

Technologie gravitačního lití do pískových forem

Pavel Odstrčilík

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Pavel ODSTRČILÍK

Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: Technologie gravitačního lití do pískových forem

Zásady pro vypracování:

- 1. Teoretická studie z oblasti technologie odlévání kovů**
- 2. Návrh slévárenského modelu, dutiny formy, zpracování výkresové dokumentace**
- 3. Postup výroby dané součásti odléváním**
- 4. Příprava a výroba dané součásti ve spolupráci s firmou Hamag**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Bernásek, V. Technologie slévání. 3. upr. vyd. Plzeň: západočeská univerzita, 2006. s. 175. ISBN 80-7043-491-0

Bednář, B. Technologičnost konstrukce odlitků. Vyd. 1. Ústí nad Labem: UJEP, ÚTRV, 2004. s. 101. ISBN 80-7044-614-5

Plachý, J. Teorie slévání. Vyd. 4. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 164 s., ISBN 80-01-02471-7

Chakrabarti, A.K. Casting Technology and Cast Alloys. New Delhi. Prentice. 2005. ISBN 81-203-2779-9

Lukovics, I. Konstrukční materiály a technologie. VUT, Brno, 1992. ISBN 8021403993

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

19. února 2010

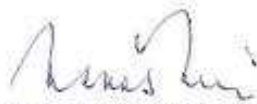
Termín odevzdání bakalářské práce:

2. června 2010

Ve Zlině dne 19. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

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 nevýdělečně 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

Ve své bakalářské práci se zabývám slévárenskou technologií. Je zpracován celý průběh výroby odlitku. Odlévanou součástí je těleso ložiska, které se odlévá ve firmě Hamag spol. s.r.o. Na počátku je požadavek zákazníka, od kterého se následně odvíjí celý návrh odlitku (konstrukce odlitku, dřevěný model s jaderníky, způsob odlévání, tepelné zpracování a obrobení odlitku na požadované rozměry). Na konci všech těchto úkonů je odlitek připraven pro odběr zákazníkem.

Klíčová slova:

Odlitek, model, formování, jádro, forma, slévání.

ABSTRACT

In his Bachelor thesis deals with the foundry technology. It finished the entire course of the production cast. Cast includes bearing housings that are casting the company Hamag al. Ltd. is the beginning of the customer, from which they were subsequently withdrawn the entire proposal casting (casting structure, a wooden model of the core material, method of casting, heat treatment and machining the casting to the required size). At the end of all these operations is cast ready for collection by the customer.

Keywords:

Cast, model, moulding operation, core, mould, casting.

Chtěl bych poděkovat firmě Hamag spol. s.r.o., a to řediteli Aleši Suchánkovi a technologovi Ing. Martinu Pánkovi, za pomoc při podrobnějším prostudování mého tématu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG je totožná.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TECHNOLOGIE ODLÉVÁNÍ KOVŮ	12
1.1 HISTORIE	12
1.2 CHARAKTERISTIKA ODLITKŮ, VÝHODY A NEVÝHODY ODLÉVÁNÍ	12
1.3 SLÉVÁRENSKÉ VLASTNOSTI.....	13
1.3.1 Tavitelnost.....	14
1.3.2 Tekutost a zabíhavost.....	15
1.3.3 Interakce taveniny s formou.....	16
1.3.4 Rozpustnost plynů.....	17
1.3.5 Objemové změny při chladnutí	17
1.3.5.1 Smršťování tekutého kovu při chladnutí.....	17
1.3.5.2 Objemové změny při tuhnutí	17
1.3.5.3 Smršťování chladnouceho odlitku.....	19
1.3.6 Odměšování.....	22
2 ODLIŠNÉ SLÉVÁRENSKÉ TECHNOLOGIE	24
2.1 SKOŘEPINOVÉ FORMOVÁNÍ	24
2.2 LITÍ METODOU VYTAVITELNÝCH MODELŮ.....	25
2.3 LITÍ METODOU SPALITELNÉHO MODELU	26
2.4 Odstředivé lití.....	27
3 VÝROBA PÍSKOVÉ FORMY A JADER	30
3.1 TECHNOLOGICKÉ ZÁSADY PŘI NÁVRHU ODLITKU	30
3.2 NÁVRH MODELU.....	31
3.2.1 Model	31
3.2.2 Materiál modelu	32
3.3 PÍSKOVÁ FORMA A JÁDRA.....	33
3.3.1 Formovací látky	33
3.3.2 Způsoby formování	33
3.3.2.1 Strojní formování.....	33
3.3.2.2 Ruční formování	34
3.3.3 Jádra	34
3.4 VTOKOVÁ SOUSTAVA	35
3.5 NÁLITKY	36
3.6 ÚPRAVY ODLITKU	36
3.6.1 Odstranění vtokové soustavy	37
3.6.2 Žhání	37
4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	39
II PRAKTICKÁ ČÁST	40
5 VÝCHOZÍ POŽADAVKY	41
5.1 FIRMA HAMAG	41
5.2 INFORMACE OD ZÁKAZNÍKA	41
6 SOUČÁST TĚLESA LOŽISKA	42

7	POSTUP VÝROBY DANÉ SOUČÁSTI ODLÉVÁNÍM.....	43
8	ODLITEK TĚLESA LOŽISKA	44
9	DŘEVĚNÝ MODEL	46
9.1	VOLBA MATERIÁLU	46
9.2	KONSTRUKCE MODELU A JADERNÍKŮ	46
10	VÝROBA PÍSKOVÉ FORMY A JADER	48
10.1	FORMOVACÍ LÁTKY	48
10.1.1	Výroba písků	48
10.1.2	Směs na formu.....	49
10.1.3	Směs na jádra	50
10.2	VÝROBA PÍSKOVÉ FORMY	50
10.3	VÝROBA JADER	52
11	ODLÉVÁNÍ	53
11.1	MATERIÁL.....	53
11.1.1	Volba materiálu	53
11.1.2	Tavící pec	53
11.1.3	Licí pánev	54
11.2	VTOKOVÁ SOUSTAVA A NÁLITKY	55
11.3	POSTUP LITÍ DO PÍSKOVÉ FORMY	56
12	ČIŠTĚNÍ A ÚPRAVY ODLITKU.....	57
12.1	CHLADNUTÍ A VYJMUTÍ ODLITKU Z FORMY	57
12.2	ODSTRANĚNÍ JADER A PÍSKU	58
12.3	ODSTRANĚNÍ VTOKOVÉ SOUSTAVY A NÁLITKŮ	59
12.4	ŽÍHÁNÍ	60
12.5	BROUŠENÍ	60
12.6	OBRÁBĚNÍ	61
13	MOŽNÉ VADY ODLITKU	62
13.1	DRUHY VAD	62
13.1.1	Přesazení	62
13.1.2	Nezaběhnutí.....	63
13.1.3	Bubliny	63
	ZÁVĚR	64
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	66
	SEZNAM TABULEK.....	68
	SEZNAM PŘÍLOH.....	69

ÚVOD

V rámci letní aktivity studentů jsem měl možnost pracovat jako brigádník ve slévárně firmy Hamag spol. s.r.o. Tato firma byla dříve součástí ZPS, a proto má dlouholetou praxi a tradici.

Téma mé bakalářské práce je zachytit a zdokumentovat postup výroby tělesa ložiska, a to od návrhu odlitku, výroby pískové formy a jader, odlévání až po konečnou úpravu odlitku.

Údaje, které jsem v této práci použil, jsem čerpal z odborné literatury a z konzultací, které mi poskytl hlavní technolog firmy Hamag spol. s.r.o.

Od této práce očekávám, že získám nové poznatky přímo z praxe, protože do budoucna bych se chtěl tomuto oboru strojírenství věnovat.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE ODLÉVÁNÍ KOVŮ

1.1 Historie

Slévání patří mezi nejstarší výrobní postupy, které lidé ovládali již před mnoha tisíci lety. Ještě před začátkem našeho letopočtu dokázaly vyspělé civilizace odlévat jak mnohatunové sochy, tak i drobné složité tvarované dekorativní předměty. Z původního, především uměleckého řemesla, se slévání přeměnilo v průmyslové odvětví především v 19. století. Nad výrobou kuchyňských potřeb, součástí kamen, ozdobných předmětů, zvonů apod. převládala výroba vodovodních trub, stavebních prvků a dílů výrobních strojů. Ve 20. století se pak stala největším odběratelem odlitků dopravní technika a energetika.

Bez odlitku si dnes nelze představit žádný složitější strojírenský výrobek. V průměru se na jejich hmotnosti podílejí zhruba 30%. Např. v konstrukci osobního automobilu bývá více než sta odlitků. Přitom se jedná o díly tvarově nejsložitější a někdy i značně namáhané (blok motoru, hlava válců, písty a pístní kroužky atd., někdy i klikový hřídel). Odlitky převládají v konstrukci armatur, spalovacích motorů, kompresorů, obráběcích i tvářecích strojů. Odlitky ale najdeme i ve výrobcích elektrotechnického a optického průmyslu, kancelářských a domácích strojích, letadlech, lodích, kosmických a jaderných zařízeních.

Současná světová slévárenská produkce se pohybuje v rozmezí 60-80 mil. tun za rok především v závislosti na vzestupu či poklesu výroby automobilů. České slévárenství má bohaté tradice a vždy se řadilo ke světové špičce, i když v posledních desetiletích technicky zaostávalo. Na přelomu 70. a 80. let přesahovala produkce československých sléváren 100 kg odlitků na obyvatele za rok, čímž se dostala na čelní pozici ve světě. V současnosti se naše slévárenství zaměřuje především na přizpůsobování jakosti odlitků požadavkům náročných zahraničních trhů. Druhým závažným úkolem je snižování dopadů slévárenské výroby na životní prostředí a zlepšování hygienické práce ve slévárenských provozech.[1]

1.2 Charakteristika odlitků, výhody a nevýhody odlévání

Odlitek je polotovár, který vznikne litím roztaveného kovu do pískové nebo jiné formy. Odlitek lze odlévat ze železných i neželezných kovů, pokud jsou slévateľné. Odlitky ze šedé litiny jsou vhodné zejména pro zatížení tlakem a pro součásti, u nichž je požadováno tlumení vibrací. Pro použití odlitků je směrodatný účel a tvar součásti, počet vyráběných kusů a také místní podmínky.

K hlavním výhodám odlévání patří především:

- Možnost zhotovovat díly od hmotnosti několika gramů do desítek tun.
- Možnost dosažení poměrně jednoduchými postupy velmi složitých tvarů.
- Hospodárnost v kusové výrobě i velkosériové výrobě.
- Možnost odlévání většiny kovů a slitin.
- Možnost volby tvaru dle zatížení součásti (co lze nakreslit, lze i odlít).

Proti jiným technologiím má slévání tyto nevýhody:

- Pomalé chladnutí silnostěnných odlitků vede ke vzniku hrubozrnné struktury a odmíšení.
- Rozdíly v tloušťce stěn odlitku vedou k nerovnoměrnému chladnutí, které způsobuje rozdíly ve struktuře a vlastnostech jednotlivých částí, vznik prnutí, deformací a poruch souvislosti.
- Pro odstranění nedostatků licí struktury vyžaduje řada odlitků tepelné zpracování.
- Lití přináší nebezpečí výskytu vnitřních vad (staženin, bublin, vměstků apod.).
- Omezená zabíhavost slévárenských slitin a požadavek dodržení stejnoměrných tloušťek vede někdy ke zbytečnému předimenzování málo zatížených částí odlitku.
- Pro hospodárnou výrobu jakostních odlitků je třeba přizpůsobit jejich konstrukci především formovací technice a smršťování slitin při tuhnutí a chladnutí.
- Nákladné investice, energetická náročnost.
- Nákladné řešení ekologických a hygienických dopadů slévárenské výroby.[1]

1.3 Slévárenské vlastnosti

K výrobě odlitků je možno využívat širokou škálu slitin lišící se výrazně jak svými vlastnostmi a cenou, tak i chováním při tavení, lití, tuhnutí a chladnutí. Některé slitiny je možno odlévat bez obtíží. Odlévání jiných je komplikováno potřebou náročných a nákladných opatření. Vhodnost slitin k výrobě odlitků odrážejí jejich tzv. slévárenské vlastnosti, nazývané souhrnně slévateľnost. Mezi ně patří především:

- Tavitelnost.
- Zabíhavost.
- Vzájemná interakce s formou.
- Rozpustnost plynů.
- Objemové změny při chladnutí a tuhnutí.

- Odměšování.

Slévárenské vlastnosti závisí nejen na vlastnostech odlévaných slitin (chemické složení, obsah nečistot, teplota likvidu a solidu, fyzikální vlastnosti apod.), ale i na vlastnostech formy (pevnost, prodyšnost, zrnitost, fyzikální vlastnosti apod.) a podmínkách při lití (licí teplota a teplota formy, konstrukce odlitku, průřezy a výška vtokové soustavy).[1]

1.3.1 Tavitelnost

Tavení je jednou ze základních slévárenských operací a někdy i operací nejobtížnější. Je při něm v obecném případě potřeba:

- Ohřát vsázku v peci nad teplotu tavení.
- Dosáhnout požadovaného směrného složení slitiny.
- Odstranit nežádoucí příměsi.
- Omezit reakce s pecí vyzdívkou s atmosférou.
- Využít efektivně energii.

Tavitelnost je měřítkem schopností slitiny přecházet do tekutého stavu a tvořit homogenní slitiny bez nežádoucích změn složení a reakcí s atmosférou a vyzdívkou pece. Jednoduše se tavitelnost posuzuje podle teploty tavení slitin. Podle toho rozlišujeme slitiny s:

- Nízkou teplotou tavení: slitiny Sn, Pb, Zn, Bi, Al, Mg.
- Střední teplotou tavení: slitiny Cu, Ni, Fe.
- Vysokou teplotou tavení: slitiny Ti, Mo, Zr.

Spotřeba energie spotřebovaná k natavení může být dalším měřítkem tavitelnosti a není úměrná teplotě tavení. Kovy totiž mají značně rozdílné hodnoty měrné tepelné kapacity c i měrného skupenského tepla tavení l (tab.1) a navíc tepelné ztráty sáláním rostou velmi rychle s rostoucí teplotou v peci. Tepelná účinnost tavících pecí se pohybuje v rozmezí 5-80% dle typu, konstrukce a velikosti pece.

Tab.1. Teploty tavení a teoretická spotřeba tepla k roztavení kovů [1]

Látka	Teplota tavení t_t [°C]	Měrné teplo c_s [J/kgK]	Skupenské teplo tavení l_t [J/kg]	Teoretická spotřeba energie k natavení a přehřátí o 100°C [J/kg]	Hustota ρ [kg/m ³]
Ti	1668	611	358000	1423000	4530
Fe	1535	497	268000	1073000	7860
Oceli	1500	500	272000	1062000	7800
Litiny	1150	540	230000	894000	7200
Ni	1453	446	260000	943000	8900
Cu	1083	385	209000	657000	8930
Al	659	896	402000	1063000	2700
Mg	650	1107	337000	1185000	1740
Zn	420	389	103000	298000	7130
Pb	327	129	25000	78000	11340
Sn	232	230	59000	131000	7280
H ₂ O	0	4180	332000	751000	988

Obecně platí, že nejlépe tavitelné jsou slitiny s nízkou teplotou tavení, malým měrným teplem, malým skupenským teplem tavení a eutektické slitiny, zatímco tavení čistých kovů se stejnorodou strukturou bývá obtížné.

