Příprava prototypů technologií odlévání

Ondřej Konopka

Bakalářská práce
2012

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Ondřej KONOPKA**
Osobní číslo:	**T090643**
Studijní program:	**B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Technologická zařízení**
Téma práce:	**Příprava prototypů technologií odlévání**

Zásady pro vypracování:

1. **Teoretická studie na dané téma**
2. **Konstrukce modelu pro odlévání v CAD software**
3. **Výroba modelu pomocí technologie Rapid Prototyping**
4. **Příprava formy, zaformování a výroba odlitku**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Bernášek, V. Technologie slévání. 3., upr.vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2006. s.175. ISB 80-7043-491-0
Bednář, B. Technologičnost konstrukce odlitků. Vyd. 1.Ústí nad Labem: UJEP, ÚTŘV, 2004.S.101. ISB 80-7044-614-5
Plachý, J.Teorie slévání. Vyd.4.Praha:Vydavatelství ČVUT,2002,164 s.ISB 80-01-02471-7
Chakrabarti, A.K.Casting Technology and Cast Alloys. New Delhi. Prentice. 2005.ISB 81-203-2779-9
Lukovics, 1.Konstrukční materiály a technologie. VUT, Brno, 1992. ISB 8021403993

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**

Ve Zlíně dne 9. února 2012

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Ondřej Konopka Obor: Technologická zařízení

P R O H L Á Š E N Í

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 vzdělávacího 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 této práce je navrhnout a na tomto základě vyrobit slévarenský model pomocí technologie rapid prototyping. Ze slévárenského modelu vytvořit formu. Do formy odlít epoxidovou pryskyřici a získat tak odlitek. Slévárenská technologie je rozebrána v teoretické části.

Klíčová slova: Odlitek, Slévárenský model, Rapid prototyping

ABSTRACT

The aim of this work is to design and to produce a casting pattern using a rapid prototyping. From the casting pattern a mold is created. Into the mold cast the epoxy is cast and after cooling the casting is removed. Casting technology is described in the theoretical part.

Keywords: Casting, Casting pattern, Rapid Prototyping

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

Děkuji Ing. Ondřeji Bílkovi Ph.D. za jeho pomoc a ochotu při vypracování této práce.

OBSAH

ÚVOD **10**

I TEORETICKÁ ČÁST **11**

1 TECHNOLOGIE SLÉVÁNÍ **12**

2 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE ODLITKŮ **13**

2.1 ZÁSADY PRO USNADNĚNÍ VÝROBY MODELOVÉHO ZAŘÍZENÍ, FOREM A JADER 14

2.1.1 Tvar odlitku 14

2.1.2 Dělení modelu a forem 15

2.1.3 Úkosy 16

2.1.4 Dutiny 17

2.1.5 Otvory ve stěnách 19

2.1.6 Zaoblení hran odlitků 19

2.2 ZÁSADY KONSTRUKCE ODLITKŮ S OHLEDEM NA PLNĚNÍ FORMY 20

2.3 ZÁSADY KONSTRUKCE ODLITKŮ S OHLEDEM NA STAHOVÁNÍ PŘI TUHNUTÍ 20

2.4 ZÁSADY KONSTRUKCE S OHLEDEM NA SMRŠŤOVÁNÍ PŘI CHLADNUTÍ ODLITKŮ 22

3 VTOKOVÁ SOUSTAVA **23**

3.1 VTOKOVÁ JAMKA, NÁLEVKA 23

3.2 VTOKOVÝ KANÁL 24

3.3 ROZVÁDĚCÍ KANÁL, ODSTRUSKOVAČ 25

3.4 VTOKOVÉ ZÁŘEZY 26

4 FORMOVACÍ MATERIÁLY **27**

4.1 FORMOVACÍ MATERIÁL 27

4.1.1 Ostřiva formovacích směsí 28

4.1.2 Pojiva formovacích směsí 28

4.1.3 Pomocné látky 30

5 MODELOVÉ ZAŘÍZENÍ **31**

5.1 MODELOVÉ ZAŘÍZENÍ PRO RUČNÍ FORMOVÁNÍ 31

5.2 MATERIÁLY PRO VÝROBU MODELŮ A JADERNÍKŮ 33

5.3 MODELOVÉ ZAŘÍZENÍ PRO STROJNÍ FORMOVÁNÍ 34

6 RAPID PROTOTYPING **36**

6.1 STEREOLITOGRAFIE 36

6.2 TECHNOLOGIE SLS – SELEKTIVNÍ SLINOVÁNÍ MATERIÁLU LASEREM 37

6.3 TECHNOLOGIE LOM – LOMENÍ VRSTEV 38

6.4 TECHNOLOGIE FDM – NANÁŠENÍ VRSTEV ROZTAVENÉHO MATERIÁLU 39

6.5 TECHNOLOGIE MJS – NANÁŠENÍ VRSTEV MATERIÁLU TRYSKOU 39

7 SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI **40**

II PRAKTICKÁ ČÁST **41**

8 NÁVRH A TVORBA VÝROBKU 42
8.1 NÁVRH A KONSTRUKCE VÝROBKU 42
8.2 POPIS PROGRAMU SOLID EDGE ST2 43
9 VÝROBA MODELU TECHNOLOGIÍ RAPID PROTOTYPING 44
9.1 POPIS 3D TISKÁRNY OBJECT 250 EDEN 44
9.2 SAMOTNÁ VÝROBA MODELU 45
9.3 ÚPRAVA MODELU PO TISKU 46
10 VÝROBA LUKOPRENOVÉ FORMY 48
10.1 POPIS LUKOPRENU N1522 48
10.2 VÝROBA LUKOPRENOVÝCH FOREM GRAVITAČNÍM LITÍ S VYUŽITÍM VAKUA 48
10.3 VÝROBA LUKOPRENOVÉ FORMY GRAVITAČNÍM LITÍM 50
11 ODLITÍ DO LUKOPRENOVÉ FORMY 51
11.1 POPIS EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE L285 51
11.2 ODLITÍ EPOXIDOVÉ PRYSKYŘICE DO FORMY 51
11.3 POROVNÁNÍ ROZMĚRŮ 54
12 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU 58
12.1 POPIS MĚŘÍCÍHO ZAŘÍZENÍ 58
12.2 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU 58
ZÁVĚR 61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 62
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 63
SEZNAM OBRÁZKŮ 64
SEZNAM TABULEK 66

ÚVOD

Slévárenství je jedna z netřískových technologií, výrobní odvětví, kde se zhotovují výrobky – odlitky litím roztaveného kovu, resp. Slitiny kovů do dutiny slévárenské formy. Po vyplnění slévárenské formy kovem a po jeho ztuhnutí získáme odlitek. Ze širšího metalurgického pohledu rozlišujeme slévárenství hutní a strojní.

Hutní slévárenství se provádí v ocelárnách. Hutní odlévání je základem výroby hutních polotovarů. To spočívá v odlévání taveniny požadovaných ocelí do tvarově jednoduchých kovových forem tzv. kokil. Získané odlitky se nazývají ingoty. Podle následného tvářecího procesu jsou ingoty buď pro válcovny nebo kovárny.

Strojní slévárenství představuje výrobu velmi členitých a tvarově složitých odlitků, které se vyznačují rádiusy a úkosy, mají široké uplatnění nejen v automobilovém průmyslu. Největší uplatnění slévárenské technologie lze však spatřovat při výrobě nejrůznějších strojních součástí.

Výroba odlitků je poměrně energeticky náročná týmová práce na které se podílí řada pracovníků odlišných profesí. Cílem jejich společné snahy je ekonomická výroba odlitků požadovaných tvarů, rozměrů, struktury a vlastností. Slévárenská výroba probíhá nejčastěji v samostatných výrobních závodech – slévárnách. Podle příslušné slévárenské technologie rozlišujeme např. slévárny šedé, tvárné litiny, slévárny tlakového, kokilového lití.

Výroba odlitků představuje složitý organizačně náročný výrobní cyklus, kde je nutné časové sladění jednotlivých operací. Před samotnou výrobou odlitků musí být připraveny: formovací rámy, modely, formovací směs, formovací zařízení a musí být v předstihu vyrobena jádra a celá výroba musí být zabezpečena dalším potřebným zařízením a vybavením včetně tavících pecí, vsázkových materiálů, pánví, dopravníků a mostových jeřábů. Dále je potřeba kontrolní laboratoř, včetně rychlých analyzačních metod odlitků. Slévárny, které svou výrobou odpovídají mezinárodním normám ISO 9000, 9001 atd. mají záruku výroby kvalitních odlitků. [4]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE SLÉVÁNÍ

Odlévání je způsob výroby součásti z kovů nebo jiných tavitelných materiálů, při kterém se tavenina vlije, popř. vtlačí do formy, jejíž dutina má tvar a velikost odlitku. Ztuhnutí taveniny ve formě vznikne odlitek. Odlitek je buď již hotový výrobek nebo polotovar, který se ještě dále mechanicky obrábí. Odléváním se vyrábějí většinou předměty složitého tvaru, které by se jinou technologií (např. kováním nebo obráběním) vyráběly jen s obtížemi. Hmotnost odlitků je v širokém rozmezí od několika gramů až po desítky tun.

Odlitky se odlévají ze šedé litiny (na temperovanou litinu), oceli na odlitky, slitin mědi, hliníku, hořčíku, zinku, některých plastů, skla apod. podle toho rozeznáváme slévárny šedé litiny, slévárny ocelí na odlitky, slévárny neželezných barevných kovů.

Technickým podkladem pro výrobu odlitku je výkres součásti. V oddělení přípravy výroby se zhotoví výkres polotovaru (odlitku), podle kterého modelárna vyrobí modelové zařízení. Pomocí tohoto zařízení se ve formovně zhotoví formy. Mají-li se v odlitku vytvořit dutiny, použijeme se k tomu jader, která se vyrábějí v jadernících nebo šablonami. Při kusové výrobě se vyrábějí formy ručně, při sériové se používá formovacích strojů. [6]

2 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE ODLITKŮ

Technologičnost konstrukce je široký pojem postihující komplexní souhrn požadavků,

které má splnit konstrukce dílu nebo celku pro zajištění funkční způsobilosti, požadované životnosti a spolehlivosti při maximální hospodárnosti výroby.

