139	5,272	5,287
5,40 1	5,237	5,224	5,202	5,074	5,419	5,112	5,329	5,256	5,257	5,293	5,364
5,31 8	5,331	5,191	5,157	5,216	5,419	5,08	5,375	5,216	5,298	5,296	5,275
5,39 9	5,239	5,323	5,331	5,175	5,443	5,077	5,315	5,131	4,787	5,28	5,244
5,37 5	5,092	5,236	5,217	5,303	5,426	5,16	5,362	5,264	4,864	5,294	5,32
5,37 1	5,357	5,236	5,24	5,095	5,424	5,115	5,328	5,332	5,167	5,282	5,278
5,39 5	5,167	5,202	5,148	5,339	5,419	5,101	5,332	5,356	5,25	5,291	5,246
5,35	5,094	5,291	5,216	5,103	5,41	5,007	5,375	5,175	5,264	5,266	5,285
5,35 6	5,331	5,333	5,336	5,138	5,45	5,131	5,353	5,162	5,038	5,287	5,348
5,41 3	5,342	5,21	5,303	5,196	5,445	5,047	5,297	5,241	4,99	5,288	5,286
5,37 2	5,11	5,297	5,137	5,161	5,424	5,127	5,35	5,233	5,251	5,288	5,234
5,37 9	5,093	5,228	5,341	5,165	5,437	5,216	5,333	5,362	5,076	5,271	5,251
5,37 6	5,101	5,238	5,128	5,266	5,428	5,074	5,359	5,19	4,838	5,28	5,241
5,36 7	5,123	5,206	5,148	5,09	5,421	4,998	5,296	5,136	5,174	5,286	5,362

5,39 5	5,334	5,318	5,154	5,202	5,426	5,138	5,295	5,187	5,25	5,286	5,244
5,32 3	5,238	5,204	5,297	5,179	5,415	5,139	5,332	5,314	5,263	5,294	5,289
5,37 5	5,083	5,213	5,126	5,189	5,449	5,108	5,326	5,354	4,81	5,273	5,348
5,32 6	5,171	5,287	5,212	5,165	5,433	5,061	5,341	5,17	4,886	5,278	5,358
5,38 6	5,115	5,182	5,307	5,14	5,419	5,226	5,381	5,175	5,277	5,294	5,306
5,32 7	5,342	5,208	5,117	5,204	5,419	5,064	5,361	5,247	4,842	5,288	5,239

7/8	8/7	5/6	6/5	3/4	4/3	MC/M	M/MC
2,475	2,625	2,522	2,376	2,622	2,687	3,716	3,613
2,579	2,61	2,602	2,506	2,596	2,72	3,704	3,56
2,643	2,565	2,553	2,506	2,613	2,751	3,679	3,551
2,692	2,574	2,578	2,379	2,595	2,691	3,666	3,599
2,674	2,579	2,511	2,601	2,58	2,633	3,7	3,61
2,668	2,509	2,538	2,594	2,562	2,619	3,695	3,574
2,618	2,502	2,542	2,533	2,617	2,647	3,667	3,586
2,627	2,48	2,502	2,509	2,599	2,64	3,659	3,551
2,632	2,473	2,485	2,526	2,576	2,629	3,632	3,485
2,619	2,481	2,46	2,522	2,551	2,625	3,632	3,542
2,602	2,534	2,453	2,499	2,5	2,597	3,634	3,555
2,616	2,591	2,498	2,444	2,504	2,512	3,637	3,565
2,612	2,575	2,536	2,513	2,49	2,554	3,634	3,589
2,64	2,591	2,537	2,488	2,52	2,579	3,603	3,571
2,644	2,555	2,524	2,432	2,542	2,626	3,59	3,593
2,633	2,487	2,503	2,395	2,511	2,664	3,596	3,596
2,614	2,502	2,514	2,449	2,59	2,663	3,607	3,581
2,622	2,424	2,521	2,471	2,584	2,624	3,636	3,568
2,589	2,474	2,542	2,468	2,614	2,559	3,616	3,55
2,567	2,516	2,555	2,43	2,611	2,579	3,629	3,543