Hlavní zdroje znečištění tavených kovů jsou:

- Pecní atmosféra: O₂, N₂, CO₂.
- Produkty spalování: CO₂, CO, SO₂, S, P.
- Vyzdívky: Si, Al a jejich oxidy, u nevysušených O₂ a H₂.
- Nečistoty ve vsázce: písek, rez, mazadla, nátěry, vlhkost, plasty apod.
- Cizí kovy ve šrotu: např. ložiskové kompozice, vodiče, šedá litiny v oceli.
- Nečistoty ve struskotvorných přísadách, krycích solí apod.[1]

1.3.2 Tekutost a zabíhavost

Měřítkem vnitřního tření kapalin je viskozita. Její převrácená hodnota bývá označována jako tekutost. Viskozita roztavených a dostatečně přehřátých kovů je blízká viskozitě vody. S klesající teplotou viskozita roste. Prudce se zvyšuje pod teplotou likvidu a ještě před dosažením teploty solidu se slitina přestane pohybovat. Kromě teploty je tekutost slitin závislá na obsahu vměstků a rozpuštěných plynů.

Pro praxi je nejdůležitější vlastností zabíhavost, která vyjadřuje schopnost slitin plnit co nejdokonaleji formu. Zabíhavost je závislá na poměru rychlosti pohybu slitiny k rychlosti jejího chladnutí. Proto ji ovlivňuje:

- Teplo Q , které je možno slitině odebrat než ztuhne.
- Povrch odlitku, kterým slitina teplo ztrácí.
- Interval tuhnutí slitiny, nejhorší zabíhavost mají slitiny se širokým intervalem tuhnutí, nejlépe zabíhají eutektické slitiny.
- Rychlost pohybu slitiny.
- Teplota formy.
- Schopnost formy odebírat teplo odlitku vyjadřovaná součinitelem tepelné akumulace.

Zabíhavost slitin se měří různými zkouškami, nejčastěji odléváním tenkých tyčí, spirál nebo klínů. Dle ČSN420483 se měření provádí odléváním tenkých tyček různého průřezu. Měřítkem zabíhavosti pak je průměr nejtenčí plně zaběhlé tyčky a zaoblení hran tyček trojúhelníkového průřezu.[1]

1.3.3 Interakce taveniny s formou

Při odlévání dochází ke styku taveniny s mnohem chladnější formou. Vzájemné působení mezi nimi zahrnuje:

- Mechanické namáhání formy tlakem a dynamickým účinkem taveniny.
- Erozivní působení taveniny na formu.
- Pronikání taveniny do formovacího materiálu.
- Tepelné působení taveniny na formu.
- Chemické reakce mezi slitinou a formou.
- Pronikání plynů z formy do kovu.[1]

Tab.2. Doporučené lící teploty slévarenských slitin [1]

Slitina	Lící teplota [°C]
Slitiny titanu	1850-2000
Uhlíkové oceli	1500-1600
Legované oceli	1450-1700
Bílá litina	1300-1400
Šedé litiny	1250-1350
Slitiny mědi	950-1250
Slitiny hliníku	680-750

1.3.4 Rozpustnost plynů

Přítomnost plynů ve slitinách vede ke zhoršení jejich mechanických vlastností, porózitě a bublinám. Probublávání roztavených kovů inertními a nerozpustnými plyny je však na druhé straně užíváno k odstranění škodlivých plynů a nečistot. Plyny mohou být v kovech:

- Rozpuštěny (H, N, CO, CO₂, H₂O, SO₂, CH₄).
- Vázány na rozpustné sloučeniny tvořící při tuhnutí křehké fáze (CuO, FeO).
- Vázány na nerozpustné sloučeniny tvořící vměstky (Al₂O₃, SiO₂, MgO).[1]

1.3.5 Objemové změny při chladnutí

Objemové změny při chladnutí a tuhnutí odlitků je možno rozdělit na:

- Objemové změny při chladnutí kapalné fáze.
- Objemové změny při tuhnutí.
- Objemové změny při chladnutí tuhé fáze.
- Objemové změny při změnách krystalové mřížky.

Tyto dílčí etapy objemových změn se však překrývají vzhledem k rozdílným teplotám jednotlivých částí odlitku v průběhu jeho ochlazování. Tuhá kůra na povrchu odlitku se smršťuje jinak než teplejší tekutý střed odlitku a při tuhnutí nebo změnách krystalové mřížky může ve stejnou dobu docházet naopak k rozpínání těch částí odlitku, kde teplota odlitku právě dosáhla teploty příslušných přeměn. Při tom spolupůsobí i některé vnější síly, např. gravitace, odpor formy a jader, tlak plynů apod. Výsledkem těchto složitých pochodů jsou změny tvaru i rozměrů, vznik dutin, poruch souvislosti a vnitřních pnutí.[1]

1.3.5.1 Smršťování tekutého kovu při chladnutí

Smršťování se projevuje poklesem hladiny taveniny ve formě. Ve skutečnosti je pozorovaný pokles hladiny způsoben spíše smršťováním při tuhnutí nejchladnějších částí odlitku. Objemové smrštění roztavených kovů bývá zhruba kolem 1% na 100°C.[1]

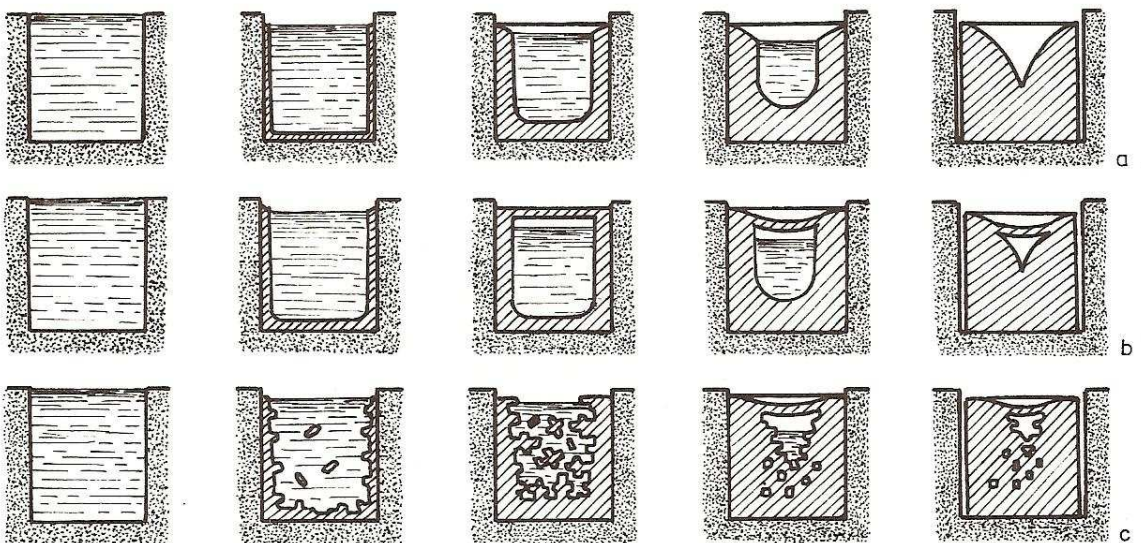
1.3.5.2 Objemové změny při tuhnutí

Objemové změny jsou způsobeny vznikem uspořádané krystalové mřížky, která u většiny kovů zaujímá menší objem než fáze kapalná. Pouze několik kovů při tuhnutí svůj

objem zvětšuje podobně jako voda: Ge, Ga, Sb, Bi, Si. Většina kovů a slitin se však při tuhnutí smršťuje o 2 - 8%. K rozpínání však dochází i při eutektickém tuhnutí grafitizujících litin. Toto tzv. předsmršťovací roztažení je způsobeno vznikem grafitu, který má oproti železu mnohem menší hustotu (2350 kg/m^3).

Dutiny vznikající v odlitcích při tuhnutí slitin se nazývají staženiny. Tvoří se v těch místech odlitku, která tuhnou naposledy. Nejteplejší a naposledy tuhnoucí oblast odlitku se nazývá tepelná osa. Může jí být plocha, křivka nebo bod.

Tvar staženiny závisí především na tvaru odlitku a typu slitiny. Čisté kovy a eutektické slitiny tuhnoucí při určité teplotě tvoří soustředěné staženiny s hladkým povrchem. Od povrchu odlitku narůstá postupně tuhá kůra a uvnitř ní postupně klesá hladina taveniny (obr.1a). Tak vzniká nálevkovitá propadlina. Ztuhne-li na počátku i hladina kovu, dojde později k jejímu propadání, neboť pod ní pokles taveniny vytváří podtlak. Tak vzniká vnější (viditelná) a vnitřní (neviditelná) staženina (obr.1b).



Obr.1. Mechanismus vzniku staženin [1]

Slitiny tuhnoucí v určitém teplotním intervalu mají rozhraní mezi tekutou a tuhou fází členité. Tomu odpovídá i tvar staženin, u nichž jsou patrné obnažené rostoucí dendrity (obr.1c). U slitin se značně širokým intervalem tuhnutí je proto staženina rozptýlena ve velké části odlitku. Takováto místa se označují jako řediny. Ty zhoršují mechanické vlastnosti odlitků a navíc i jejich těsnost, pracují-li např. v hydraulických zařízeních. Velikost staženin je určena především typem slitiny. Závisí ale i na mnoha dalších faktorech, např. na lící teplotě, tvaru odlitku a vlastnostech formy.[1]

1.3.5.3 Smršťování chladnouceho odlitku

Smršťování chladnouceho odlitku pod teplotou solidu se projevuje především změnou rozměrů. Proto se tato fáze objemových změn nazývá lineární smršťování. Vedle teplotní roztažnosti materiálu se tu mohou projevit i objemové změny při fázových přeměnách. Např. u slitin železa je rozpad austenitu s 0,9% C na perlit doprovázen zvětšením objemu o 0,83%, ale na martenzit o 2,68%. Přeměnu austenitu na ferit doprovází nárůst objemu o 1,24%. Celkové hodnoty smrštění od ztuhnutí do vychladnutí na teplotu okolí uvádí tabulka 3. Uvedené hodnoty platí pro volné smršťování, tj. pro případ, že smršťování není brzděno ani odporem formy či jader, ani odlišným smršťováním jednotlivých částí odlitku.

Tab.3. Poměrná velikost staženin a lineární smrštění odlitků [1]

Kov, slitina	Poměrná velikost staženin β %	Lineární smrštění odlitků %
Ocel uhlíková	2 – 6	1,2 – 2,0
Ocel legovaná	5 – 7	1,5 – 2,8
Šedá litina	0 – 4	0,7 – 1,2
Tvárná litina	0 – 8	0,5 – 1,0
Bílá litina	2 – 6	1,5 – 2,2
Slitiny mědi	3 – 7	1,2 – 2,3
Slitiny hliníku	3 – 6	0,9 – 1,5
Slitiny hořčíku	2 – 5	1,1 – 1,4
Slitiny zinku	4 – 6	1,1 – 1,6

Rozdíl mezi volným a brzděným smrštěním odlitku se projeví deformací. Ta může být zjevná (zakřivení odlitku) nebo utajená (nedodržení rozměrů). Znalost lineárního smrštění jednotlivých slitin je důležitá pro správné stanovení rozměrů modelů a trvalých forem. Při volbě přídatku na smrštění je však třeba přihlížet nejen k typu slitiny, ale i k podmínkám chladnutí, deformaci formy tlakem taveniny a teplotní roztažnosti i odporu formy a jader.

Smršťování odlitků je příčinou vzniku pnutí, deformací, trhlin a prasklin. Vnější pnutí v odlitcích vzniká, je-li smršťování odlitku brzděno odporem formy nebo jader. Proto tato pnutí označujeme také jako smršťovací nebo tepelně mechanická. Tato pnutí jsou zpravidla tahová a zanikají po rozpadnutí formy a jader.

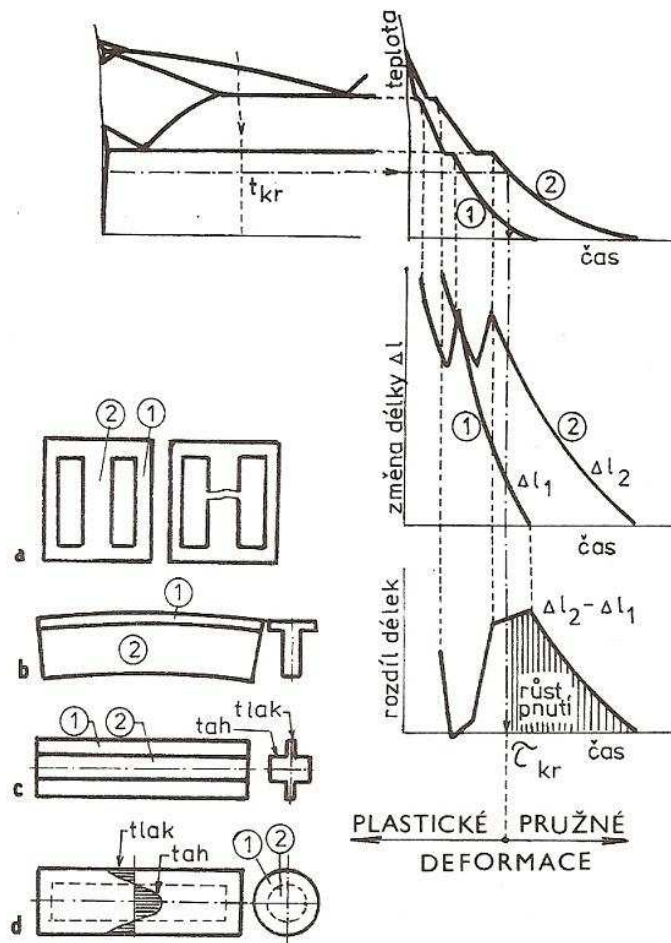
Tato pnutí se však za vysokých teplot uvolňují rychle relaxací. Teprve, když teplota odlitku klesne pod kritickou teplotu t_{kr} oddělující od sebe oblasti převážně pružných a pře-

vážně plastických deformací, začnou v odlitku narůstat pnutí. Tato pnutí mohou dosáhnout značných hodnot. Např. u ocelových odlitků, které se dostávají při chladnutí do oblasti převážně pružných deformací kolem teploty $t_{kr}=550^{\circ}\text{C}$, by ochlazení na teplotu 20°C (součinitel teplotní roztažnosti $\alpha=13\cdot 10^{-6}\text{K}^{-1}$, modul pružnosti $E=210\cdot 10^9\text{ Pa}$) vzniklo pnutí $1,45\cdot 10^9\text{ Pa}$, které značně převyšuje pevnosti běžných ocelí. Proto jádra i formy složitých odlitků musí být z dobře rozpávané formovací směsi, neboť jinak by docházelo k praskání chladnouceho odlitku.