Obecně je možno shrnout hlavní požadavky na konstrukci z hlediska technologičnosti do následujících zásad:

- jednoduché kinematické schéma, jednoduchý tvar a nízký počet dílů
- vysoké využití materiálu (malý odpad, vhodné profily, odlehčení nezatěžovaných částí)
- nízká cena a spotřeba materiálu
- přizpůsobení konstrukce technologii výroby, která musí být volena s ohledem na předpokládaný objem výroby a požadovanou jakost
- nízký počet druhů materiálu (s ohledem na hospodaření s odpadem a recyklaci vyřazených výrobků a na skladování)
- využití hromadně vyráběných polotovarů a dílů (tyčí, profilů, trubek, plechů atd.)
- přihlédnutí k vlivu možných vad a odchylek
- využití tepelného a chemicko-tepelného zpracování
- jednoduchá, krátká a nenákladná příprava výroby
- co nejmenší počet a co nejnižší složitost operací
- co nejkratší doba a průběžný čas výroby a montáže
- co nejjednodušší manipulace a doprava
- co nejmenší potřeba výrobních a skladovacích ploch
- využívání dědičnosti (přebírání osvědčených dílů a konstrukčních prvků)
- využívání možností mechanizace a automatizace výroby
- nízká spotřeba surovin, energie, voda a maziv
- dobrá úroveň bezpečnosti a hygieny práce

- možnost výměny a renovace poškozených a opotřebených dílů
- minimální a nezávadný odpad a emise
- možnost nenáročné recyklace výrobků [2]

2.1 Zásady pro usnadnění výroby modelového zařízení, forem a jader

Úplný výčet jednoznačných pravidel pro konstrukci odlitků s ohledem na usnadnění výroby modelového zařízení, jader a forem nelze stanovit vzhledem k široké škále typů modelových zařízení a výrobních postupů, které se dnes ve slévárnách používají. Pro řadu z nich jsou charakteristické určité zvláštnosti. Některé zásady si také protiřečí, protože zjednodušení konstrukce modelového zařízení přináší často na druhé straně zvýšení pracnosti při výrobě forem a naopak. Proto v řadě případů vyžaduje hledání pracnosti optimálního řešení hlubokou znalost slévárenské technologie a podrobnou kalkulaci nákladů, při níž je nutno zvažovat i požadovanou jakost a předpokládaný objem výroby. Takovéto rozbory jsou samozřejmě nákladné, časově velmi náročné a vyžadují spolupráci řady odborníků. V první fázi návrhu odlitku je doporučováno vycházet z následujících zásad, které mají poměrně velmi širokou platnost. [2]

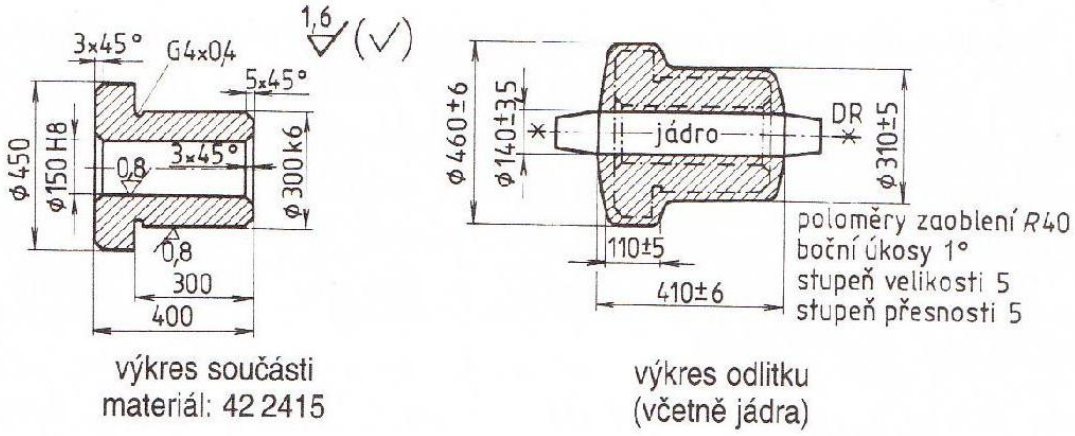
2.1.1 Tvar odlitku

Odlitek má být sjednocením pokud možno jednoduchých geometrických těles, kde převládají rovinné a válcovité plochy. Tam, kde však je tvarová složitost nezbytná pro zajištění funkce dílu, bývá dávána přednost získání požadovaného tvaru bez potřeby obrábění, pokud vyhovuje dosahovaná přesnost a drsnost povrchu odlitku.

Počet vystupujících a vpadlých částí na povrchu odlitku má být co nejmenší. Každá technologie výroby forem dává v tomto ohledu specifická omezení závislá především na dosahované pevnosti formy, ale i na orientaci výstupků ve formě.

Potřebné výstupky dutiny a žebra mají být orientovány kolmo k předpokládané dělící

rovině formy.



Obr. 1. Výkres součásti a odlitku [6]

Při volbě tvaru odlitku je třeba pamatovat na to, aby počet jader a dílů formy byl co možná nejmenší.

Potřebné výstupky a žebra mají mít co nejmenší výšku, co nejmenší poměr výšky k šířce a co největší vzdálenost mezi sebou navzájem. Podobně jako v případě výstupků jsou mezní hodnoty závislé na konkrétní technologii výroby forem.

Žebra musí být opatřena dostatečným úkosem (min 2 až 3 stupně) a orientována pokud možno kolmo na dělící plochu formy.

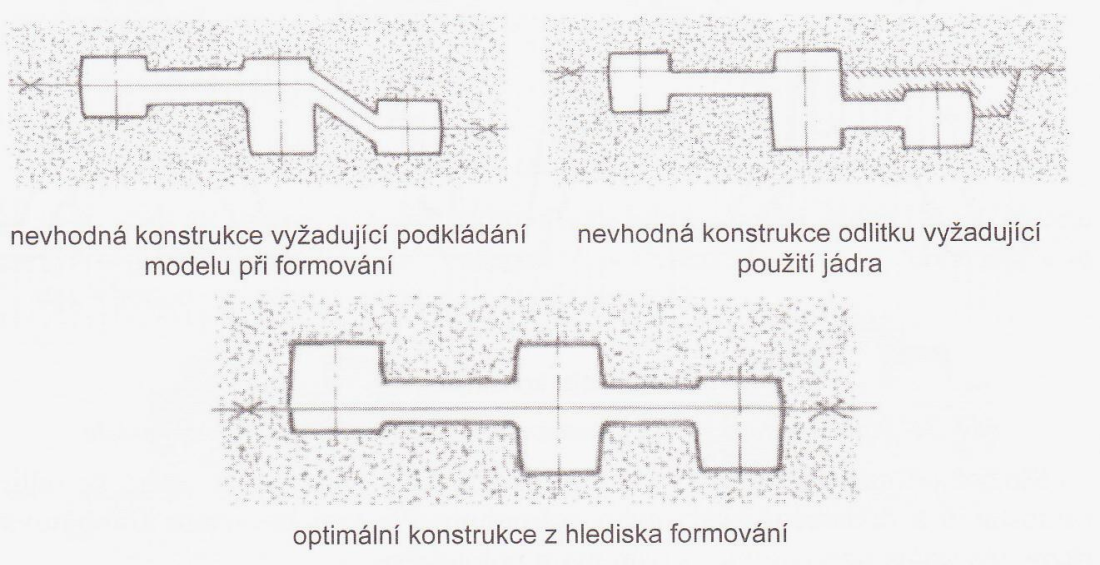
Tvar odlitku má umožňovat snadné vyjímání modelu z formy v dělící rovině. [2]

2.1.2 Dělení modelu a forem

Konstrukce odlitku má brát ohled na potřebu dělení formy. Dělící plochy modelu a formy mají být pokud možno rovinné. V opačném případě vzrůstají náklady na zhotovení

modelového zařízení i pracnosti při výrobě formy a roste i nebezpečí nedodržení přesných rozměrů odlitku.

Dělení formy na více částí je jedním z hlavních zdrojů nepřesností odlitků. Proto má být dělící plocha formy volena tak, aby plochy, u nichž záleží na dodržení jejich přesné polohy, byly vytvářeny jednou částí formy. Obdobně nemají být dělící rovinou protínány plochy, u nichž záleží na plynulosti jejich tvaru. [2]



Obr. 2. Konstrukce odlitku s ohledem na dělení modelu a formy [2]

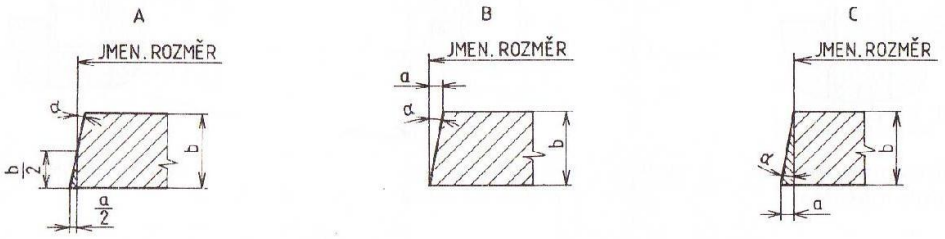
2.1.3 Úkosy

Při návrhu odlitku určeného k výrobě běžnými technologiemi je třeba počítat s tím, že model je nutné opatřit úkosy umožňujícími vyjímání modelu a jeho částí z formy. Používání modelů bez úkosů totiž umožňují jen některé speciální technologie, např. vakuové formování nebo metody vytavitelného a spalitelného modelu. [2]

SLÉVÁRENSKÉ ÚKOSY MODELŮ A ODLITKŮ

Výběr z ČSN 04 2021
Účinnost od 1. 4. 1962

Tato norma platí pro slévárenské úkosy dřevěných a kovových modelů pro odlitky ze šedé a temperované litiny, oceli a neželezných kovů



Obr. 1 Obr. 2 Obr. 3

Úkos A se dělá u těch ploch odlitků, které zůstanou neobrobeny (obr. 1).
Úkos B se dělá u těch ploch odlitků, které zůstanou neobrobeny, ale konstrukce odlitku dovoluje větší zmenšení uvedeného jmenovitého rozměru (obr. 2).
Úkos C se dělá u těch ploch odlitků, které budou obrobeny, nebo neobrobeny, avšak konstrukce odlitku nedovoluje zmenšení uvedeného jmenovitého rozměru (obr. 3).