SC	S	1	2	3	4	5	6
8,148	8,179	8,479	8,36	8,217	8,201	8,223	8,426
8,182	8,179	8,473	8,358	8,232	8,199	8,181	8,386
8,139	8,193	8,473	8,358	8,22	8,2	8,193	8,334
8,114	8,199	8,481	8,356	8,217	8,203	8,191	8,293
8,102	8,203	8,483	8,345	8,206	8,214	8,193	8,336
8,13	8,215	8,486	8,344	8,201	8,205	8,211	8,342
8,139	8,192	8,472	8,346	8,177	8,198	8,236	8,366
8,123	8,188	8,488	8,37	8,175	8,185	8,27	8,371
8,119	8,163	8,478	8,367	8,17	8,191	8,273	8,388
8,125	8,166	8,474	8,356	8,167	8,192	8,247	8,426
8,133	8,164	8,474	8,355	8,164	8,191	8,22	8,423
8,151	8,164	8,461	8,342	8,203	8,196	8,197	8,403
8,165	8,178	8,466	8,36	8,177	8,207	8,179	8,418
8,165	8,186	8,462	8,348	8,174	8,208	8,179	8,404
8,136	8,192	8,455	8,356	8,192	8,2	8,275	8,391
8,128	8,209	8,46	8,367	8,208	8,198	8,271	8,367
8,11	8,195	8,457	8,361	8,216	8,198	8,242	8,336
8,123	8,199	8,485	8,352	8,219	8,195	8,215	8,354
8,121	8,191	8,486	8,349	8,19	8,191	8,188	8,415
8,132	8,187	8,482	8,352	8,173	8,201	8,182	8,418

8,16	8,181	8,48	8,344	8,167	8,201	8,21	8,381
8,164	8,191	8,472	8,343	8,162	8,204	8,222	8,356
8,147	8,196	8,472	8,341	8,171	8,207	8,238	8,322
8,138	8,216	8,452	8,344	8,21	8,201	8,258	8,29
8,134	8,198	8,469	8,352	8,223	8,198	8,263	8,304
8,134	8,182	8,475	8,365	8,211	8,202	8,275	8,335
8,118	8,164	8,479	8,36	8,192	8,187	8,27	8,34
8,095	8,159	8,478	8,361	8,182	8,201	8,27	8,353
8,105	8,164	8,474	8,354	8,17	8,185	8,246	8,378
8,102	8,162	8,474	8,354	8,164	8,193	8,269	8,413

SC/S	S/SC	1.2	2.1	3.4	4.3	5.6	6.5
4,891	4,903	4,172	4,13	3,697	3,773	4,082	4,051
4,883	4,873	4,18	4,137	3,701	3,791	4,111	4,098
4,871	4,867	4,127	4,162	3,685	3,768	4,118	4,139
4,862	4,888	4,158	4,167	3,682	3,759	4,117	4,13
4,88	4,882	4,162	4,159	3,672	3,782	4,089	4,124
4,889	4,867	4,14	4,152	3,595	3,778	4,077	4,126
4,874	4,876	4,128	4,058	3,612	3,741	4,082	4,128
4,849	4,863	4,157	4,025	3,636	3,743	4,095	4,12
4,85	4,841	4,153	4,04	3,615	3,726	4,077	4,136
4,865	4,82	4,161	4,128	3,595	3,714	4,065	4,14
4,877	4,798	4,154	3,969	3,563	3,742	4,049	4,143
4,869	4,81	4,138	4,045	3,628	3,753	4,025	4,136
4,867	4,82	4,143	4,142	3,726	3,764	4,047	4,132
4,869	4,811	4,17	4,097	3,769	3,775	4,047	4,115
4,882	4,815	4,16	4,092	3,714	3,759	4,031	4,122
4,891	4,813	4,1	4,093	3,782	3,741	4,013	4,131
4,861	4,83	4,138	4,081	3,772	3,714	3,974	4,141
4,858	4,834	4,148	4,057	3,707	3,703	3,996	4,125
4,842	4,827	4,151	3,962	3,743	3,707	4,001	4,117

4,861	4,84	4,154	4,146	3,738	3,692	3,998	4,11
4,872	4,848	4,123	4,168	3,763	3,69	3,978	4,102
4,871	4,881	4,109	4,144	3,761	3,662	4,052	4,114
4,864	4,865	4,084	4,136	3,766	3,683	4,06	4,126
4,863	4,858	4,137	4,162	3,766	3,686	4,09	4,126
4,854	4,875	4,112	4,161	3,764	3,659	4,112	4,131
4,861	4,872	4,134	4,151	3,763	3,634	4,123	4,123
4,865	4,866	4,109	4,139	3,749	3,631	4,109	4,111
4,869	4,86	4,178	4,175	3,764	3,648	4,062	4,11
4,871	4,875	4,185	4,167	3,77	3,65	4,073	4,097
4,867	4,87	4,158	4,177	3,759	3,652	4,078	4,117