Vnitřní pnutí vznikají v odlitcích jako důsledek rozdílně probíhajících objemových změn jednotlivých částí odlitku. Rozdělují se dále na vnitřní pnutí tepelná (dilatační) σ_T , způsobena rozdílnou rychlostí chladnutí a vnitřní pnutí fázová (transformační) σ_F , jejich příčinou jsou rozdílně probíhající objemové změny při fázových přeměnách. Např. při rozpadu austenitu může vznikat v odlitku několik strukturních složek s rozdílným měrným objemem a navíc tyto přeměny neprobíhají v celém odlitku naráz.

Vznik vnitřních pnutí je možno vysvětlit na smršťování odlitku s rozdílnými tloušťkami stěn (obr.2). Jeho tenčí část (1) chladne rychleji než silnější část (2). Tomu odpovídají i rozdílné rychlosti smršťování a časová posuv mezi fázovými přeměnami v obou částech. Pokud alespoň v jedné části odlitku teplota přesahuje hodnotu τ_{kr} , mohou se rozdíly ve smršťování obou částí $\Delta l_2 - \Delta l_1$ vyrovnávat skrytou plastickou deformací. Od okamžiku τ_{kr} , kdy se pod teplotou τ_{kr} dostane nejteplejší část odlitku, začnou narůstat pružné deformace a spolu s nimi i vnitřní pnutí. Tenčí část (1) je nyní chladnější, proto budou převládat účinky smršťování silnější části odlitku (2). Je-li odlitek symetrického průřezu, projeví se toto smršťování vznikem tahových pnutí v pomaleji chladnoucích částech. Tato pnutí jsou vyvážena pnutím tlakovým v částech chladnoucích rychleji. Přesáhnou-li vznikající pnutí mez pevnosti materiálu, dojde k poruše celistvosti odlitku (obr.2a). Má-li odlitek průřez nesymetrický (T, L apod.), projeví rozdílné smršťování deformací zborcením odlitku (obr.2b).

Vnitřní pnutí vznikají i v kompaktních symetrických odlitcích (válcích, deskách apod.) jako důsledek rozdílné rychlosti smršťování jeho vnější a vnitřní části (obr.2d).



Obr.2. Vznik pnutí a deformací [1]

Vnitřní a vnější pnutí se při chladnutí odlitků sčítají. Nebezpečí je zejména sčítání tahových pnutí v pomalu chladnoucích částech odlitku během chladnutí ve formě. V tenkých průřezích se vnitřní a vnější pnutí často ruší, neboť tu převládá napětí tlakové. Proto jsou místa odolnější proti vzniku poruch. Podle údobí vzniku se tyto poruchy dělí na trhliny a praskliny.

Praskliny jsou poruchy odlitku vznikající za nízkých teplot v oblasti převážně pružných deformací. K jejich vzniku jsou náchylné především slitiny křehké. U slitin s vysokou tužností praskání nehrozí. Praskliny bývají rovné nebo křivolaké s čistým povrchem. Slitiny železa mohou mít jejich povrch se žlutavým nebo modrým nádechem. Praskliny mohou vznikat i po vychladnutí odlitku při nárazech, obrábění nebo ohřevu, kdy dojde k superpozici nových napětí se zbytkovými napětími dosud přítomných v odlitku.

Trhliny jsou poruchy souvislosti odlitku, které se začínají tvořit nad teplotou solidu. V této době již existuje pevná kostra odlitku, která se začíná smršťovat. Vazby mezi krystaly jsou však ještě slabé, neboť tu zůstávají ještě zbytky taveniny. Pod teplotou solidu se

nové trhliny již netvoří, ale dříve vzniklé trhliny se mohou prodlužovat i rozšiřovat. Trhliny vznikají v místech nejmenší pevnosti. Mají proto mezikrystalický (interkrystalický) průběh a drsný zoxidovaný povrch. Sklon ke vzniku trhlín zvyšují zejména:

- Velké hodnoty modulu pružnosti E .
- Velké hodnoty součinitele teplotní roztažnosti.
- Velké teplotní rozdíly v odlitku (nízká tepelná vodivost, velké rozdíly tloušťek, rychlý odvod tepla kokilou).
- Velké odpory proti smršťování odlitku.
- Nečistoty po hranicích zrn (sulfidy, vměstky apod.).[1]

1.3.6 Odměšování

Odměšování je oddělování jednotlivých složek slitiny při jejím tuhnutí. Dle povahy odměšování se dělí na dendritické (mezikrystalické) a pásmové (hlavní, vrstevnaté, makroskopické).

Dendritické odměšování je způsobeno omezenou rychlostí difúze při krystalizaci taveniny. Její složení se totiž při tuhnutí mění (dle čáry likvidu v rovnovážných diagramech) a proto se mění i složení právě vznikající tuhé fáze. Největší sklon k dendritickému odměšování mají prvky značně rozšiřující interval tuhnutí základního kovu např. u slitin železa C, S, P, a O. Dendritické odměšování není u odlitků považováno za vadu. V případě potřeby je lze částečně odstranit homogenizačním žíháním. Výsledkem dendritického odměšování je např. vyšší obsah C, P a S v později tuhoucích částech ocelových odlitků.

Pásmové odměšování je mnohem závažnější, neboť vytváří rozdíly ve složení celých částí odlitků a tím způsobuje výrazné rozdíly jejich vlastností. Hnací silou při tom bývá:

- Gravitace a rozdíl hustot způsobený odchylkami složení nebo teplot.
- Smršťování chladnoucího odlitku.
- Tlak plynů pohyb plynových bublin.
- Povrchové napětí.

Nejvýraznější jsou projevy pásmového odměšování u velkých a vysokých odlitků, kde částice odlišné hustoty mají před ztuhnutím dostatek času k přemístění na velké vzdálenosti. Např. u odlitků z nadeutektických litin bývá v jejich horních částech vyšší podíl částic

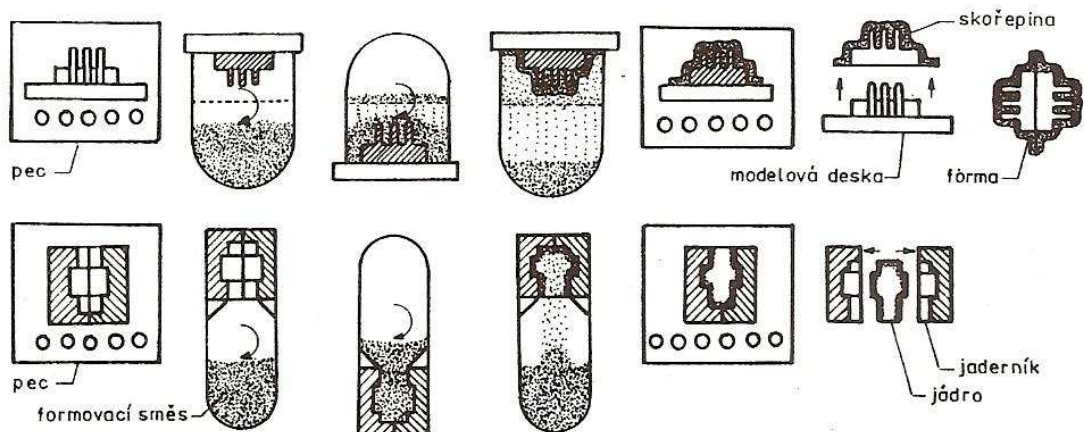
primárního grafitu. U odlitků z olověných bronzů je naopak ve spodních částech přebytek olova.

Potlačení pásmového odměšování lze dosáhnout zrychlením tuhnutí např. litím do kovových forem, přísadami prvků, které jsou rozpustné v obou nemísitelných složkách např. Sn do slitin Cu-Pb nebo kovů s vysokou teplotou tavení, které vytvoří v odlitku kostru krystalů brzdící pohyb taveniny (Ni u slitin Cu-Pb).[1]

2 ODLIŠNÉ SLÉVÁRENSKÉ TECHNOLOGIE

2.1 Skořepinové formování

Metodu skořepinového formování vynalezl v roce 1944 v Hamburku J. Croning. Proto je tento postup často označován jako metoda C. Princip výroby skořepinových forem a jader je patrný z obrázku (obr.3). Kovová modelová deska nebo jaderník se ohřeje na teplotu 200-280°C. Po nanesení dělicího prostředku se na modelovou desku (do jaderníku) nasype formovací směs tvořená jemným pískem, fenolformaldehydovou pryskyřicí a tužidlem (hexametylentetraminem). Nověji se využívají tzv. obalené směsi, u nichž jsou zrna písku předem obalena vrstvičkou pryskyřice. Teplem modelového zařízení se pojivo začne natavovat a po několika desítkách sekund slepí vrstvu písku tloušťky 5-12mm. Nespojená směs se sesype otočením modelového zařízení o 180°. Nakonec se skořepina vytvrzuje několik minut při teplotách 280-500°C a po vyjmutí z pece se uvolní z modelového zařízení.



Obr.3. Výroba skořepinových forem a jader [1]

Forma se skládá zpravidla ze dvou skořepin, přičemž se do ní dle potřeby vkládají jádra. Jednotlivé díly se spojují zpravidla lepením. Před litím se skořepinová forma zasype pískem (okolo) nebo ustaví v přípravku.

K hlavním výhodám metody patří:

- Nízká spotřeba formovací směsi (5-10% proti běžným metodám).
- Vysoká rozměrová přesnost odlitků (podél dělicí roviny do 0,3%).
- Hladký povrch odlitků ($Ra = 6,3-25\mu\text{m}$).
- Možnost lít složité tvary, tenká žebra s malými úkosy apod.

- Jednoduchost zařízení (odpadají vstřelovací a střešací stroje).
- Dobrá rozpadavost forem usnadňuje čištění odlitků.

K nevýhodám skořepinových forem patří především:

- Vysoké náklady na výrobu modelového zařízení.
- Vysoká cena formovací směsi.
- Zhoršená hygiena při přípravě směsi a při lití (vyhořívání pryskyřice).
- Možnost užití pouze pro odlitky do hmotnosti zhruba 50kg.

Skořepinové formování bylo první z metod užívající uměle připravená organická pojiva. Přesto, že po něm následovaly objevy řady dalších metod, je tato metoda stále oblíbená pro určité skupiny forem zejména jader. Je vhodná prakticky pro všechny slévárenské slitiny. Užívá se např. pro výrobu žebrovaných hlav válců vzduchem chlazených motorů a kompresorů, klikové a vačkové hřídele, hlavy válců vodou chlazených motorů, výfuková potrubí apod.[1]

2.2 Lití metodou vytavitelných modelů

Výrobu forem pomocí vytavitelných modelů používali pro výrobu uměleckých odlitků již Egypťané v době 2000 let před naším letopočtem. Koncem 19. století se začala užívat pro výrobu zubních korunek a protéz. Teprve od 40. let 20. století je využívána i ve strojírenství pro výrobu přesných a tvarově složitých odlitků.

Metoda je založena na používání modelů ze snadno tavitelných materiálů. Ty se zhotovují vstřikováním roztavených voskových směsí do forem, které je možno vyrobit: obráběním, zaléváním kovového matečného modelu do nízkotavitelných slitin, zalévání kovového matečného modelu plasty nebo silikonovým kaučukem, galvanoplasticky nebo metalizací.

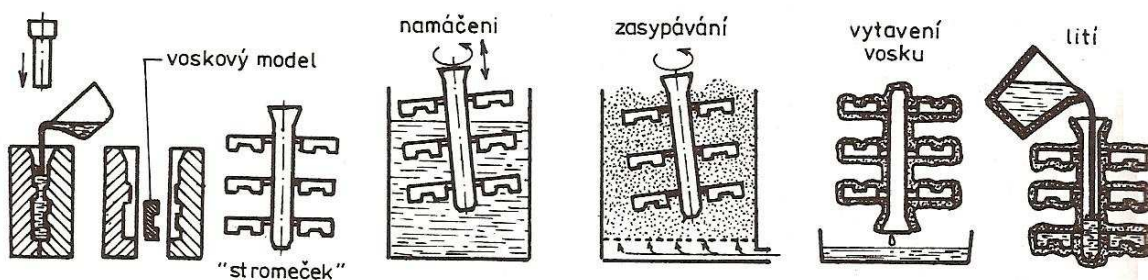
K základním požadavkům kladeným na voskové směsi patří: nízká viskozita, malé smrštění při tuhnutí, malá teplotní roztažnost, pevnost a tvrdost při pokojové teplotě a hygienická nezávadnost.

K hotovým modelům se připojuje voskový model vtokové soustavy, případně i nálitků. Drobné modely se připojí lepením či pájením ke společné vtokové soustavě do stromečku tak, aby později při vytavování mohl vosk snadno z formy vytéci.

Pro výrobu forem se užívají speciální formovací materiály s vysokou žáruvzdorností (pevnost formy), malou teplotní roztažností (praskání formy) a netečností vůči odlévaným slitinám (zapékání). Křemen (SiO_2) s teplotou tavení 1560°C má omezené použití vzhledem k velké teplotní roztažnosti. Vhodnější je umělý korund (Al_2O_3), baddeleyit (ZrO_2) aj. Pojivem jsou koloidní roztoky SiO_2 v alkoholu (etylsilikáty) nebo ve vodě (hydrosoly).

Forma se zhotoví několikanásobná (3-10x) namáčením modelu do keramické směsi, fluidním zasypáním jemným ostřivem a sušením. Pak se modely vytaví horkým vzduchem nebo ve vroucí vodě. Při následujícím vypalování v peci při teplotách $800-1100^\circ\text{C}$ vyhoří zbytky vosku a ihned po vyjmutí z pece se formy odlejí. Vzhledem k pomalému tuhnutí je možno odlévat odlitky s nejmenší tloušťkou stěny až 2mm.