Obr. 3. Slévárenské úkosy modelů a odlitků [7]

Tab. 1. Technologické úkosy modelů a odlitků [7]

Informativní úhly α a úkosy $a : b$ technologických úkosů

b [mm]		Modely					
přes	do	kovové			dřevěné		
		a [mm]	α	$a : b$	a [mm]	α	$a : b$
–	40	0,8	1°	1 : 55	1,0	1°40′	1 : 35
40	63	1,0	1°	1 : 55	1,5	1°40′	1 : 35
63	100	1,0	45′	1 : 75	2,0	1°30′	1 : 40
100	160	1,5	45′	1 : 75	2,5	1°10′	1 : 50
160	250	2,0	35′	1 : 100	3,0	50′	1 : 65
250	400	2,5	35′	1 : 100	4,0	45′	1 : 75
400	630	3,0	23′	1 : 150	5,0	35′	1 : 100
630	800				6,0	30′	1 : 120
800	1 000				7,0	26′	1 : 130
1 000	1 250				8,0	24′	1 : 140
1 250	1 600				10,0	23′	1 : 150

Tab. 2. Konstrukční úkosy modelů a odlitků [7]

Konstrukční úkosy Rozměry v mm

b		$a : b$	α
přes	do		
	250	1 : 20	3°
250	500	1 : 32	1°45′
500	1 000	1 : 50	1°

Doporučuje se, aby konstrukční úkosy byly rovny, nebo větší než poměr $a : b$

2.1.4 Dutiny

Dutiny v odlitcích mají mít pokud možno jednoduchý tvar. Ideální jsou mělké široké dutiny, které se postupně rozšiřují k dělící ploše formy s úkosem min. 3 stupně.

Tvar dutin je třeba volit s ohledem na možnost plnění jaderníků a vyjímání jader. Navíc mají mít jádra jednu větší rovnou plochu umožňující jejich ukládání během výroby a skladování.

Tvar jader musí umožnit jejich založení do dutiny formy. Nejsnáze se zakládají jádra se šikmými stěnami, zatímco boční výstupky mohou zakládání znemožnit.

Dostatečně velké a vhodně umístěné otvory ve stěnách odlitku musí umožnit bezpečné a pevné uložení jader.

Delší vodorovná jádra musí být možno upevnit na obou koncích, případně i uprostřed.

Jádra ve vodorovných jednostranně otevřených dutinách musí být zajištěna podpěrkami, které zůstanou zality v odlitku – pak hrozí, že odlitek nebude dostatečně těsný.

Dutiny v odlitku mají ústit na povrch otvory umístěnými pokud možno v dělící rovině

formy. Tím se umožní snadné zakládání jader a zajištění jejich polohy sevřením mezi spodní a horní částí formy.

Jádra v dutinách ústících pouze v horní části odlitku je možno zavěsit pomocí kovových výztuh nebo známek, přesahujících obrys odlitku. Jádra v dutinách ústících pouze v dolní části odlitku je nutno zajistit proti vztlaku zalévanými podpěrkami, jehlami, svorkami nebo přilepením.

Nesymetrické dutiny mají ústit na povrch odlitku nejméně třemi otvory tak, aby byla

poloha jádra dostatečně stabilní.

Pevnější a přesnější uložení jader je možno v některých případech dosáhnout rovněž

propojením dutin v odlitku tak, aby je bylo možno vytvářet jediným společným jádrem.

Pro zajištění dobré přesnosti odlitku je třeba zvolit tvar a polohu dutin tak, aby potřebná jádra bylo možno zakládat pouze do jedné poloviny formy, a to pokud možno do spodní.

Složité dutiny je doporučováno vytvářet pomocí většího počtu jednodušších jader, zejména v případech kdy:

- dílčí jádra mohou být shodná
- výrazně se zjednoduší konstrukce jaderníků
- sníží se spotřeba jádrové směsi
- sníží se pracnost při výrobě jader a forem

Je třeba umožnit únik plynů z jader dostatečně velkými otvory ve stěnách odlitků.

Ústí dutin na povrch odlitků má mít kruhový, oválný nebo dostatečně zaoblený průřez. [2]

2.1.5 Otvory ve stěnách

Slévárenská technologie nabízí možnost vytvářet otvory nejenom kruhového, ale i oválného, obdélníkového, šestihranného nebo elipsovitého průřezu bez výrazného zvýšení pracnosti při výrobě modelového zařízení i forem.

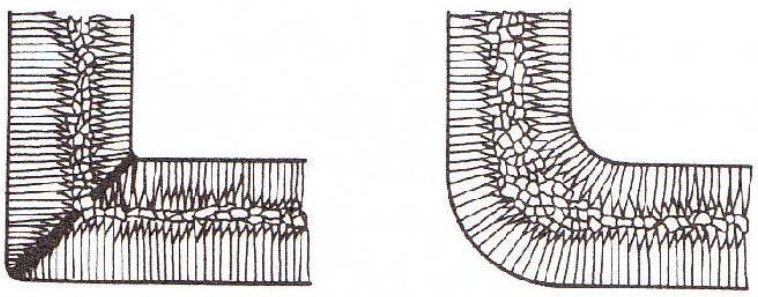
Velké otvory se předlévají vždy, protože se tím vylehčuje konstrukce, omezuje nahromadění materiálu, předchází nebezpečí vzniku staženin a ředin, a tím i snižuje potřeba nálitkování.

Otvory v odlitcích s příčným rozměrem menším než je tloušťka stěny odlitku se však odlévají obtížněji. [2]

2.1.6 Zaoblení hran odlitků

Hrany a rohy odlitků se pokud možno zaoblují s dostatečně velkým poloměrem. Důvodem k tomuto opatření je několik:

- omezení poškozování hran modelového zařízení při manipulaci a formování
- zvýšení odolnosti formy proti porušení
- usnadnění pohybu směsi při formování a tím umožnění jejího rovnoměrného
- zhutnění i v místech, kde má model značné výškové rozdíly
- vyrovnání rychlosti chladnutí k získání rovnoměrné struktury
- omezení nebezpečí zranění při manipulaci s odlitkem
- zlepšení přilnavosti případných povlaků
- získání přitažlivějšího vzhledu odlitku [2]



Obr. 4. Vliv hrany na strukturu kovu [6]

2.2 Zásady konstrukce odlitků s ohledem na plnění formy

Optimální způsob a rychlost lití určují technologové a podle toho také navrhují vtokovou strukturu. Její provedení je možno přizpůsobit i značně složitým odlitkům a proto tato fáze technologického procesu konstrukci odlitků výrazně neovlivňuje.

Z hlediska slévárenské technologie hrozí v příliš tenkých stěnách nezaběhnutí nebo vznik zavalenin.

Nejmenší doporučované tloušťky stěn odlitků jsou závislé především na typu slitiny a způsobu lití. Minimální tloušťky jsou však dosažitelné pouze za optimálních podmínek, a navíc ne v celém rozsahu odlitku.

Protože se tavenina při postupu formou ochlazuje, jsou pro dobré zaběhnutí potřebné tloušťky stěn závislé i na době plnění formy a rozměrech odlitku.

Pro zlepšení zaběhnutí se u větší ploch doporučuje používat průběžná žebra, která vytvoří kanály usnadňující rychlé zaplnění celého odlitku.

Je potřeba pamatovat na odvod plynů z dutiny formy, výstupků formy obklopených kovem a zejména z jader. Proto musí mít odlitky v nejvyšších místech vhodné plošky pro usazení výfuků nebo nálitků.

Obtížně se dosahuje dobrá kvalita odlitků v rozsáhlých vodorovných stěnách, kde kov stoupá velmi pomalu, rozlévá se nepravidelně a při tom rychle chladne. Takovéto plochy mají být zešikmeny nebo vzklenuty.[2]

2.3 Zásady konstrukce odlitků s ohledem na stahování při tuhnutí

Objemové změny při tuhnutí slévárenských slitin jsou doprovázeny vznikem staženin a ředin v odlitcích. Jejich velikost, charakter a poloha závisí především na typu slitiny a teplotním poli tuhnoucího odlitku. Pro zabránění vzniku uvedených vad jsou odlitky opatřovány nálitky, jejichž velikost volí technolog především s ohledem na typ použité slitiny a objem odlitku.

Při konstrukci odlitků s ohledem na potlačení nebezpečí vzniku vad vyvolaných objemovými změnami při tuhnutí, zmenšení počtu a velikosti potřebných nálitků a omezení potřeby zvláštních technologických opatření (užívání chladítek, izolačních obkladů, technologických přídavků apod.) je třeba vycházet z následujících zásad:

- volit dle možností přednostně slitiny s malým objemovým smršťováním při tuhnutí
- volit pokud možno slitiny s úzkým intervalem tuhnutí (např. mosazi místo cínových bronzů), které mají rozsáhlejší oblast působnosti nálitků a nižší sklon ke vzniku
- porezity způsobené objemovými změnami při tuhnutí zbytku taveniny
- minimalizovat objem kovu a odlitku, tj. využívat odlehčení, vhodné profily,
- výztužná žebra a omezit požadavky na obrábění
- omezit počet tepelných uzlů, tj. zesílených částí odlitku, které tuhnou déle než místa sousední, tato místa totiž budou vyžadovat některé z následujících opatření:
    - připojení nálitků (je možné pouze na přístupných místech)
    - použití vnitřních a vnějších chladítek
    - použití izolačních obkladů v okolí tepelného uzlu
    - technologický přídavek ke spojení s jiným nálitkovým tepelným uzlem
- omezit velikost tepelných uzlů, která bývá zjednodušeně posuzována průměrem koule vepsané do příslušného místa odlitku
- pro zmenšení velikosti tepelných uzlů se doporučuje zejména:
    - rozložit vhodnou konstrukci průsečíku tří a více stěn odlitků, kde vznikají těžko nálitkovatelné tepelné uzly
    - nespojovat stěny pod ostrými úhly menšími než 60 stupňů
    - volit co nejmenší poloměry zaoblení v místě styku stěn
- v jednodušších případech je možno při konstrukci odlitku s ohledem na potlačení vzniku staženin vycházet z pravidel vepsaných koulí, podle kterého se mají koule vepsané do odlitku směrem k nálitku postupně zvětšovat

- výhodná je pro hledání optimálního tvaru i složitějších odlitků počítačová simulace tuhnutí, kterou lze zobrazit vývoj teplotního pole v celé formě včetně oblasti
- očekávaného vzniku staženin a ředin
- konstrukce odlitku má nabízet i vhodná a snadno přístupná místa pro připojení nálitků. Ty se obtížně usazují např. na šikmých a zakřivených plochách.[2]