Do skořepinových forem je možno odlévat prakticky všechny slitiny. K hlavním oblastem využití patří lití všech ocelí a speciálních žáruvzdorných slitin. Lijí se takto především odlitky o hmotnosti 5-1000g, výjimečně až do 20kg. Protože se jedná o poměrně složitou a nákladnou metodu, užívá se především tam, kde umožní výrazně snížit náklady na obrábění tvarově složitých ploch. Uplatňuje se v mnoha odvětvích, např. při výrobě turbínových lopatek, oběžných kol turbín a kompresorů, součástí armatur, převodovek, čerpadel a zbraní, pro nářadí, nástroje a umělecké odlitky.[1]



Obr.4. Postup lití metodou vytavitelného modelu [1]

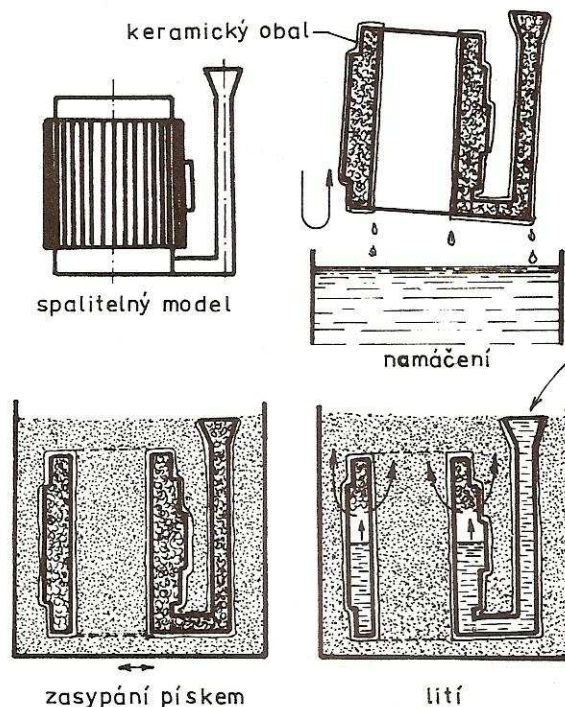
2.3 Lití metodou spalitelného modelu

Při této metodě lití se model zhotovuje z pěnových plastů, nejčastěji z pěnového polystyrenu. Při kusové výrobě se model z hmoty vyřeže, případně slepí z více dílů, v sériové výrobě se k výrobě modelů užívají speciální formy. Původně se spalitelné modely zaformovávaly klasickým způsobem. Nověji se na model nanáší vrstvička žáruvzdorného nátěru, po jehož ztuhnutí se model v rámu zasype suchým pískem. Dokonalé vyplnění formo-

vacího rámu přitom usnadňují vibrace. Během lití se plast vypařuje před postupujícím žhavým kovem, který pak vyplňuje vznikající dutinu (obr.5). Uvolňované plyny při tom unikají díky dobré prodyšnosti pískové výplně.

Metoda umožňuje lití tvarově složitých dílů bez nutnosti vyjímání modelu. Odpadá tedy potřeba úkosů, úprav dělicí roviny, vnějších jader a komplikované formování.

Spalitelné modely se používají jak v kusové výrobě tvarově složitých odlitků (tvářecí nástroje, díly prototypů) tak i v sériové výrobě obtížně formovatelných odlitků (tělesa a díly elektromotorů). Spalitelnými částmi je možno doplnit i modely dřevěné či kovové pro vytváření výstupků, kulovitých nálitků apod.[1]



Obr.5. Lití metodou spalitelného modelu [1]

2.4 Odstředivé lití

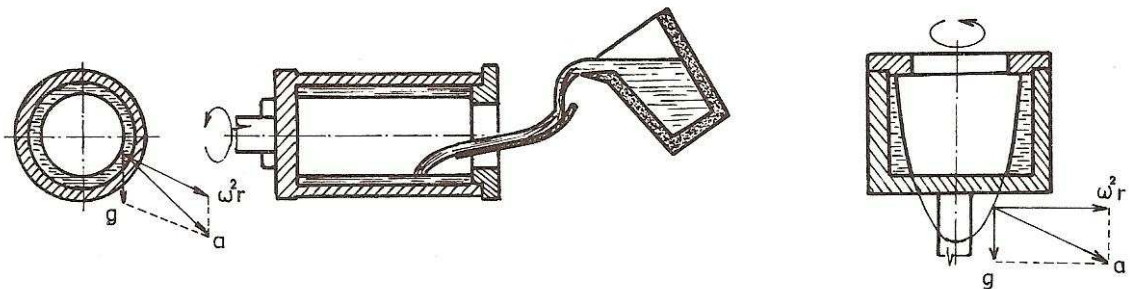
Lití do rotující formy přináší zvýšení tlaku při plnění a tuhnutí odlitku. Tím usnadňuje zaběhnutí členitých i tenkostěnných odlitků a přispívá ke zlepšení jejich mechanických vlastností. Odstředivá síla totiž zlepšuje dosazování a urychluje vyplouvání nečistot a plynů. Dále umožňuje vytvářet v odlitcích dutiny bez pomoci jader.

Tento způsob lití byl patentován Eckhardtem v roce 1809 a našel řadu aplikací. Užívá se především pro lití rotačních součástí, např. ložiskových výsterek a pánví, vložek vál-

ců, pístních kroužků, kol, nástrojů apod. Nejvýznamnější je jeho použití při výrobě litinových trub průměrů 30-1250mm do rotujících kovových forem, které jsou na vnitřním povrchu chráněny žáruvzdorným nátěrem, zatímco vnější povrch je chlazen vodou. Tloušťka stěny odlitku je při tom určována množstvím odlitého kovu a hrdlo se utváří pískovým jádrem.

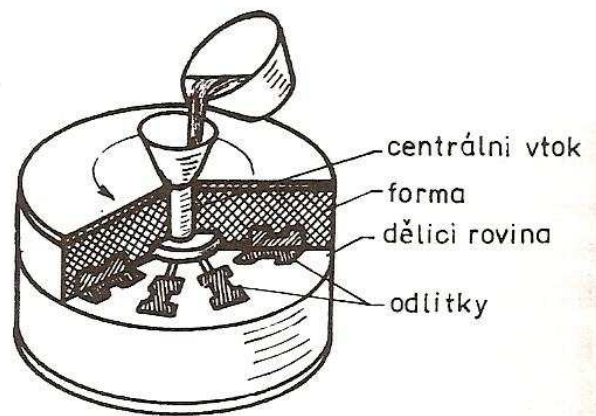
Rozlišují se celkem tři způsoby odstředivého lití:

- Pravé odstředivé lití – forma rotuje kolem svislé či vodorovné osy a vnitřní povrch odlitku je utvářen jen odstředivou silou (např. trouby). Při lití se svislou osou rotace má vnitřní dutina tvar rotačního paraboloidu. Není-li výška odlitku větší než dvojnásobek jeho průměru je při dostatečně vysokých otáčkách rozdíl vnitřních průměrů zanedbatelný.
- Poloodstředivé lití – odlitek je utvářen nejen odstředivou silou, ale i formou a jádrem (např. ozubená kola, oběžná kola, rotory elektromotorů).
- Odstředování – forma rotuje kolem centrálního vtoku a roztavený kov je tlačěn odstředivou silou do dutin pro jednotlivé odlitky (obr.6). Takto se odlévají drobné složité odlitky do pískových forem, kokil nebo forem zhotovených metodou vytavitelného modelu.



Obr.6. Odstředivé lití s vodorovnou a svislou osou rotace [1]

Otáčky se při odstředivém lití volí tak, aby odstředivá síla byla výrazně větší než gravitace. Užívá se např. poměr $\frac{a_n}{g} = \frac{v^2}{r \cdot g} = \frac{r \cdot \pi^2 \cdot n^2}{900 \cdot g} =$ (50-200 lití s horizontální osou rotace, 75-100 lití s vertikální osou rotace). Spodní hranice je dána potřebou dokonalého rozlití kovu a zaplnění formy. Horní hranice je omezena pevností rotující formy.[1]



Obr.7. Odstředivé lití [1]

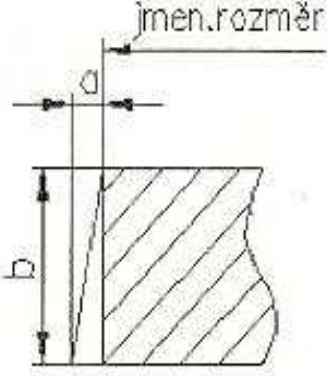

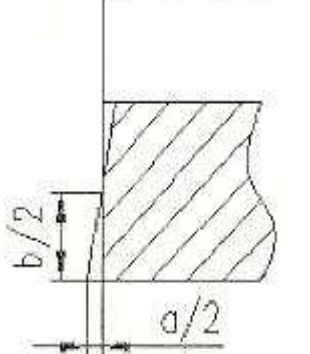
3 VÝROBA PÍSKOVÉ FORMY A JADER

3.1 Technologické zásady při návrhu odlitku

Při navrhování odlitku musíme dodržet následující kritéria.

- Přídavky (tab.4) – umísťujeme je na plochy, které se budou po odlévání obrábět. Velikost přídavku ovlivňuje rozměr odlitku, jeho polohu při lití, druh materiálu, přesnost odlitku atd. Plochy kolmé k dělicí rovině se zhotovují s úkosem z důvodu snadného vyjímání modelu z formy. Dělicí rovina má být pokud možno přímá (levnější výroba).
- Předlité otvory – ke zhotovení otvorů v odlitku se používá jader. Minimální průměry předlitých otvorů závisí na druhu materiálu a na poměru průměru a délky otvoru. Otvory, které mají průměr do 20 mm, se nepředlévají.
- Dělicí rovina – navrhuje se pokud možno v jedné rovině, k dělicí rovině se svažují úkosy.
- Zaoblení a tloušťka stěn – u odlitků s ostrou hranou vzniká vlivem růstu krystalů slabé místo, proto se hrany odlitků zaoblují. Základním požadavkem pro získání odlitku bez vnitřních vad a pnutí jsou plynulé přechody tloušťek stěn bez ostrých úhlů a náhlých přechodů.
- Vnitřní pnutí – vzniká při různé rychlosti tuhnutí jednotlivých částí odlitku ve formě. Ke zpevnění odlitku se používá žeber, jejichž tloušťka stěny je vždy menší než tloušťka stěny u odlitku. Žebra tuhnou dříve a vytvoří pevnou kostru. Poloha žeber se volí střídavě nebo prstencovitě, aby nevznikaly tepelné uzly.
- Výfuky – slouží k odvádění plynů a vzduchu z dutiny formy, mají kuželovitý tvar, bývá jich několik, umísťují se v nejvyšších místech formy, kde se hromadí plyny.
- Obrábění odlitků – konstrukce odlitků má umožnit rychlé a snadné upnutí, vhodné rozmístění obráběných ploch.[2]

Tab.4. Tabulka úkosů [2]

Slévárenské úkosy modelů a odlitků ČSN 042021					
					
ÚKOS A		ÚKOS B		ÚKOS C	
b [mm]		Dřevěné			Kovové
přes	do	a [mm]	a : b	a [mm]	a : b
–	40	1	1 : 35	0,8	1 : 55
40	63	1,5	1 : 35	1	1 : 55
63	100	2	1 : 40	1	1 : 75
100	160	2,5	1 : 50	1,5	1 : 75
160	250	3	1 : 65	2	1 : 100
250	400	4	1 : 75	2,5	1 : 100
400	630	5	1 : 100	3	1 : 150
630	800	6	1 : 120	–	–
800	100	7	1 : 130	–	–
1000	1250	8	1 : 140	–	–

3.2 Návrh modelu

3.2.1 Model

U modelu pro odlitek je nutno počítat se zvětšením rozměrů o smrštění odlévané slitiny. Skutečné smrštění je ovlivněno tvarem odlitku a poměry při chladnutí taveniny ve formě, proto se používají hodnoty odvozené z provozní zkušenosti.

Model je větší o přírůstky na obrábění v mezích ČSN 014980 a ČSN 014981 a také je z důvodu formovacího postupu v určitých částech větší o technologické přírůstky.

Tvar modelu je odchylný od požadované součásti o úkosy, které jsou nutné pro vyjímání modelu ze zapěchované formy. Tyto úkosy jsou stanoveny v normě ČSN 042021. Materiál modelu se volí podle požadovaného počtu odlitků a podle požadované přesnosti.[7]

3.2.2 Materiál modelu

Model může být vyroben z mnoha druhů materiálu například:

- Dřevo – je vhodným materiálem pro konstrukci modelu pro snadnou obrobitelnost i sestavování. Má malou měrnou hmotnost, ale je hygroskopické, a proto je nutno ho chránit nátěry a impregnací před vlhkostí. Je vhodné pro modely určené pro menší počet kusů.
- Slitiny kovů – dávají trvanlivější modely, jsou těžší, výroba je pracnější, ale vydrží větší počet zaformování. Jsou výhodné zejména pro sériovou výrobu na formovacích strojích.
- Sádra.
- Umělá kamenina.
- Epoxidové pryskyřice.
- Polyvinylchlorid (novodur).
- Pěnový polystyrén.

Podle přesnosti modelu se dělí do 4 jakostních tříd.

Model musí být označen číslem, které bývá vypouklé a odlévá se. Na modelu je podle ČSN 1121-1932 barvou označena slitina (tab.5), ze které bude odlit odlitek.[7]

Tab.5. Barvy dřevěných modelů [2]

Šedá litina	Červená
Ocel na odlitky	Modrá
Měď a její slitiny	Žlutá
Hliník a jeho slitiny	Stříbrná

3.3 Písková forma a jádra

3.3.1 Formovací látky

Jsou upravené suroviny a směsi k výrobě forem a jader. Od formovacích látek se požaduje tvárnost, prodyšnost, pevnost, soudržnost, žáruvzdornost, rozpadavost aj. Tyto vlastnosti jsou kombinací vlastností hlavních složek formovací směsi, to je pojiva a ostřiva.