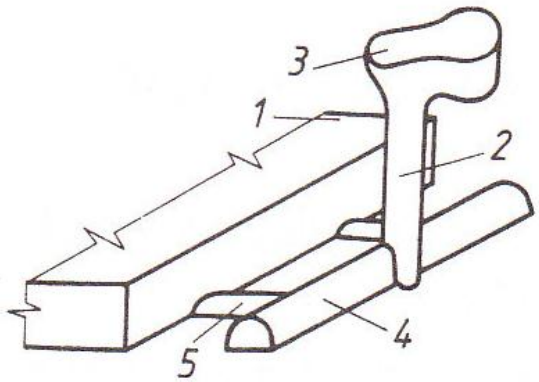
2.4 Zásady konstrukce s ohledem na smršťování při chladnutí odlitků

Objemové změny chladnoucího odlitku po ztuhnutí, jejichž příčinou je teplotní roztažnost a případné fázové přeměny slitiny, se projevují nejen změnami všech rozměrů, ale i vznikem pnutí, které částečně zůstanou jako pnutí zbytková i ve vychladlém odlitku. Tam se projevují především snižováním jeho únosnosti a dále i případnými změnami jeho tvaru během obrábění nebo tepelného zpracování. Dalším průvodním jevem smršťování bývají deformace odlitků (změny tvaru oproti tvaru modelu), případně i vznik trhli a prasklin.[2]

3 VTOKOVÁ SOUSTAVA

Vtoková soustava je soustavou kanálů, kterými je tekutý kov přiváděn do dutiny formy. Úkolem vtokové soustavy je zajištění klidného proudění kovu optimální rychlostí bez nebezpečí rázů a poškozování formy (příp. jader), zabránění víření, rozstřiku, oxidaci kovu a zajištění dostatečného tlaku k plnění formy. Dalším úkolem vtokové soustavy je odloučení a zachycení strusky a dalších nekovových nečistot z taveniny tak, aby nebyly zaneseny do odlitku.

Jak již bylo výše uvedeno, skládá se vtoková soustava z několika částí, z nichž každá plní určitou funkci. Jedná se o vtokovou jamku, vtokový kanál, odstruskovač a zářezy. Typ vtokové soustavy je pak závislý na druhu odlévané slitiny a konstrukci odlitku. [1]



Obr. 5. Schéma vtokové soustavy [6]

1 - odlitek, 2 - vtok, 3 - licí jamka, 4 – struskovák,

5 - zářezy

3.1 Vtoková jamka, nálevka

Vtoková jamka se používá u vtokových soustav s rafinačním účinkem. Její základní funkce lze shrnout do následujících bodů:

a) usměrnění a uklidnění proudu taveniny z licí pánve

b) zásobník taveniny zajišťující plynulé odlévání

c) zachycení nečistot (zejména strusky), které mohou přicházet z licí pánve spolu s

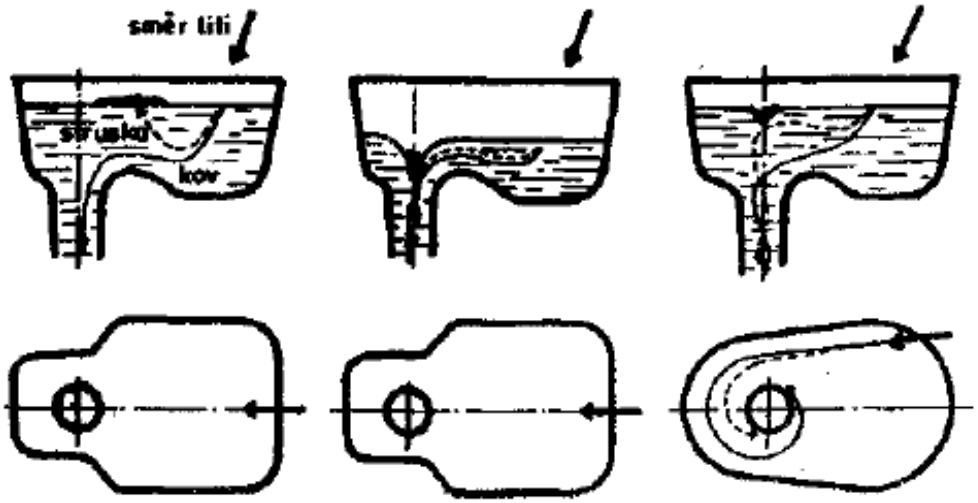
d) taveninou

Velmi choulostivým okamžikem je začátek odlévání (tzv. „zalití“ formy), kdy hladina kovu ve vtokové jamce nedosahuje požadované úrovně. Proto u náročnějších odlitků se čistota taveniny při zalití zajišťuje odléváním na zátku.

Kovová zátka vhodného tvaru, opatřená žáruvzdorným nátěrem a dobře vysušená, se

vkládá před odléváním do zaústění vtokového kanálu a vyjímá teprve po zaplnění vtokové jamky do potřebné výše.

S ohledem na správnou funkci nesmí během lití dojít ve vtokové jamce k výraznějšímu poklesu hladiny (např. v důsledku nerovnoměrného lití). Z tohoto důvodu musí být vtoková jamka nejen dostatečně vysoká, ale také přiměřeně objemná. K vyprázdnění vtokové jamky nemá dojít ani v závěru odlévání. Zůstává proto částečně zaplněná i po ukončení odlévání a v tom ohledu snižuje, mnohdy dosti výrazně, využití tekutého kovu. [1]



Obr. 6. Tvar a způsob plnění vtokových jamek [1]

3.2 Vtokový kanál

Vtokovým kanálem se dopravuje kov z vtokové jamky (nálevky) do odstruskovače nebo rozváděcího kanálu.

Na rozdíl od pohybu v horizontálních kanálech má pohyb tekutin (a tedy i kovových tavenin) ve svislých kanálech svůj specifický rys, daný působením gravitačního pole. Jde o utváření tzv. volného proudu, jímž se v tomto případě rozumí proud taveniny ve volném prostoru, na který působí pouze zemská tíže. Jeho průřez je vzhledem k povrchovým silám v tavenině kruhový, neboť kruh je útvar s minimální hodnotou poměru obvod/plocha.

Za předpokladu, že vtokový kanál je průřezově přesně stejný jako odpovídající tvar volného proudu, budou při proudění nejmenší ztráty a proudění sama bude klidné bez nebezpečí nasávání plynů.

Ve slévárenské praxi nemívají vtokové kanály tvar hyperboloidu 4.stupně. U velkých odlitků mají tvar válce, tak jak jej vytvoří sesazené šamotové trubky. U středních a malých odlitků se vtokové kanály pěchují pomocí modelů, které jsou kónické, rozšířené směrem vzhůru. [1]

3.3 Rozváděcí kanál, odstruskovač

Funkce rozváděcího kanálu spočívá v horizontálním rozvedení taveniny ve vlastní formě. Jeho geometrie musí sledovat požadavek maximálního uklidnění proudu taveniny, vytékajícího z vtokového kanálu a rovněž tak požadavek minimálního ochlazení taveniny. Podobně jako ve vtokovém kanále, nemá ani zde vznikat podtlak, který vede k naplynění taveniny a vždy znamená zvýšené nebezpečí výskytu bublin v odlitcích. Tímto požadavkem je do jisté míry vymezena velikost jeho průřezu. Naproti tomu tvar průřezu může být v podstatě libovolný. V případě, že je rozváděcí kanál vytvořen šamotovými tvarovkami, je jeho průřez kruhový.

U odstruskovače se k výše uvedeným požadavkům připojuje požadavek odstranění nečistot, které s proudem taveniny pronikly do odstruskovače přes vtokovou jamku vtokovým kanálem. Toto hledisko již omezuje i tvar průřezu odstruskovače. Výhodným a proto také nejrozšířenějším tvarem je lichoběžník o přiměřené štíhlosti.

Velmi účinným prostředkem pro zvýšení vnitřní čistoty odlitků jsou keramické filtry, které se vkládají do vtokové soustavy, pokud možno co nejblíže dutiny formy. Vedle filtrů

plochých se používají filtry objemové (lisované, protlačované a pěnové), u kterých se uplatňuje filtrace cezením (tvořením filtračního koláče) a filtrace hloubková (adhezí vměstků v celém objemu filtru). Filtry jsou úspěšně používány jak pro neželezné kovy (slitiny Al, Cu), tak pro litiny a oceli. [1]

3.4 Vtokové zářezy

Vtokové zářezy jsou poslední částí vtokové soustavy a zpravidla bývají též místem nejužším. Na jejich tvaru, velikosti, počtu a zejména na jejich rozmístění, závisí dokonalé zaplnění vlastní dutiny formy tekutým kovem.

Při navrhování vtokových zářezů je proto nutné vzít v úvahu následující hlediska:

a) způsob plnění dutiny formy
b) míru ochlazení taveniny při plnění formy
c) průběh teplotního pole odlitku a formy

Pokud se týká plnění vlastní dutiny formy je žádoucí, aby bylo klidné, bez rozstřiku taveniny a vzniku vírů. Proud kovu by rovněž neměl působit erozivně na stěny formy nebo jader. Z těchto důvodů je nutné situovat vtokové zářezy tak, aby se pokud možno vyloučil volný pád taveniny v dutině formy a aby se také zamezilo kolmým nárazům proudu taveniny na stěnu formy nebo jádra.

Rozmístění vtokových zářezů ovlivňuje navíc i teplotní pole odlitku, které má pro jeho vnitřní jakost (a tím i výsledné mechanické vlastnosti) značný význam.

Počet vtokových zářezů pak přímo ovlivňuje délku dráhy, kterou musí tavenina při zaplňování dutiny formy urazit a tím i míru jejího ochlazení. Výraznější pokles teploty proudící taveniny může přivodit značné výrobní potíže, zejména při odlévání tenkostěnných odlitků. [1]

4 FORMOVACÍ MATERIÁLY

4.1 Formovací materiál

Formovacími materiály je označen soubor hmot, sloužících k výrobě netrvalých a polotrvalých forem, případně látky zlepšující technologické vlastnosti formovací směsi, které souhrnně nazýváme látky pomocné. Vlastní formovací hmota, ze které se vyrábí forma, se skládá z několika základních materiálů a nazývá se formovací směsi. Podle způsobu použití při výrobě formy dělíme formovací směsi na:

a) modelové směsi – vytvářejí líc formy, který přichází do styku s roztaveným kovem
b) výplňové směsi – tvoří zbylou část formy a jsou na ně z hlediska vlastností kladeny nižší požadavky než na směsi modelové
c) jednotné směsi – tvoří celou formu a používají se při výrobě forem s vysokým
d) stupněm mechanizace, pokud to požadavky na jakost odlitku dovolují
e) jádrové směsi – slouží pro výrobu jader

Použité formovací materiály ovlivňují rozhodujícím způsobem kvalitu odlitků, a proto je na jejich vlastnosti kladena celá řada požadavků. Nutno zdůraznit, že se jedná o požadavky nejen na vlastní směsi, ale i na formy, které jsou z těchto směsí vyrobeny.