- Ostřivo - je to nejčastěji křemičitý písek o zrnitosti 0,3 až 0,75 mm, velmi jemný magnezit, chromit, šamot aj. Vyžaduje se minimální tepelná roztažnost, dobrá chemická odolnost vůči roztavenému kovu a strusce. Zvláštní ostřiva zirkon, korund, karbid křemíku. Na výrobu jader se používá jádrový písek. Jádro je velmi tepelně namáháno (je zalito roztaveným kovem) proto musí mít písek velmi dobré pevnostní a tepelné vlastnosti. Na výrobu forem se používá dva druhy písku:
 - a) modelový písek – nový písek, pěchuje se přímo na model,
 - b) výplňový písek – regenerovaný starý písek, slouží k vyplnění zbytku formy.
- Pojivo – slouží k vázání jednotlivých zrn ostřiva. Rozdělujeme na:
 - a) anorganická – jíly, vodní sklo, cement, sádra,
 - b) organická – pryskyřice, oleje, sacharidy.
- Pomocné formovací látky – nejčastěji se používají k úpravě povrchu forem jako dělicí látky (velmi jemné křemičité písky, grafit).[7]

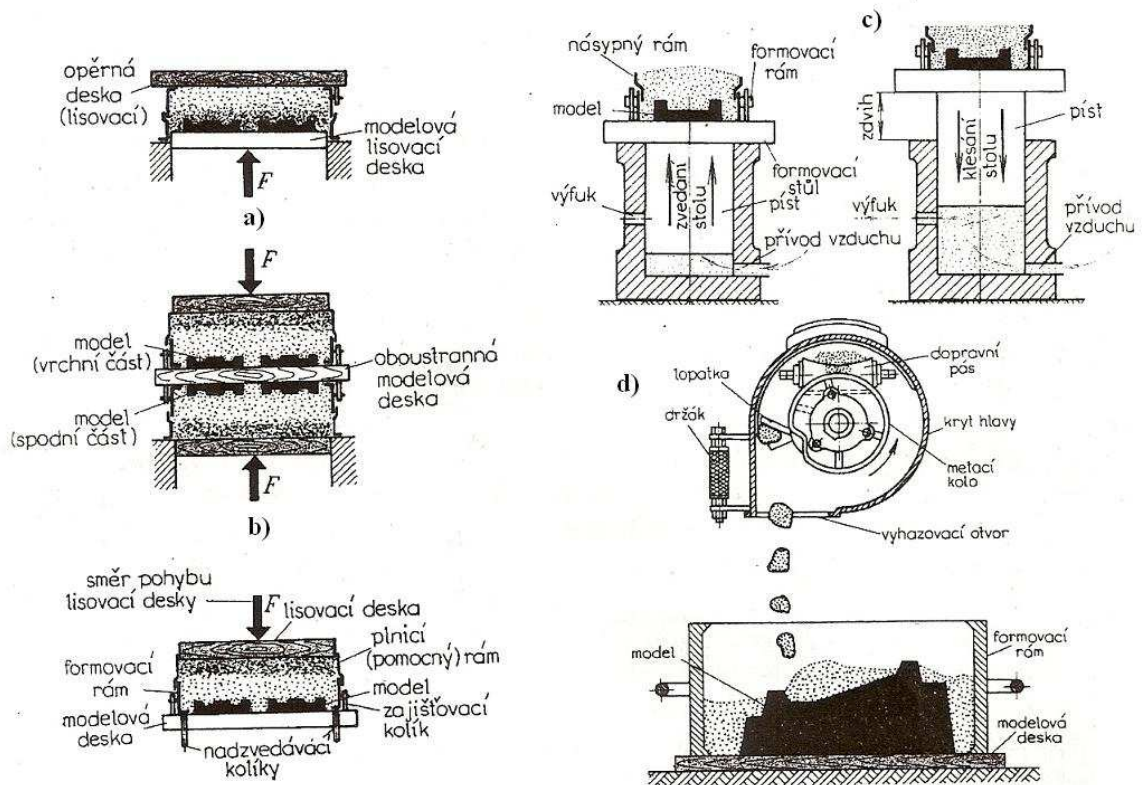
3.3.2 Způsoby formování

3.3.2.1 Strojní formování

Používá se v sériové výrobě a hromadné výrobě pro menší počty a střední odlitky. Odstraňuje se těžká fyzická práce, zajišťuje se vyšší přesnost a jakost odlitků, podstatně se zvyšuje produktivita práce. Používají se stroje, které mechanizují pěchování forem a zajišťují přesné vytahování z forem.

Způsoby strojního formování (obr.8):

- a) Stroje lisovací (shora, zdola, oboustranné).
- b) Stroje střešací.
- c) Stroje střešací s dolisováním.
- d) Stroje metací.



Obr.8. Způsoby strojního formování [8]

3.3.2.2 Ruční formování

Ručnímu formování se budu věnovat v praktické části v kapitole 10.2.

3.3.3 Jádra

Jádra jsou části formy obklopené úplně nebo zčásti vlitým kovem. Vyrábějí se převážně mimo formu v jaderníku, z jádrařských formovacích směsí a po zaformování se zpravidla suší nebo chemicky vytvrzují. Ve formě je jádro uloženo známkou ve známkovém lóži vytvořeném modelem. Známky jader jsou svislé, vodorovné a krycí.

Známky svislých jader se dělají ve spodu formy delší a s mírným úkosem, do vršku formy kratší a s větším úkosem. Jádra se mají pokud možno ukládat do spodu formy. Jádra mohou být jednodílná nebo vícedílná. Do dvoudílných jader se zaformují výztuhy. Jádra, která tvoří dutinu v odlitku a jsou úplně oblitá kovem, se nazývají jádra pravá. Jádra nepravá naproti tomu nejsou úplně oblitá kovem a tvoří obvykle část stěny formy. Jádra musí mít při zakládání správnou polohu, proto je nutno zajistit a zabránit jeho posunutí nebo pootočení. Aby se usnadnilo vyjímání jader u jaderníku, musí mít jaderníky na svých stě-

nách kolmých k dělicí rovině jaderníku úkosy. Jinak by vznikala deformace na jádře třením formovacího materiálu o stěny jaderníku. Úkosy jsou různé a záleží na celkové výšce a na provedení jaderníku. Nižší jádra mívají úkos 2 až 3°, vyšší 1° nebo i méně viz ČSN 042021.

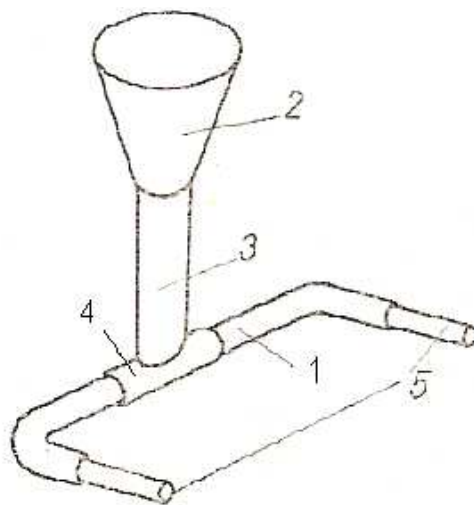
Jádrové výztuhy mají za účel vyztužit jádro, tak aby se dalo přenášet a aby odolalo tlaku kovu při lití a po odlití. Musí být dostatečně silné, svým tvarem přizpůsobeny a provedeny tak, aby nebránily smršťování odlitku po odlití.

Jádra je možno vyrábět v jaderníku ručním nebo strojním pýchováním. Jednodílný jaderník se používá jen u zcela jednoduchých malých jader, která se dají z formy snadno vyjmout vyklopením. Nejrozšířenější jsou jaderníky dvoudílné tj. dvoudílné pouzdro s dutinou odpovídající svým tvarem jádru. Aby obě poloviny jaderníku přišly vždy do stejné polohy, je jedna polovina opatřena dvěma vodícími kolíky, druhá dvěma otvory.[8]

3.4 Vtoková soustava

Odlévání je plnění formy taveninou, které zajišťuje především správně vyřešená vtoková soustava. Vtoková soustava je soustava kanálů, jimiž protéká tekutý kov do dutiny formy.

Vtoková soustava (obr.9) slouží k naplnění formy tekutým kovem, je umístěna v horním rámu a do dutiny ústí v dělicí rovině. Hlavní části vtokové soustavy jsou:



1. rozváděcí kanál; 2. licí nálevka; 3. vtokový kanál; 4. struskovák; 5. zářezy

Obr.9. Vtoková soustava [8]

Vtoková soustava musí zaručovat:

- Dokonalé naplnění formy při klidném stejnosměrném a pokud možno laminárním toku kovu, bez nasávání vzduchu a plynů, bez poškození stěn vtokové soustavy a dutin formy.
- Odloučení nekovových vměstků stržených v předchozí části soustavy.
- Plnění dutiny formy kovem určitou přípustnou rychlostí, aby se zabránilo mechanickému poškození části formy a jader.
- Naplnění formy ve stanoveném čase nepřesahující určité hodnoty, aby nenastalo termické poškození formy teplem, sálajícím z kovu.
- Stejnosměrné, popřípadě usměrněné tuhnutí odlitku, aby se zabránilo tvoření ředin, staženin a trhlin při smršťování.[8]

3.5 Nálitky

Při tuhnutí odlitku dochází v místech velkých průřezů ke vzniku staženin (dutin). Nálitky slouží k doplnění objemového úbytku tekutého kovu vlivem chladnutí a smršťování. Umísťují se do tzv. tepelných uzlů (nejdéle teplé místo dutiny formy). Snahou je, aby se staženiny tvořily mimo odlitek v tzv. nálitcích, které se potom z odlitku odstraňují. Odlitky z ocelolitiny vyžadují značné nálitky – velké smrštění. Nálitky musí splňovat tyto požadavky:

- Každé místo výše položené je nálitkem místu níže položenému.
- Koule vepsaná do nejtěsnějšího místa odlitku musí projít všemi místy nad tímto místem směrem k nálitku (pravidlo vepsané koule).
- Nálitky se dávají na místa, která se budou obrábět.

3.6 Úpravy odlitku

Uvolněním a vyjmutím surového odlitku z formy je zahájen poslední úsek jeho výroby (čištění a úprava). Čištění je odstranění formovacích směsí z dutin i z povrchu odlitku. Úprava je odstranění přebytečného materiálu vtoků, nálitků, zateklin a jiných slévárenských vad.

3.6.1 Odstranění vtokové soustavy

Vtoková soustava se u malých odlitků z litiny odstraní kladivem. U velkých ocelových odlitků musíme vtokovou soustavu a nálitky oddělit řezáním acetylenovým plamenem. Nevýhodou je, že se musí upravit plocha po řezání z důvodu velkých nerovností. U malých odlitků odstraníme nálitky a vtokovou soustavu řezáním na kotoučové pile.

Při řezání plamenem musíme zvolit vhodnou hubici (tab.6) v závislosti na tloušťce materiálu.

Tab.6. Parametry pro volbu plamene [8]

Tloušťka nebo průměr řezaného předmětu (mm)	Číslo hubice řezáku	Tlak kyslíku (MPa)	Rychlost řezání přibližně (mm/min)	Šířka řezu (mm)	Vzdálenost hubice od povrchu kovu (mm)
4 - 24	1	0,2 - 0,4	500 - 360	3,5	2,0 - 2,5
26 - 45	2	0,4 - 0,5	340 - 230	4,5	3,0 - 3,5
50 - 90	3	0,5 - 0,7	200 - 110	5,5	4
100 - 180	4	0,7 - 1,0	100 - 75	7,0	5,0 - 5,5
200 - 300	5	1,0 - 1,3	70 - 45	9,0	5,5 - 6,5

3.6.2 Žihání

Nestejnorodé tuhnutí a chladnutí odlitku ve formě má za následek strukturní a chemickou nehomogenitu a vznik vnitřních napětí. Proto se k odstranění některých nedostatků licí struktury a zlepšení mechanických vlastností značná část odlitku tepelně zpracovává. Podstatou tepelného zpracování je dosažení určitého strukturního stavu tepelným pochodem. Využíváme při tom fázových přeměn v tuhém stavu. Výsledkem tepelného zpracování je změna struktury a tím i mechanických vlastností a změna vnitřních napětí z hlediska jejich druhu a velikosti.

Ocelové odlitky se v podstatě všechny tepelně zpracovávají. Protože hrubší licí struktura a rozdělení segregací v odlitku vyvolávají zvýšenou hysterezi při přechodu kritických teplot, je zpravidla třeba vyšších teplot při tepelném zpracování odlitků, než u tvářených ocelí stejného chemického složení.

Způsoby tepelného zpracování, jejichž cílem je dosáhnout nebo se alespoň dostatečně přiblížit rovnovážnému stavu oceli, se označují jako žíhání. Účelem žíhání ocelových odlitků bývá nejčastěji zmenšení statistických chyb chemické heterogenity, snížení tvrdosti, zlepšení obrobitelnosti a snížení vnitřních pnutí. Některé způsoby žíhání vyžadují k dosažení požadovaného cíle přeměnu výchozí struktury (obvykle feriticko-cementické) na austenit, u jiných k fázovým přeměnám při ohřevu nedochází (žíhací teplota pod A_{c1}). Proto se běžné způsoby nejčastěji rozdělují na žíhání bez překrystalizace a žíhání s překrystalizací. Do první skupiny patří zejména žíhání ke snížení pnutí a žíhání na měkko, do druhé žíhání normalizační a žíhání homogenizační.[2]

4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

V teoretické části bylo úkolem vysvětlit základní pojmy v oboru slévárenství. Uvedení alternativních postupů při výrobě zadaného odlitku. Rozebrání celého technologického postupu při výrobě tělesa ložiska: návrh odlitku, dřevěný model, formování, odlévání a konečná úprava odlitku.

V praktické části bych se chtěl věnovat každému bodu technologického postupu zvlášť a objasnit nebo zcela vymyslet postup výroby.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 VÝCHOZÍ POŽADAVKY

5.1 Firma Hamag

Tradice slévárny Hamag spol. s.r.o. sahá až do třicátých let minulého století. Původně ji založil Tomáš Baťa, vyráběl zde všechny druhy odlitků pro vlastní potřebu – obuvnické a obráběcí stroje z šedé litiny, oceli, hliníku a slitin mědi.

Po roce 1948 byla firma Baťa rozdělena na výrobní podniky Svit, Rudý říjen a ZPS (závody přesného strojírenství), kterých se stala slévárna součástí. Ve slévárně byly vždy využívány moderní technologie výroby odlitků, slévárna byla postupně modernizována, v padesátých letech byly nainstalovány elektrické indukční pece, formovací stroje a centrální přípravná formovacích směsí.

Nynější podoba firmy Hamag spol. s.r.o. vznikla v roce 1992. Za 18 let svého trvání získala dobrou pověst nejen v České republice, ale i v zahraničí. Povrchová i vnitřní kvalita odlitků a plnění požadavků zákazníků vybuodovalo dobré jméno společnosti.

5.2 Informace od zákazníka

Všechny výchozí parametry čerpáme z požadavků, které nám sdělí zákazník. V tomto případě budeme vymýšlet zcela nový odlitek z výrobního výkresu obrobene součásti tělesa ložiska, které bude konečným produktem pro zákazníka.