Mezi nejsledovanější vlastnosti patří:

- formovatelnost
- žárovzdornost
- objemová stálost
- mechanické vlastnosti
- životnost
- vaznost
- prodyšnost
- rozpadavost [1]

4.1.1 Ostřiva formovacích směsí

Podle chemické povahy rozlišujeme ostřiva kyselého, zásaditého a neutrálního charakteru a ostřiva speciální.

Ostřiva kyselého charakteru

Základní a velmi rozšířenou složkou formovacích hmot je oxid křemičitý SiO_2 – křemen. Je nejrozšířenějším minerálem v přírodě, kde se nachází v podobě křemenných písků různé granulometrie. Jeho teplota tání je 1715 ^{O}C, mimo oceli je vhodný pro odlévání všech slitin, včetně neželezných kovů.

Ostřiva zásaditého charakteru

Magnezit se získává z horniny magnezitu, která obsahuje kromě uhličitanu hořečnatého $MgCO_3$ rovněž vápenaté, železité i křemičité sloučeniny. Pálením se rozkládá na oxid hořečnatý MgO a CO_2. Má vysokou žárovzdornost okolo 2000 ^{O}C a je velmi odolný proti chemickému působení zásaditých strusek, proto se rovněž používá jako vyzdívka zásaditých pecí. Drcený se používá jako ostřivo formovacích směsí pro formování běžných ocelových odlitků, zvláště z manganových ocelí.

Ostřiva neutrálního charakteru

Šamot je vypálený žáruvzdorný jíl s minimálním obsahem 13% oxidu hlinitého Al_2O_3. Dále obsahuje SiO_2 a další oxidy, jejichž množství závisí na čistotě výchozího jílu. Pro slévárenské formovací směsi se používá šamot středně žáruvzdorný, jehož hlavní složkou je kaolinit.

Ostřiva speciální

Jsou to ostřiva většinou rovněž neutrálního charakteru, používaná v případech, kdy vlastnosti běžných nevyhovují. Je to např. korund, používaný jako plnivo do nátěrů pro formy na běžné ocelové odlitky. [1]

4.1.2 Pojiva formovacích směsí

Pojiva dělíme podle chemické povahy na anorganická a organická. Mezi anorganické patří jíly, vodní sklo, cement, sádra, mezi organická umělé pryskyřice, oleje, sacharidy, organické sloučeniny křemíku a další.

Jílová pojiva

Jsou pro svoji dostupnost nejstaršími pojivy formovacích směsí a dodnes patří k nejrozšířenějším. Jílem nazýváme zeminu s minimálně 50% obsahem částic menších než 2 um. Dělí se do tří skupin a to na jíly kaolinitové, illitové a montmorillonitové.

Vodní sklo

Po bentonitu je u nás nejrozšířenějším slévárenským pojivem. Je to vodní roztok křemičitanu sodného. Zásadní vliv na jeho vlastnost má poměr SiO_2**:** NaO_2, nazývaný modulem vodní skla.

Cement

Cement je anorganické práškové pojivo s hydraulickými vlastnostmi, tj. tvoří směsi schopné po rozdělení s vodou tuhnout ve vodě. Vyrábí se pálením vápenců a vápenatých jílů a přítomnosti tavidel, kterými bývá kazivec nebo železná ruda. Cementové směsi patří k nejstarším syntetickým směsím. Jejich nevýhodou je dlouhá doba tuhnutí, k jejímu urychlení se používá solí alkalických kovů, nejčastěji chloridu vápenatého $CaCl_2$**.**

Sádra

Sádra je hydraulicky tuhnoucí maltovina, která se vyrábí dehydratací síranu vápenatého**.** Přidáním vody dochází k hydrataci a vzniká původní síran vápenatý. Forma vyrobená z čisté sádry nemá příliš vhodné vlastnosti, proto se přidávají některé přísady (křemenná moučka, křemenný písek, bromid amonný). Do sádrových forem se odlévají odlitky ze slitin hliníku, hořčíku a mědi.

Umělá pryskyřice

Pryskyřice se prosadily jako pojivo formovacích směsí po zavedení jejich průmyslové výroby. Ve slévárenství se používají syntetické pryskyřice vyráběné polykondenzací. Podle základních sloučenin, jejichž polykondenzací pryskyřice vzniká, dostáváme pryskyřici fenolformaldehydovou, močovinoformaldehydovou nebo furanovou.

Oleje

Oleje jsou estery nenasycených mastných kyselin. Používají se jako pojiva jádrových směsí, v omezené míře jsou nahrazovány pojivy jinými. Tradičním olejovým pojivem je lněný olej. Olejové směsi mají dobrou tekutost, za syrova jsou nevázané. K tuhnutí dochází

okysličením při sušení, jehož teplota i doba závisí na složitosti a velikosti jádra.

Sacharidová pojiva

Ve slévárenství se používají většinou odpadní produkty z výroby látek na bázi sacharidů, jako dextrin, sulfidový výluh, melasa a škrob. Vytvrzování se provádí ohřátím na teplotu 160 až 210 stupňů podle druhu sacharidového pojiva. Jsou rozpustné ve vodě, směsi mají vysokou tekutost a nízkou vaznost za syrova. [1]

4.1.3 Pomocné látky

Tyto látky upravují některé nevhodné vlastnosti formovacích směsí. Podle oblasti působení je dělíme do čtyř skupin:

- Přísady zlepšující povrch odlitku. Jakost povrchu určuje především zrnitost ostřiva, přísada má pouze doplňující účinek. Používají se látky s vysokým
- obsahem uhlíku jako černouhelná moučka, mazut.
- Přísady upravující technologické vlastnosti směsí. Přísad tohoto druhu je velké množství. Mezi nejdůležitější patří organické polymery, které zlepšují
- formovatelnost – rašelina, oxid železitý, dřevěná moučka, piliny apod.
- Látky k povrchové ochraně forem. Jsou hlavními složkami nátěrů forem a jader. Patří sem slévárenská tuha (grafit), křemenná moučka, zirkonová moučka a
- korundová moučka.
- Dělící prostředky. Snižují adhezi pojiva k povrchu modelu, případně jaderníku nebo částí forem navzájem. Používá se mletý vápenec, silikonový olej, petrolej, nafta apod. [1]

5 MODELOVÉ ZAŘÍZENÍ

Modelovým zařízením se souhrnně označuje zařízení potřebné ke zhotovení dutiny ve formě, která odpovídá tvaru budoucího odlitku. Stejně jako formy lze i modelová zařízení dělit na trvalá, kdy modelová zařízení se používá opakovaně pro výrobu většího počtu forem a jednorázová, kdy pro výrobu každého kusu odlitku je třeba zhotovit samostatný model. Ve výrobě odlitků do pískových forem převažuje použití trvalých modelů. Trvalé modely lze členit dle způsobu formování na:

a) modelové zařízení pro ruční formování
b) modelové zařízení pro strojní formování [1]

5.1 Modelové zařízení pro ruční formování

Podle provedení a způsobu použití dělíme v tomto případě modelové zařízení na:

a) modely
- přirozené
- s jaderníky
- kostrové

b) šablony
c) zařízení ke zhotovení formy jen z jader

Modely přirozené

Tyto modely mají podobu budoucího odlitku. Zhotovují se tak modely jednoduchých tvarů, které lze snadno zaformovat a které jsou dostatečně masivní, aby se při formování nedeformovaly.

Modely s jaderníky

Toto modelové zařízení se používá v případech, kdy odlitky mají předlité dutiny (popř. výstupky), které se zhotovují pomocí jader. V těchto případech je nutno kromě modelu zhotovit i jaderník pro výrobu potřebných jader.

Volné části modelů

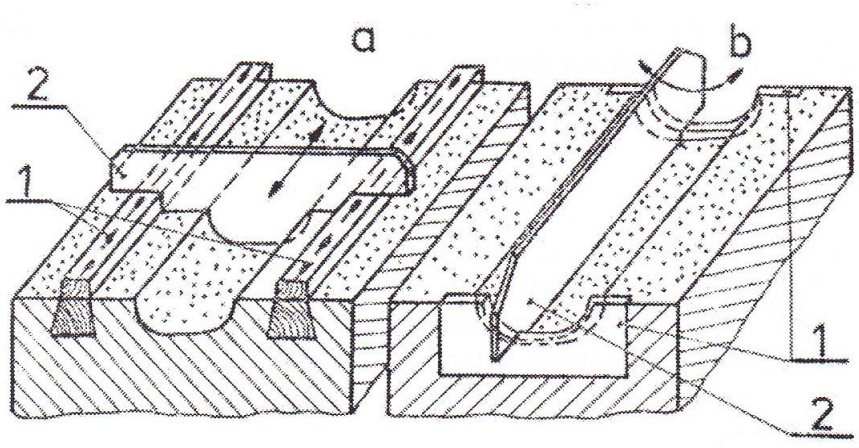
Některé části modelů (např. výstupky na modelu mimo dělící rovinu) nelze po zaformování vyjmout zároveň s modelem, neboť by došlo k „utržení“ části formy. Proto se zhotovují jako tzv. volné části modelu, to znamená, že jsou s modelem spojeny volně buď pomocí háčků nebo „na rybinu“. Po zaformování a vyjmutí modelu z formy se tyto části vyjímají zvlášť. K vyjímání se zpravidla používá hrotu, který se zapíchne do volné části.

Kostrové modely

Tyto modely se používají v těch případech, kdy se má zhotovit malý počet velkých odlitků s geometricky nepravidelným povrchem. Místo modelu se zhotoví jen jeho kostra, podle níž se šablonováním zhotoví forma a často i jádra.

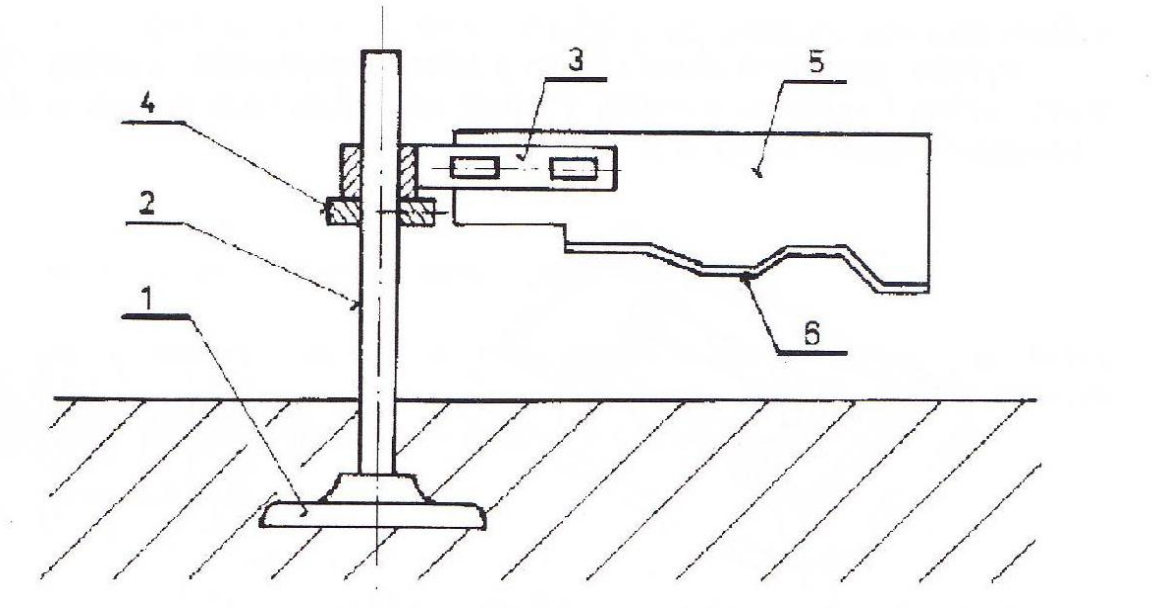
Šablony

Vyrábí-li se jen malý počet odlitků a zvláště jde-li o odlitky větší, je snaha cenu modelového zařízení co nejvíce snížit. Jedna z možností je použít místo modelu šablonu.



Obr. 7. Zařízení pro rovinné šablonování [1]

a) podélné; b) příčné



Obr. 8. Zařízení pro rotační šablonování [1]

Šablony se dělí na:

a) rotační – pro šablonování rotačních tvarů

b) rovinné – pro podélné nebo příčné šablonování

Zařízení ke zhotovení formy jen z jader

V tomto případě se zhotovují jen jaderníky bez modelu. Všechny části formy, vnitřní i vnější, se vytvářejí v jadernících. Jádra takto získané se složí v kompletní formu.

Jaderníky pro ruční formování

Základní pomůckou ke zhotovení jádra je jaderník. Podle tvaru a velikosti jádra, popř. dle požadavku technologického postupu, se volí ty jaderníku. Malá jednoduchá jádra se zhotovují v jednoduchých jadernících, z nichž se vyjímají „vyklopením“. Pro složitější jádra je nutné použít jaderníky dělené, tj. složené z více částí tak, aby po rozebrání jaderníku bylo možné jádro vyjmout. [1]

5.2 Materiály pro výrobu modelů a jaderníků

Pro výrobu modelů a jaderníků se používají různé materiály jako dřevo, kovy a jejich slitiny, sádra, umělé hmoty, vosk atd. Každý z uvedených materiálů má své přednosti, ale také určité nevýhody.

Dřevěné modely a jaderníky

Dřevo je velice rozšířeným materiálem při výrobě modelů a jaderníků, zejména s ohledem na snadné zpracování, postačující životnost a cenovou dostupnost. K nežádoucím

vlastnostem dřeva patří sesychavost, malá odolnost vůči vlhkosti a sklon k praskání při rychlém vypařování vody z vnějších částí.

Kovové modely a jaderníky

Kovové modely a jaderníky jsou výhodné pro hromadnou výrobu drobných a středních odlitků. Jejich výrobní cena je podstatně vyšší než u dřevěných modelů případně jaderníků. Výhody kovového zařízení spočívají v jeho životnosti, odolnosti proti opotřebení a

rozměrové stálosti.

Plastické hmoty pro výrobu modelů a jaderníků

V posledních letech se stále více používají při výrobě modelového zařízení umělé hmoty. Tyto materiály mají vesměs lepší mechanické vlastnosti než dřevo, výborně odolávají otěru a dobře se opracovávají. [1]

5.3 Modelové zařízení pro strojní formování

Základem pro strojní formování jsou modelové desky. Na těchto deskách jsou pevně uloženy jednak části vlastních modelů, jednak modely vtokových zářezů a odstruskovače. Na okrajích desek jsou zapuštěny kovová pouzdra s otvory pro vodící kolíky, pomocí nichž se na modelových deskách usazují formovací rámy.

Z hlediska konstrukčního uspořádání se modelové desky dělí na:

a) jednostranné
b) oboustranné
c) reverzní

Jednostranné modelové desky

U těchto desek je pro vlastní formování využita jen jedna jejich strana, na které jsou

uchyceny části modelů. Používají se v případech, kdy se zhotovuje spodek a vršek formy

oddělené, tj. každý na jiném formovacím stroji.

Oboustranné modelové desky

V tomto případě jsou části modelu a modely jednotlivých částí vtokové soustavy uchyceny z obou stran desky. Jedna strana desky slouží k formování vršku, druhá k formování spodku formy. Tyto desky jsou vhodné v případech, kdy formování obou částí formy probíhá na jednom formovacím stroji s otočným stolem.

Reverzní modelové desky

Tyto desky se zhotovují tím způsobem, že jednostranná modelová deska se rozdělí podélnou nebo příčnou osou symetrie na dvě poloviny, v jedné se uchytí spodky a ve druhé vršky modelu. Po zaformování prvního rámu se tento usadí jako spodek formy. Druhý rám se po zaformování na téže desce otočí okolo osy symetrie tak, že nad pravou polovinu spodku formy přijde levá polovina vršku formy a naopak. [1]

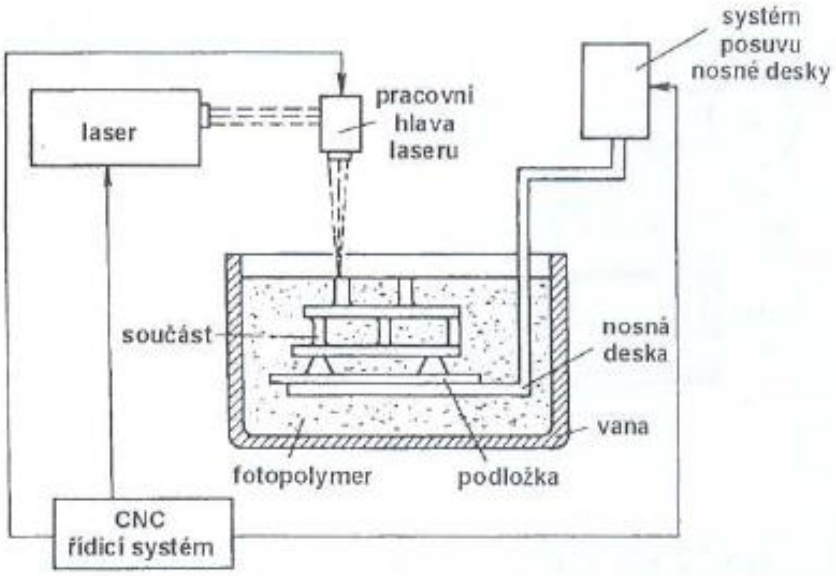
6 RAPID PROTOTYPING

Pojem Rapid Prototyping ("rychlé zhotovení prototypu") zahrnuje všechny činnosti, které vedou od formulace požadavků na výrobek až k jeho výrobě. Cíle systému Rapid Prototyping jsou: rychlé zavádění nových výrobků na trh, ověření reakce zákazníka na nový výrobek, ověření různých variant výrobku, podrobné a rychlé ověření (simulace) funkce výrobku, ověřování snadnosti a postupu montáže výrobku. Charakteristickým rysem všech výrobních metod Rapid Prototyping je rychlá výroba modelu, funkčního vzorku a prototypu přímo na základě souboru dat vytvořených při modelování v prostoru na počítači, bez použití forem, zápustek, lisovacích a řezných nástrojů. U technologií Rapid Prototyping se výroba součástí provádí postupným přidáváním materiálu po vrstvách, na rozdíl od obrábění řeznými nástroji, kde se výroba součástí realizuje postupným odebíráním materiálu ve tvaru třísek. Postup při výrobě součástí technologiemi Rapid Prototyping je obecně následující:

- na počítači se vytvoří prostorový model výrobku
- pomocí speciálního programového vybavení se vytvoří příčné řezy součásti v rovinách vzdálených od sebe 0,05mm až 0,2mm
- získaná data slouží pro řízení vlastního výrobního zařízení
- výroba součástí [5]

6.1 Stereolitografie

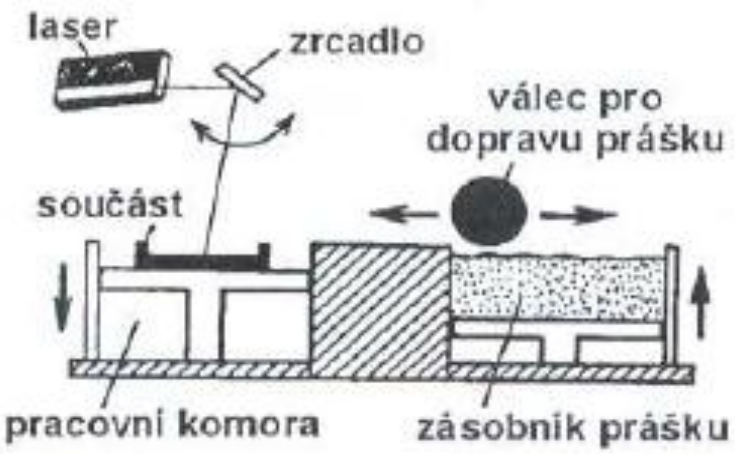
Princip metody spočívá ve vytvrzování tenkých vrstev fotopolymeru, který je citlivý na UV záření, paprskem vhodného laseru. Na základě informací o tvaru a rozměrech příčných řezů jednotlivými rovinami jsou vypočítány řídící údaje, jimiž je ovládán pohyb paprsku laseru nad horní plochou lázně tekutého fotopolymeru. Součást je vytvářena na nosné desce, umístěné na počátku výrobního procesu těsně pod hladinou lázně fotopolymeru. Po vytvrzení (tj. po osvícení) jedné vrstvy se nosná deska ponoří o tloušťku vrstvy hlouběji do lázně a začne se vytvářet další vrstva CO_2 laserem lze vyrábět součásti i z kovu. Jedná se o slinování prášku speciální slitiny laserem. Není nutné používat žádná pojiva ani předehřev materiálu před jeho osvícením laserem. [5]