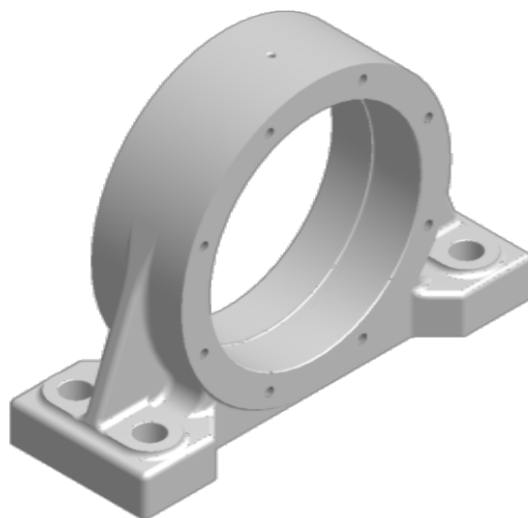
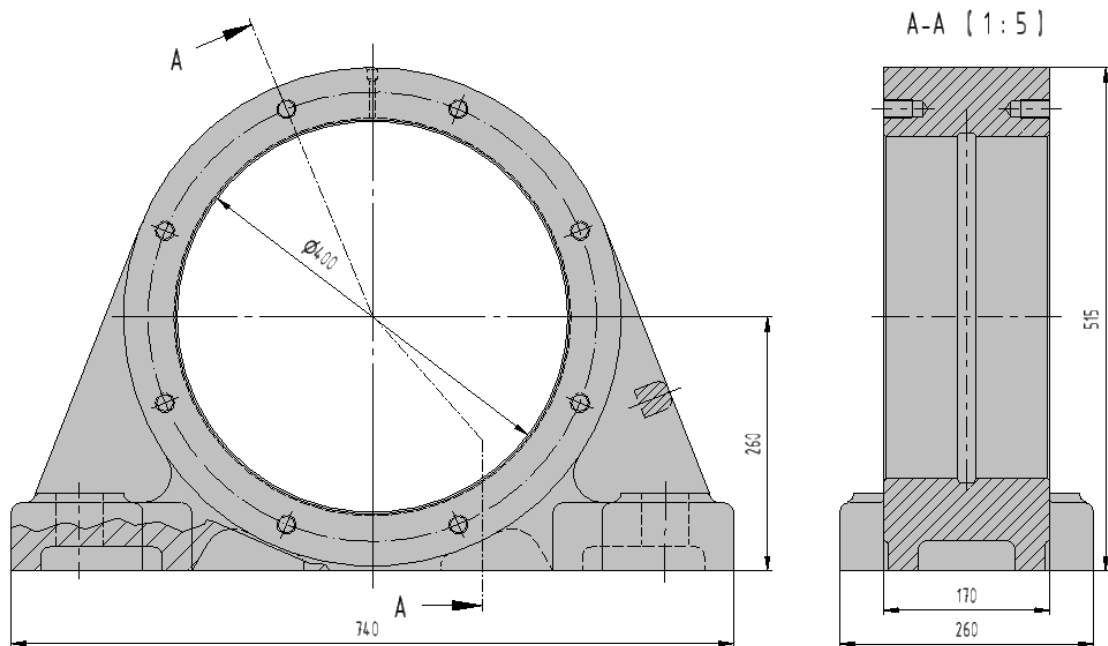
V první řadě musíme zhotovit výkres odlitku pro tvorbu dřevěného modelu. Jako podklad slouží právě výrobní výkres a musí mít tyto náležitosti:

- Zobrazení v odlévací poloze.
- Přídavky na obrábění a rozměry předlitých děr.
- Zakótování konstrukčních úkosů, technologických úkosů a zaoblení.
- Předepsání celkové drsnosti (použijeme značku pro neobrobené plochy).
- Vyznačení místa pro dělicí rovinu a pro označení odlitku (dělicí rovina se označí plnou tlustou čarou s křížkem).
- Název je stejný jako u hotové součásti, do závorky za název se uvede odlitek.
- Pokud je účelné do tvaru odlitku zakreslit obrys hotové součásti, nakreslí se čerchovanou čarou se dvěma tečkami.

Výrobní výkres BP-1/A3 a výkres odlitku BP-2/A3 v příloze.

6 SOUČÁST TĚLESA LOŽISKA

Součást tělesa ložiska vyrobená ve slévárně Hamag spol. s.r.o. bude sloužit jako podpěra hřídele. Uvnitř odlitku se bude nacházet ložisko s vnějším průměrem 400 mm. Hmotnost po obrábění bude 200 kg.



Obr.10. Nákres s hlavními rozměry

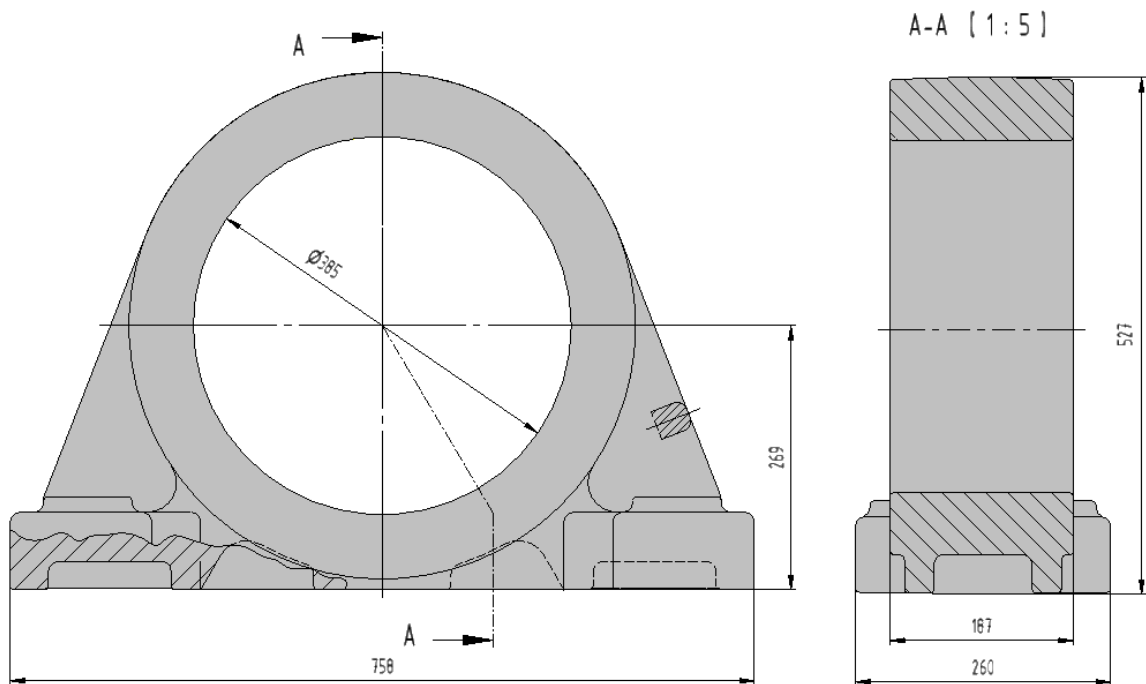
7 POSTUP VÝROBY DANÉ SOUČÁSTI ODLÉVÁNÍM

Přehled operací pro výrobu součásti.

- 1) Zpracování informací od zákazníka.
 - a) Tvorba výrobního výkresu.
- 2) Návrh odlitku.
 - a) Tvorba výkresu odlitku.
- 3) Modelové zařízení.
 - a) Výroba dřevěného modelu.
 - b) Výroba jaderníků.
- 4) Výroba pískové formy a jader.
 - a) Zaformování modelu do pískové formy.
 - b) Výroba jader.
 - c) Sestavení formy.
- 5) Odlévání.
 - a) Příprava kovu v indukční peci.
 - b) Přenos kovu k formě.
 - c) Odlévání součásti.
 - d) Vychladnutí odlitku.
- 6) Úpravy odlitku.
 - a) Oddělení odlitku od pískové formy.
 - b) Očištění od písku.
 - c) Upálení vtokové soustavy a nálitků.
 - d) Tryskání.
 - e) Kontrola povrchu.
 - f) Žíhání.
 - g) Tryskání.
 - h) Broušení.
 - i) Obrábění.
- 7) Expedice.

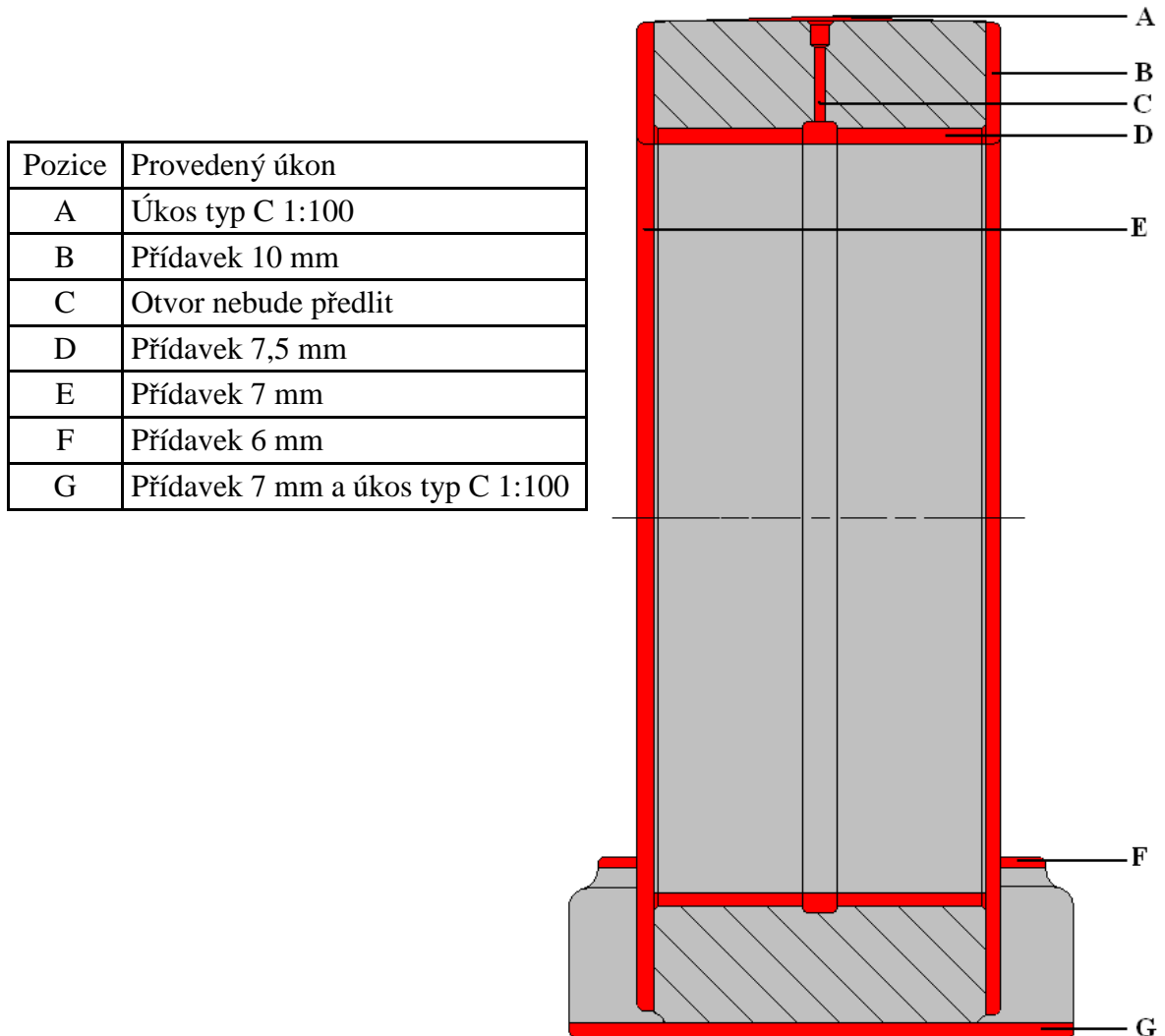
8 ODLITEK TĚLESA LOŽISKA

Při zhotovování výkresu odlitku musíme respektovat technologické zásady při navrhování odlitku (teoreticky řešeno v kapitole 3.2). Plochy, které se budou obrábět po odlévání, musíme opatřit přídávky na obrábění. Přídávky se řídí normou ČSN 014980. Plochy kolmé k dělicí rovině musíme opatřit úkosy. Na tělese ložiska jsou použitý úkosy typu C (tab.4). Předlité otvory zhotovíme pomocí jader, a to vnitřní průměr 400 mm a dvě spodní zahloubení. Otvory pro připevnění krytu ložiska, otvor pro uchycení součásti a otvor pro mazání se nebudou předlévat z důvodu jejich malých rozměrů. Vyrobit se až při celkovém obrábění. Dělicí rovina bude jednoduchá a probíhat bude středem řezu A-A (obr.11). Všechny hrany na odlitku musí být zaobleny. Ty, které nejsou předepsané výrobním výkresem, budou zaobleny $R=10$ mm. Výfuky jsou na odlitku řešeny podobou exotermických náliťků, kudy se vypaří plyny vzniklé při odlévání



Obr.11. Nákres odlitku s hlavními rozměry a hrubý odlitek

Na obrázku 12 je praktická ukázka návrhu odlitku. K pozicím na obrázku je přidělený provedený úkon. Technologické zásady (úkosy, přídavky, atd.) byly stanoveny ze zkušeností technologa, ale i s ohledem na příslušné normy.



Obr.12. Navržený odlitek

9 DŘEVĚNÝ MODEL

9.1 Volba materiálu

Nejdůležitější je u modelu správná volba materiálu. Model i jaderníky (obr.14) se budou vyrábět ze smrkového dřeva. Důvodem pro volbu tohoto materiálu byly jeho mechanické vlastnosti, dostupnost a cena.

Vlastnosti smrkového dřeva:

Tab.7. Vlastnosti dřeva

Hustota	$0,33 - 0,67 \frac{g}{cm^3}$ (při 12%ní vlhkosti dřeva).
Tvrдость	Podle Brinella při 15% vlhkosti ve směru vláken je 3,2 kolmo k vláknům 1,2.
Pevnost	V ohybu při 15%ní vlhkosti je $660 \frac{kp}{cm^2}$, pevnost v rázu 0,1-1,1 $\frac{kpm}{cm^3}$.
Požítí	Vhodné pro výrobu modelů všech velikostí i složitostí, používá se i pro výrobu dodatkových vybavení modelů.
Barva dřeva a vlastnosti	Lehké žluto-bílé dřevo bez zřetelného jádra s ostře vyznačenými letokruhy. Velmi pružné, pevné a snadno štípatelné.
Mechanické zpracování	Dobře se obrábí (lépe se frézuje, než soustruží).

9.2 Konstrukce modelu a jaderníků

U modelů musíme počítat se smrštěním po zchladnutí odlitků. U tělesa ložiska hodnota smrštění činí 2%, o tuto hodnotu se musí zvětšit rozměry dřevěného modelu a jaderníky. Model patří do III. jakostní třídy modelů.

Model musí splňovat pevnostní podmínky, stálost rozměrů a tvarů a dostatečnou povrchovou odolnost proti odírání pískem nebo pěstovacími nástroji. Uvedeným požadavkům na model nevyhoví plně jen vlastnosti dřeva. Modely se musí konstruovat tak, aby se co nejvíce potlačily přirozené nepříznivé vlastnosti dřeva.

Model (obr.13) pro těleso ložiska bude dělený dutý se třemi jádry, z toho dvě jsou shodná. Model i jaderníky se nevyrábí z jednoho kusu materiálu, ale skládají se z několika dílů. Menší díly jsou sklíženy a následně přilepeny nebo přišroubovány k větším dílům, dokud se neposkládá celý model. Obdobný postup se aplikuje i na jaderníky. Jaderníky se musí opatřit rybinovým kováním pro sepnutí obou půlek k sobě. Důvod výroby dělených jaderníků je lepší vyjímání jader z formy.

Po dokončení se musí model ošetřit proti poškození. Nanese se ochranná barva, která musí být podle normy ČSN 1121-1932. Protože odlitek bude vyroben z oceli, použije se barva modrá.



Obr.13. Otevřený dřevěný model



Obr.14. Dřevěný model a jaderníky

10 VÝROBA PÍSKOVÉ FORMY A JADER

10.1 Formovací látky

10.1.1 Výroba písků

Při formování budeme potřebovat tři druhy písku - dva modelové a jeden výplňový. Modelové písky se budou míchat v kolovém mísiči (obr.15). Nutné je dodržení předepsaného postupu pro míchání.

U modelového písku na formu je pořadí jednotlivých složek, které se vkládají do mísiče dáno:

1. Křemičitý písek.
2. Bentonit.
3. Dextrin.
4. Voda.

Směs mícháme po dobu 10 minut. Sodu nebudeme používat z důvodu už aktivovaného bentonitu. Životnost směsi je 48 hodin po smíchání.

Modelový písek na jádra se bude míchat v pořadí:

1. Křemičitý písek.
2. Voda.
3. Hydroxid sodný (NaOH).
4. Bentonit.
5. Vodní sklo.

Po vyndání jádra z jaderníku na něj musíme aplikovat postřík. Složky postříku se budou míchat v daném pořadí a množství: sulfitový výluh (54 l), voda (103 l), hydroxid sodný (3 l), disapol (40 l). Pořadí se musí dodržet, jinak hrozí sražení směsi. Sulfit je nutno rozředit vodou, přidat NaOH tolik, aby pH roztoku bylo nejméně 8,5. Pak se za stálého míchání přidá disapol. Postřík je nutno připravovat vždy do vyčistění nádoby.

Po vyjmutí odlitku z netrvalé formy z hlediska hospodárnosti je nezbytné upotřebit formovací směs i v dalším procesu formování. Je však nutné ji regenerovat. Úprava vratného písku zahrnuje: drcení spečených hrudek, odlučování kovových částí, prosévání a chlazení. Z vratného písku vyrobíme výplňový písek suchou regenerací. Zrna

písku se otírají o sebe v proudu vzduchu a následným nárazem do překážky se odstraní pomocné látky zbylé z předešlé směsi.

10.1.2 Směs na formu

Tab.8. Směs písku na formu

Složení:	%	Dávka [kg]
Písek 0,36 (0,32)	92,65	675
Bentonit	6,5 – 7,5	47 – 65
Soda	0,28	1,4 – 1,9
Dextrin	0,2	1,5
Voda	dle potřeby	
Postup míchání:	mísič MK3 – písek + bentonit + soda + dextrin + voda 8 -10 min.	
Technologické vlastnosti:	vlhkost	3,1 – 3.6 %
	váznost	53 – 65 kPa (dextrin)
	prodyšnost	250 – 500 n.j.p.
Použití	Formy pro odlitky o váze do 300 kg vyráběné ručně, nebo na pískometné lince tvrdost límce formy 80-90 GF.	
Povrchová úprava	Postřík 4,5 S a D min. 1 hod. stání na vzduchu.	
Odlévání	Do 12 hodin po složení formy.	
Poznámka	Pro přípravu směsi používat kombinaci suchého a mokrého pís- ku tak, aby výsledná vlhkost odpovídala technologické hodnotě.	



Obr.15. Kolový mísič

10.1.3 Směs na jádra

Tab.9. Směs písku na jádra

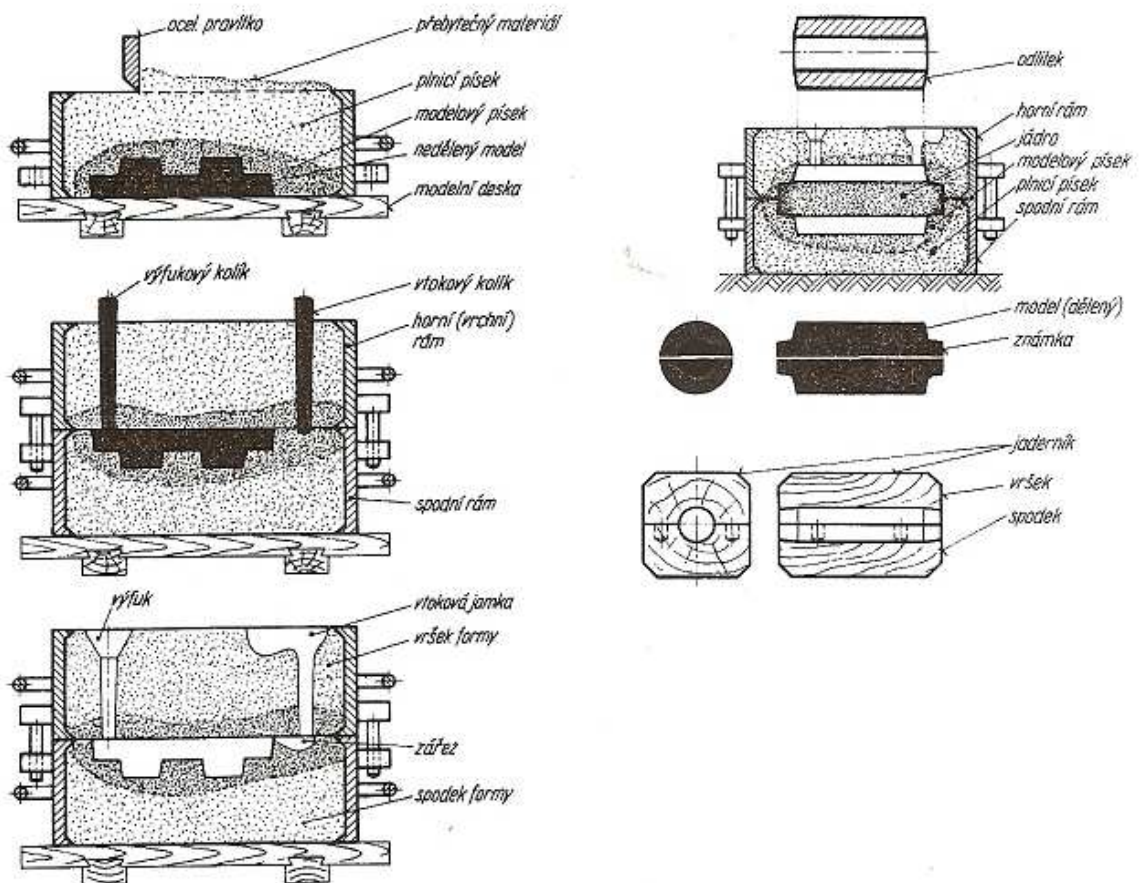
Složení	%	Dávka [kg]
Písek 0,36 (0,32)	91,1	900
Bentonit 750	2,5 – 3,5	25 – 36
NaOH (40%)	0 – 0,2	0 – 2
Vodní sklo 50-52 Be	5,6 – 6,2	36 – 41
Voda	dle potřeby	
Postup míchání	mísič MK3 – písek + voda + bentonit 2min. + vodní sklo 8 -10 min.	
Technologické vlastnosti	vlhkost	3,5 – 4,0 %
	váznost	20 – 25 kPa (dextrin)
	prodyšnost	200 – 500 n.j.p.
	pevnost (CO ₂)	1,2 MPa
Použití	Formy eventuálně jádra pro odlitky o váze do 100 - 300 kg.	
Povrchová úprava	Postřík 4,6 (4,5), nátěr (4,9 – 4,1).	
Vytvrzování	Stání na vzduchu 24 – 72 hodin případně přisoušení.	
Odlévání	Do 12 hodin po složení formy.	
Poznámka	Směs nutno po namíchání nechat 2 – 4 hod. odležet.	

10.2 Výroba pískové formy

Při výrobě pískové formy budeme vycházet z následujícího postupu (obr.16):

1. Na modelovou desku se usadí spodní polovina modelu a spodní polovina rámu. Povrch modelu se popráší dělicím práškem, do rámu se přeseje sítem modelový písek a dobře se upěchuje k modelu. Zbývající prostor v rámu se vyplní výplňovým pískem. Podle potřeby se forma odvzdušní napíchnáním průduchů téměř k modelu nebo až k modelu. Tím je zaformovaná spodní polovina modelu.
2. Rám i s modelem se otočí o 180°, dělicí rovina se vyfouká stlačeným vzduchem z důvodu očištění.

3. Nasadí se druhá polovina modelu, ustaví se vtoková soustava a exotermické nálitky. Na dolní rám se nasadí horní rám a oba se proti sobě zajistí pomocí zaváděcích kolíků. Dělicí rovina se posype dělicím práškem.
4. Zaformování horního rámu – stejný postup jako u spodního.
5. Rozebrání formy a vyjmutí modelového zařízení. Po vyjmutí modelu se upraví poškozené části, případně se zpevní pískovačky. Dutina formy se posype grafitem. Forma na vysušení se vysuší. Vyfoukání vzduchem nečistot a založení jader.
6. Složení slévárenské formy – složit a zabezpečit proti vzlaku kovu svěrkami. Forma je připravena k lití.



Obr.16. Postup formování [8]

10.3 Výroba jader

Postup výroby jádra:

1. Sevřený jaderník (obr.17 a 18) se postaví na modelovou desku.
2. Do jaderníku se sype písek a pěchuje se. Konec se zarovná kovovým pravítkem.
3. Vodní sklo se musí vytvrdit účinkem CO₂, přiložíme zvon a nechá se proudit plyn skrz jaderník.
4. Po upěchování a vytvrzení se jaderník rozdělá, jádro vyjme.
5. Jádro se nechá vysušit.
6. Aplikujeme postřík a následně zapálíme. Po zchladnutí můžeme vložit do formy.



Obr.17. Jaderník



Obr.18. Jaderník

11 ODLÉVÁNÍ

Odlévání je plnění formy taveninou, které zajišťuje především správně vyřešená vtoková soustava. Vtoková soustava je soustava kanálů, jimiž protéká tekutý kov do dutiny formy.

11.1 Materiál

11.1.1 Volba materiálu

Těleso ložiska budeme zhotovovat z ocelolitinu ČSN 422650.5 (ekvivalent oceli GS-52.5). Mechanické vlastnosti a chemické složení nalezneme v tabulce 10.

Tab.10. Vlastnosti a složení kovu

Označení		Mechanické vlastnosti				
Norma	Značka	Mez kluzu Re (MPa)	Pevnost v tahu Rm	Tažnost As %	Tvrдость HB	Kontrakce Z %
ČSN 422650	422650	260	500 – 600	20	145 – 185	23
Značka	Chemické složení					
	C	Si	Mn	P ≤	S ≤	P+S ≤
422650	0,28 – 0,38	0,2 – 0,5	0,4- 0,8	0,05	0,05	0,09

11.1.2 Tavicí pec

Tavení bude probíhat ve středofrekvenční indukční peci (obr.19). Parametry pece 500Hz/1500V, max. proud 200A, příkon 260 kW.



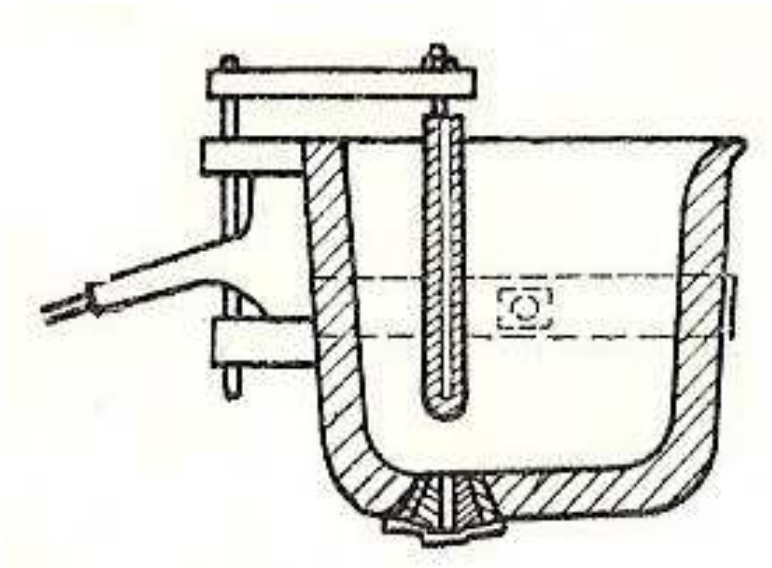
Obr.19. Indukční pec

11.1.3 Licí pánve

Odlévací pánve nebo pánve na kovy jsou ocelové nádoby (obr.20 a 21), vyložené žáruvzdornou obvykle šamotovou vyzdívkou nebo výduskou a slouží k dopravě a lití roztaveného kovu. Jejich provedení a použití se řídí normou. Objem používané pánve je 800 kg kovu.



Obr.20. Vypalování licí pánve



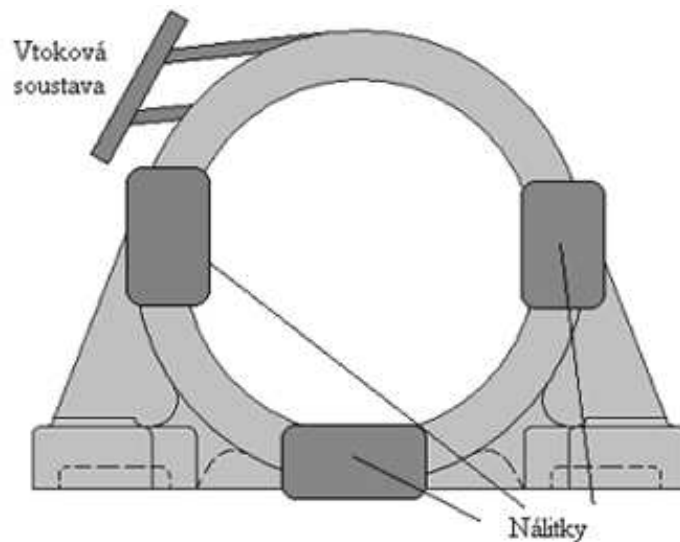
Obr.21. Schéma licí pánve

11.2 Vtoková soustava a nálitky

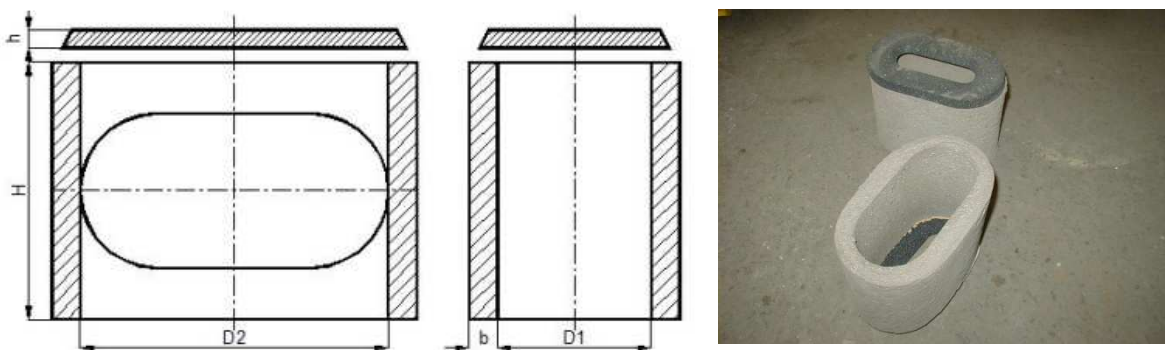
Přívod roztaveného kovu do dutiny formy nám umožní vtoková soustava. Její vlastnosti a náležitosti jsou uvedeny v teoretické části v kapitole 3.4. Vtokovou soustavu musíme umístit tangenciálně, aby nedošlo k vymílání písku, který by mohl zapříčinit vady na odlitku. Průměr vtokového kanálu je 40 mm a průměr struskováku 26 mm.