Obr. 9. Stereolitografie [5]

6.2 Technologie SLS – selektivní slinování materiálu laserem

Princip metody SLS (Selective Laser Sintering) spočívá ve vytváření vrstev nanášením materiálu ve formě prášku a jeho následným slinováním paprskem laseru. Je možné vytvářet vrstvy tloušťky od 0,1mm do několika desetin milimetru, nanášený materiál je uložen v zásobníku vedle vlastní pracovní komory. Do pracovní komory je dopravován systémem válců, tam je ohříván na teplotu několika stupňů pod jeho bodem tání, osvícen paprskem CO_2 laserem, a tím je slinována požadovaná plocha právě vytvořené vrstvy. Pracovní proces probíhá pod ochranným plynem. Principiálně lze zpracovávat všechny teplem tavitelné, příp. teplem změknuvší práškové materiály. Lze vyrábět součásti z polyamidu, z termoplastů plněných skelnými vlákny, z polykarbonátu, z polystyrenu, ze speciálních nízkotavitelných niklových bronzů a polyamidem povlečených zrn ocelových prášků. [5]



Obr. 10. Technologie SLS [5]

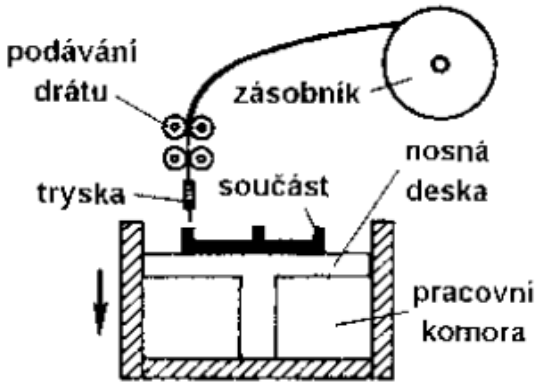
6.3 Technologie LOM – lomení vrstev

Princip metody LOM (Laminated Object Manufacturing) spočívá ve vyřezávání tvarů jednotlivých vrstev ze speciální fólie laserem a jejich postupném vrstvení nalepováním na sebe. Součást je opět vytvářena na svisle se pohybující nosné desce. Na již nanesenou vrstvu se přetáhne fólie opatřená tenkou vrstvou polyetylénu, ta se systémem vyhřívaných válců přitlačí, čímž dojde ke slepení obou vrstev. Paprskem laseru je vyřezán požadovaný obrys vytvářené vrstvy, přebytečná odříznutá fólie se odstraní. Nosná deska se sníží o tloušťku fólie a postup se opakuje až do vytvoření celé součásti. Vyrobené součásti mají stejné vlastnosti jako by byly vyrobené ze dřeva. [5]

Obr. 11. Technologie LOM [5]

6.4 Technologie FDM – nanášení vrstev roztaveného materiálu

Metodou FDM (Fused Deposition Modelling) je součást vytvářena postupným vrstvením materiálu, který vychází z trysky pohybující se nad pracovním prostorem. Materiál přiváděný ve tvaru drátu je v trysce ohříván na teplotu asi 1°C nad teplotu tání, při styku s vytvářeným povrchem tento roztavený materiál tuhne a vytváří požadovanou vrstvu. Cyklus vytváření součásti je řízen počítačem a probíhá obdobně jako u stereolitografie. Touto metodou je možné vytvářet součásti z polyamidu, polyetylénu nebo vosku. [5]



Obr. 12. Technologie FDM [5]

6.5 Technologie MJS – nanášení vrstev materiálu tryskou

Princip metody MJS (Multiphase Jet Solidification) spočívá v zahřátí materiálu, ze kterého má být součást vyrobena, a v postupném nanášení vrstev materiálu tryskou. V zásobníku je materiál většinou ve formě prášku, ať již čistého kovu, keramiky nebo směsi kovu příp. keramiky s vhodným pojivem zahříván na teplotu, při které vytváří nízko viskózní fázi, a pístovým systémem je vytlačován skrz ohřívanou trysku. Při styku s materiálem vyráběné součásti tuhne a vytváří tak požadovanou vrstvu. Celý pracovní cyklus je obdobný jako u metody FDM. Metoda umožňuje vyrábět součásti z ušlechtilých ocelí, titanu, apod. [5]

7 SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části bakalářské práce byla popsána technologie slévání. Hlavně je popsána technologičnost konstrukce odlitku, její zásady a samotná konstrukce forem. Dále jsou popsány jednotlivé technologie Rapid Prototypingu.

Cílem praktické části je odlití výrobku do formy, kterou vytvořím. Toho dosáhnu díky zaformování modelu pomocí technologie Rapid Prototyping. Jako první vytvořím model v jednom s CAD programů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

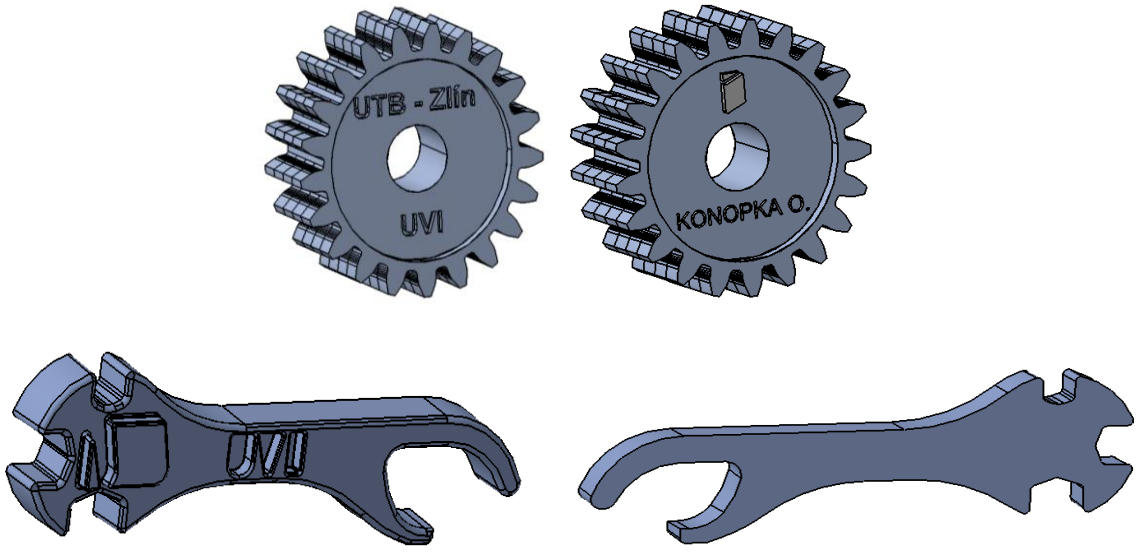
8 NÁVRH A TVORBA VÝROBKU

8.1 Návrh a konstrukce výrobku

Prvním krokem byl samotný návrh výrobku. Požadavky zněly, aby tento předmět měl souvislost s UTB, a byl reklamního charakteru. Dále by to neměl být nejen estetický reklamní předmět, ale měl by mít také funkční hledisko. Také z důvodů poměrně drahé technologie Rapid Prototypingu, měl by mít výrobek co možná nejmenší objem, protože cena se při této technologii odvíjí od samotného objemu.

Při výběru předmětu jsem se rozhodoval například mezi šroubovákem, klíčem na šestihrané matice a matice se zářezy, otvírákem, válcovou frézou nebo ozubeným kolem. Nakonec vzhledem k daným požadavkům a kvůli poměrně málo času na zhotovení praktické části, jsem se po poradě s vedoucím práce rozhodl pro ozubené kolo. Z důvodů výroby dvou předmětů, byl další výrobek zvolen klíč s otvírákem, navržený z dřívější práce studenta.

Dva výrobky navržené pomocí programu Solid Edge ST2. [5]



Obr. 13. Model ozubeného kola,

model klíče s otvírákem na láhve

8.2 Popis programu Solid Edge ST2

Solid Edge se Synchronní technologií je hybridní 2D/3D návrhový systém od společnosti Siemens. Solid Edge je základní součástí produktové řady Velocity Series, která pomáhá výrobním organizacím zvýšit tržby při snížení nákladů.

Solid Edge se Synchronní technologií přináší nový způsob práce, který kombinuje rychlost a pružnost explicitního modelování s ovladatelností a automatizací parametrického modelování. Model se vytváří pomocí skládání konstrukčních prvků, ale bez jejich historické závislosti. Prvky, které se nejlépe modifikují pomocí parametrů definovaných při vytváření, jako jsou skořepina, díra nebo pole prvků představují skupinu takzvaných procedurálních prvků.