Nutností na odlitku jsou nálitky (obr.23), jejich funkce a vlastnosti jsou uvedeny v teoretické části v kapitole 3.5. Na odlitku použijeme tři exotermické nálitky od firmy H.A.Kovochem.

Umístění vtokové soustavy a nálitků je ukázáno na obrázku 22.



Obr.22. Schematický obrázek umístění vtokové soustavy a nálitků



D_1	D_2	b	H	h
100 mm	200 mm	20 mm	200 mm	20 mm

Obr.23. Exotermické nálitky

11.3 Postup lití do pískové formy

Po roztavení všech přísad v indukční peci se zkontroluje teplota v peci ponorným čidlem na bázi termočlátku. Ideální teplota by měla být 1620-1640°C. Pomocí kovové tyče se stáhne struska z hladiny pece (obr.24). Tavenina se přelije z pece do licí pánve, která je zavěšena na jeřábu (obr.25 levý) a pomocí jeřábu se licí pánve přemístí k formám, kde proběhne lití do forem při teplotě taveniny cca o 60°C nižší než u přelévání do licí pánve (obr.25 pravý).



Obr.24. Stáhnutí strusky z pece



Obr.25. Přelévání taveniny do licí pánve (levý) a odlévání (pravý)

12 ČIŠTĚNÍ A ÚPRAVY ODLITKU

Uvolněním a vyjmutím surového odlitku z formy je zahájen poslední úsek jeho výroby (čištění a úprava). Čištění je odstranění formovacích směsí z dutin i z povrchu odlitku. Úprava je odstranění přebytečného materiálu vtoků, nálitků, zateklin a jiných slévarenských vad.

Technologický postup úpravy:

1. Odstranění odlitku z formy na vibračním stole → surový odlitek.
2. Očištění odlitku od písku.
3. Upálení vtokové soustavy a nálitků → hrubý odlitek.
4. Tryskání.
5. Kontrola povrchu (pokud jsou vady odlitek se zavaří).
6. Žhání.
7. Tryskání.
8. Broušení.
9. Obrábění.

12.1 Chladnutí a vyjmutí odlitku z formy

Abychom mohli odlitek vyjmout z formy, musí se nechat kov zchladnout ve formě po dobu asi 20 hodin po odlití. Odlitek se odstraní z formy na vibračním stole (obr.26), kam přeneseme jeřábem celou formu. Tady se vibracemi docílí oddělení odlitku z formy.



Obr.26. Vibrační stůl

12.2 Odstranění jader a písku

Z vibračního stolu se surový odlitek přemístí na pracoviště na očištění od zbylého písku. Nejprve se odstraní jadra a písek (obr.27) ručně pneumatickou zbjíječkou. Po této operaci se nechá odlitek otryskat v tryskači (obr.28). Kde se do otáčejícího bubnu vloží odlitky a na povrch dopadají litinové broky č. 18L G66 Ø cca 1,2mm.



Obr.27. Vytlučený odlitek z formy



Obr.28. Tryskač VS3

12.3 Odstranění vtokové soustavy a nálitků

Na odstranění vtokové soustavy a nálitků se surový odlitek přesune na pracoviště s acetylenovým hořákem, pomocí kterého odstraníme přebytečný materiál (obr.29). Volíme hubici číslo 4 (viz. tab. 6). Z důvodu rozměrnosti odlitku nemůžeme použít pro odstranění odřezání pilovým kotoučem.



Obr.29. Upálení vtokové soustavy a nálitků



Obr.30. Hrubý odlitek

12.4 Žíhání

Odlitek se musí tepelně zpracovat z důvodu zlepšení struktury a mechanických vlastností materiálu. Z těchto důvodů volíme normalizační žíhání. Výsledkem bude zjemnění zrna a vytvoření rovnoměrné struktury (perliticko-feritická) s příznivými mechanickými vlastnostmi. Žíhání se provádí v koksové peci (obr.31), kde teplota stoupá na 900°C a následuje výdrž na této teplotě po dobu 5 hodin. Po uplynutí se pec otevře na 30 minut, aby odlitek dostal tepelný šok a opět se pec uzavře. Zde budou odlitky chladnout na teplotu cca 350°C.



Obr.31. Žíhací pec

12.5 Broušení

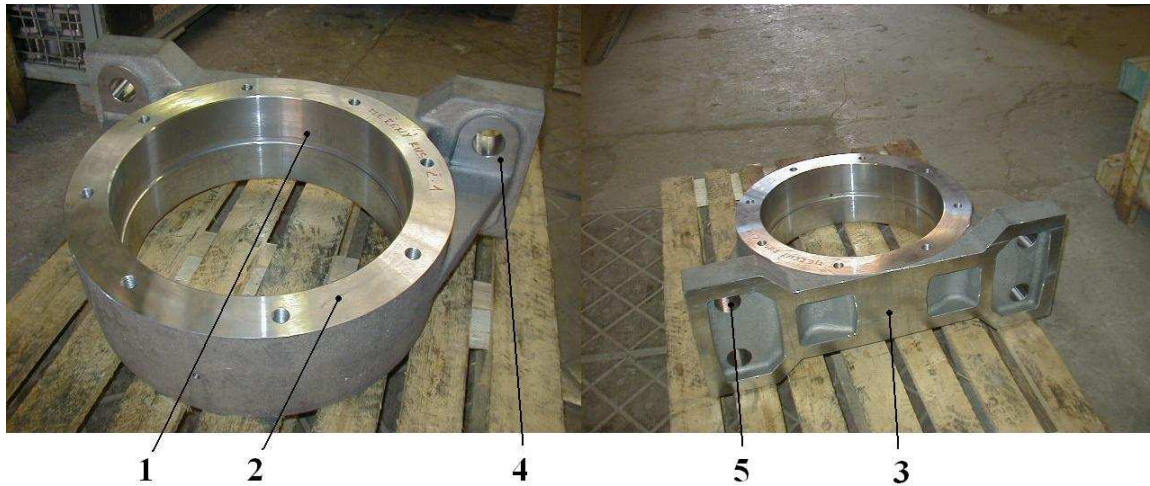
Hrubý odlitek se přesune do brusírny. Brusič pomocí úhlové brusky odstraní hrubé stopy po řezání od acetylenového hořáku. Hrubý povrch by znesnadnil následné obrábění. Kotouč dle tabulky 11.

Tab.11. Broušící kotouč

Broušený materiál	Materiál kotouče	Pojivo	Zrnitost	Tvrдость kotouče
měkká ocel	korund	keramické	16 – 24	tvrdý až středně tvrdý

12.6 Obrábění

Konečnou operací bude obrábění odlitku (obr.32). Plochy, které jsou funkční, se nechají obrobit. U tělesa ložiska je to vnitřní průměr (1) s bočními mezikružními (2), podstava odlitku (3), plochy pro dosednutí pro šrouby (4) a dotvory pro ně (5). Obrábět se bude na číslicově řízených CNC strojích (karusel a frézka). Obrobené plochy je také možno vidět na výrobním výkrese viz. příloha.



Obr.32. Obrobený odlitek

13 MOŽNÉ VADY ODLITKU

Vadou odlitku je každá odchylka tvaru, rozměru, hmotnosti, vzhledu, struktury, chemického složení a mechanických či fyzikálních vlastností odlitku od příslušné normy nebo sjednaných podmínek.

Hlavní rozdělení vad je na zjevné (zjistitelné pouhým okem) a skryté (zjistitelné při použití vhodné metody nebo přístrojů).

Podle míry znehodnocení odlitku a možnosti opravy jsou rozlišovány vady:

- Přípustné – normy nebo sjednané podmínky připustí bez nutnosti opravy.
- Opravitelné – normy opravy vhodným způsobem povolují nebo nezakazují.
- Odstranitelné – odstranění je možné jen zvláštními úpravami (např. vypouzdřením, tepelným zpracováním).
- Neodstranitelné – jejich výskyt a případnou opravu normy nedovolují.

Norma ČSN 421240 rozděluje vady odlitků do sedmi skupin. Jednotlivé vady jsou označeny dvoumístným číslem, kde první číslice udává skupinu vad a druhá rozlišuje vady v příslušné skupině.

13.1 Druhy vad

Ukázky možných vad odlitku, které mohou vzniknout na tělese ložiska.

13.1.1 Přesazení

Přesazení odlitku (obr.33) může vzniknout při vadném modelovacím zařízení, při vadných rámech, nesprávně složené formě a při posunutí části formy rázem.



Obr.33. Přesazený odlitek

13.1.2 Nezaběhnutí

Nezaběhnutí (obr.34) je neúplné vytvoření tvaru odlitku vlivem nedostatečného vyplnění formy tekutým kovem. Důvodem vzniku mohou být: nízká licí teplota, malá licí rychlost, nevhodné zaústění vtokové soustavy a neodvzdušněná forma.



Obr.34. Nezaběhnutý odlitek

13.1.3 Bubliny

Bubliny (obr.35) mohou být povrchové nebo vnitřní s hladkým povrchem. Důvodem vzniku bublin může být: nedostatečné odplynění nebo desoxidace kovu, nevysušené licí zařízení, formovací směs s vysokým vývinem plynů, špatné odplynění formy nebo jader, vlhká nebo zoxidovaná chladítka a opomenutí výfuků a průduchů.



Obr.35. Bubliny na odlitku

ZÁVĚR

Cíle stanovené pro bakalářskou práci byly splněny. Věnoval jsem se teoretické studii z oboru slévárenství. Prakticky jsem řešil výkresovou dokumentaci, která byla podkladem pro návrh dřevěného modelu. Zaformováním dřevěného modelu vznikla dutina formy, která byla zalita tekutým kovem. Po všech následujících nutných operacích, tj. od vyjmutí z formy, čištění, odstranění přebytečného kovu, žíhání, broušení a konečné obrábění na požadované rozměry, vznikl konečný produkt - těleso ložiska.

Tato bakalářská práce, které jsem se věnoval několik měsíců, splnila to, co jsem od ní očekával. Získal jsem přímo z praxe přehled, jak vzniká nový odlitek od počátečního návrhu až po jeho konečnou úpravu. Měl jsem možnost vidět práci zaměstnanců přímo ve slévárně, což se každému určitě nepodaří. Tato zkušenost mě také doplnila poznatky, které se určitě pokaždé nenajdou v knihách a učebnicích.

Strojírenský obor je náročný na přesnost a dokonalost každého odlitku, protože jen tak může být dokonalý a bezchybný konečný výsledek.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NOVOTNÝ J., ŠANOVEC J., *Technologie I*, České vysoké učení technické v Praze, Nakladatelství ČVUT 2006, ISBN80-01-02351-6
- [2] BERNÁŠEK V., HOREJŠ J. *Technologie slévání*, upr.vyd.Plzeň:západočeská univerzita, 2006 .s. 175.ISBN80-7043-491-0
- [3] BEDNÁŘ B., *Technologičnost konstrukce odlitků*.Vyd.1.Ústí nad Labem: UJEP, ÚTŘV,2004.s.101.ISBN80-7044-614-5
- [4] Plachý J., *Teorie slévání*.Vyd.4.Praha:VydavatelstvíČVUT,2002,164s., ISBN80-01-02471-7
- [5] CHAKRABARTI A.K., *Casting Technology and Cast Alloys*.New Delhi.Prentice. 2005.ISBN81-203-2779-9
- [6] LUKOVICS I., *Konstrukční materiály a technologie*.VUT,Brno, 1992. ISBN8021403993
- [7] KROPÁČ,JAGOŠ,MÁLEK,VONDRÁČEK, *Modelářství*;Státní nakladatelství technické literatury1965
- [8] PÍŠEK,PLEŠINGER, *SlévárenstvíII*;Nakladatelství technické literatury;Praha 1975

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr.1. Mechanismus vzniku staženin [1]</i>	18
<i>Obr.2. Vznik pnutí a deformací [1]</i>	21
<i>Obr.3. Výroba skořepinových forem a jader [1]</i>	24
<i>Obr.4. Postup lití metodou vytavitelného modelu [1]</i>	26
<i>Obr.5. Lití metodou spalitelného modelu [1]</i>	27
<i>Obr.6. Odstředivé lití s vodorovnou a svislou osou rotace [1]</i>	28
<i>Obr.7. Odstředivé lití [1]</i>	29
<i>Obr.8. Způsoby strojního formování [8]</i>	34
<i>Obr.9. Vtoková soustava [8]</i>	35
<i>Obr.10. Náskres s hlavními rozměry</i>	42
<i>Obr.11. Náskres odlitku s hlavními rozměry a hrubý odlitek</i>	44
<i>Obr.12. Navržený odlitek</i>	45
<i>Obr.13. Otevřený dřevěný model</i>	47
<i>Obr.14. Dřevěný model a jaderníky</i>	47
<i>Obr.15. Kolový mísič</i>	49
<i>Obr.16. Postup formování [8]</i>	51
<i>Obr.17. Jaderník</i>	52
<i>Obr.18. Jaderník</i>	52
<i>Obr.19. Indukční pec</i>	53
<i>Obr.20. Vypalování licí pánve</i>	54
<i>Obr.21. Schéma licí pánve</i>	54
<i>Obr.22. Schematický obrázek umístění vtokové soustavy a nálitků</i>	55
<i>Obr.23. Exotermické nálitky</i>	55
<i>Obr.24. Stáhnutí strusky z pece</i>	56
<i>Obr.25. Přelévání taveniny do licí pánve (levý) a odlévání (pravý)</i>	56
<i>Obr.26. Vibrační stůl</i>	57
<i>Obr.27. Vytlučení odlitku z formy</i>	58
<i>Obr.28. Tryskač VS3</i>	58
<i>Obr.29. Upálení vtokové soustavy a nálitků</i>	59
<i>Obr.30. Hrubý odlitek</i>	59
<i>Obr.31. Žíhací pec</i>	60
<i>Obr.32. Obrobený odlitek</i>	61

<i>Obr.33. Přesazený odlitek.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr.34. Nezaběhnutý odlitek</i>	<i>63</i>
<i>Obr.35. Bubliny na odlitku</i>	<i>63</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab.1. Teploty tavení a teoretická spotřeba tepla k roztavení kovů [1].....</i>	15
<i>Tab.2. Doporučené licí teploty slévárenských slitin [1]</i>	16
<i>Tab.3. Poměrná velikost staženin a lineární smrštění odlitků [1]</i>	19
<i>Tab.4. Tabulka úkosů [2]</i>	31
<i>Tab.5. Barvy dřevěných modelů [2].....</i>	32
<i>Tab.6. Parametry pro volbu plamene [8]</i>	37
<i>Tab.7. Vlastnosti dřeva</i>	46
<i>Tab.8. Směs písku na formu</i>	49
<i>Tab.9. Směs písku na jádra</i>	50
<i>Tab.10. Vlastnosti a složení kovu.....</i>	53
<i>Tab.11. Broušící kotouč</i>	60

SEZNAM PŘÍLOH

Výkres obrobene součásti	BP-1/A3
Výkres odlitku.....	BP-2/A3
Výkres 3D modelu obrobene součásti	BP-3/A3