Tyto prvky dovolí editaci svých parametrů bez nutnosti přepočítávat prvky, které byly přidány k modelu později. 3D kóty se převezmou z původních skic, nebo je možné je vkládat přímo na 3D geometrii tělesa. Pomocí parametrizace 3D geometrie namísto jednotlivých skic uživatel získává nesrovnatelně větší volnost při tvorbě nebo modifikaci modelu a definování parametrizace tvaru tělesa. [8]

9 VÝROBA MODELU TECHNOLOGIÍ RAPID PROTOTYPING

Model se vyrobil na školní 3D tiskárně značky Object 250 Eden

9.1 Popis 3D tiskárny Object 250 Eden

Tab. 3. Základní technické údaje [5]

Objet 250 Eden	
Velikost pracovního stolu	250 x 250 mm
Pracovní rozsah d x š x v	250 x 250 x 205 mm
Rozlišení - osa X	600 dpi
Rozlišení - osa Y	300 dpi
Rozlišení - osa Z	1600 dpi
Tloušťka vrstvy osa Z	16 mikronů / 32 mikronů
Hmotnost stroje	280kg
Teplota	18 ° C až 25 ° C
relativní vlhkost	30-70%
Podporované materiály:	
Fullcure® 720	pevný, průhledný
VeroBlue	pevný, barva modrá
VeroWhite	pevný, barva bílá
VeroBlack	pevný, barva černá
Podpůrný materiál	FullCure®
Rozměry tiskárny d x š x v	870 x 735 x 1200 mm
Vstupní formát:	STL a SCL soubory

Stavba modelů může být provedena ve dvou rychlostní kvalitě:

- Tisk v režimu HQ (High Quality) – síla vrstvy 16 mikronů – 6mm/ hodinu/ pás 6cm
- Tisk v režimu HS (Hight Speed) – síla vrstvy 32 mikronů – 12mm/ hodinu/ pás 6cm

[5]

Obr. 14. Školní 3D tiskárna Object Eden 250

9.2 Samotná výroba modelu

Aby bylo možno vytisknout součásti, musel jsem vytvořené dílce v Solid Edge ST2 převést do vstupního formátu tiskárny STL (Stereo Litografy nebo Standard Triangulation Langure). Tento formát reprezentuje velmi jednoduchý zápis trojrozměrných objektů složených z jednotlivých trojúhelníkových plošek. Po převedení už stačí zapnout tiskárnu. Z výběru materiálu, které tiskárna k tisku používá, byly u součásti použité jako hlavní materiál vero white a jako pomocný fullcure. Tisk probíhal v režimu HQ (High Quality), celková doba výroby dvou slévárenských modelů byla dvě hodiny. Na Obr.15 je zobrazení součásti a

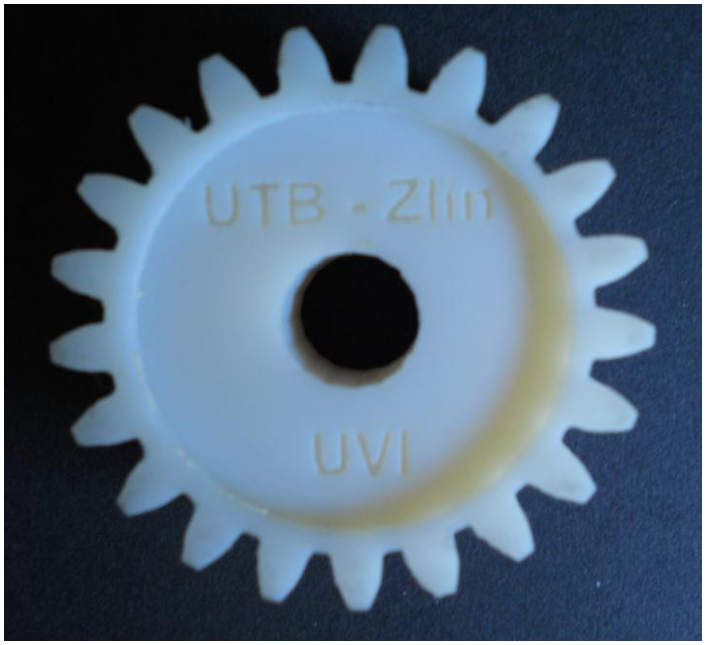
polohy na vyjímatelné desce, je to náhled před samotným zahájením celé výroby slévarenského modelu.

Obr. 15. Zobrazení součásti a polohy na vyjímatelné desce

9.3 Úprava modelu po tisku

Po ukončení tisku se vysune vyjímatelná deska a pomocí špachtle jsem slévárenský model oddělal opatrně z desky. Před použitím musí být slévárenský model očištěn od podpůrného materiálu, který během tisku slouží k snadnému oddělení modelu od desky, k ochraně výrobku a také umožňuje tisknout i vodorovné otvory.

Součásti jsem očistil pomocí vlažné vody. Kartáčkem a polymerním nožíkem jsem důkladně vyčistil text.



Obr. 16. Očištěný slévárenský model ozubeného kola

Obr. 17. Očištěný slévárenský model klíče s otvírákem

10 VÝROBA LUKOPRENOVÉ FORMY

10.1 Popis lukoprenu N1522

Lukopren N1522 je zalévací silikonová kaučuková pasta vulkanizující za normální teploty po přídavku katalyzátoru. Doporučené dávkování lukoprenu katalyzátoru – 2,0% hmot. Pastu je nutné důkladně promíchat. Lukopren N1522 slouží k výrobě forem, do nichž lze odlévat beton, sádru, vosk, syntetickou pryskyřici atd.

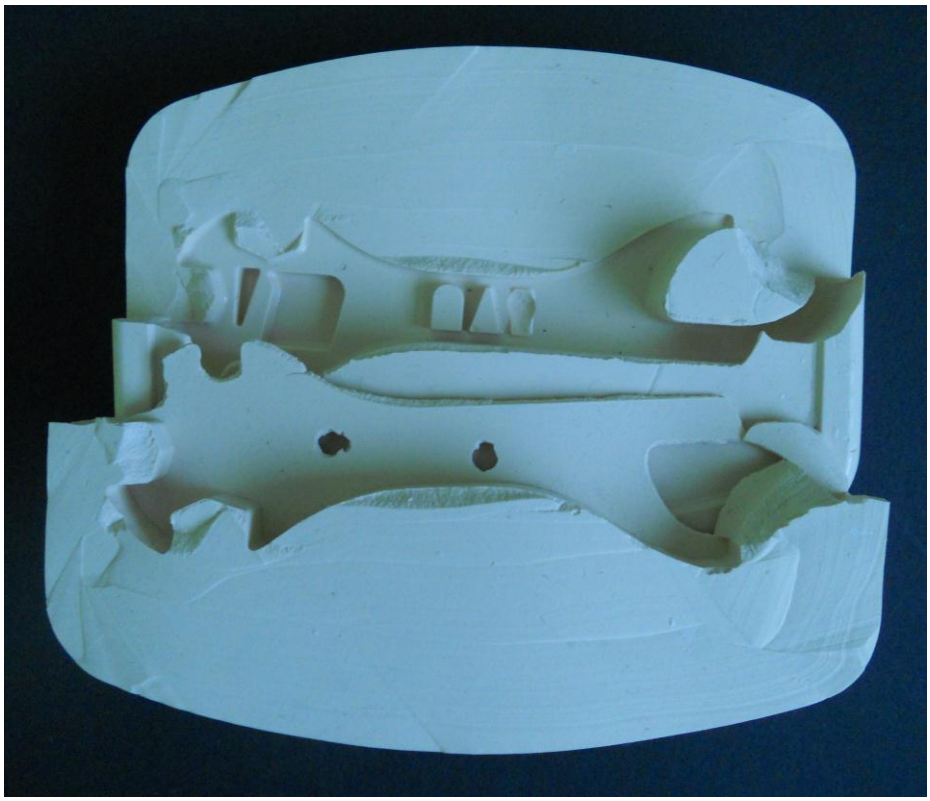
Tab. 4. Fyzikálně – mechanické vlastnosti

Lukopren N1522	
Tvrdost (^{o}ShA)	51
Pevnost v tahu (MPa)	1,9
Tažnost (%)	120
Lineární smrštění (%)	max. 0,5
Tepelná odolnost (^{o}C)	-50/ +180

10.2 Výroba lukoprenových forem gravitačním lití s využitím vakua

Před začátkem celé práce jsem musel zvolit vhodné nádoby, do kterých bude zalit slévárenský model. Použil jsem tři polypropylenové nádoby. Vnitřní stěny nádob byly vytřeny silikonovým separátorem Mold Release, který napomáhá snadnému vyjmutí plastických součástí z forem. Po navážení pasty s katalyzátorem byla směs důkladně promíchána a přibližně 6mm ode dna nádoby nalita. Slévárenský model byl opatrně vložen na směs a potřebným množstvím této směsi zalit. Takto připravený zaformovaný slévárenský model jsem vložil na 10 minut do vývěvy. Po této době byla směs z vývěvy vytažena a ponechána na 24 hodin k zatuhnutí. Z takto vzniklé lukoprenové formy jsem musel slévárenský model opatrně vyjmout a drobné nedostatky poopravit. Forma byla rozřezána a řez byl veden přibližně polovinou slévárenského modelu k snadnému odlití epoxidové pryskyřice.

Obr. 18. Dvoudílná lukoprenová forma ozubeného kola

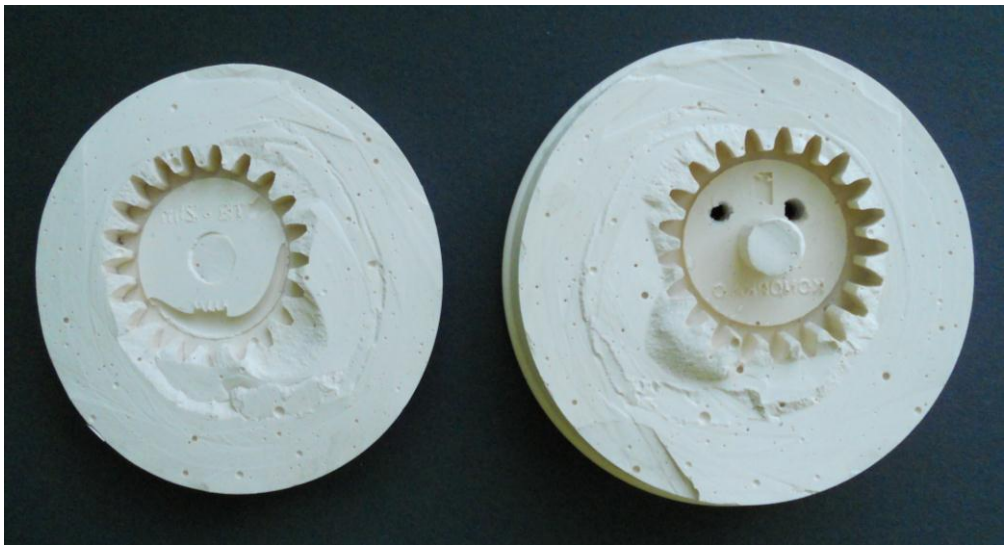


Obr. 19. Lukoprenová forma klíče s otvírákem

Ve formách zhotovených s využitím vakua, nevznikají vzduchové bubliny a tím jde již při prvním pohledu vidět větší zdařilost výrobku. Avšak nalitý připravený lukopren ve vakuu expanduje. Proto se zařazení vývěvy do procesu ukázalo jako velmi vhodné.

10.3 Výroba lukoprenové formy gravitačním litím

Celá práce byla shodná z výše uvedeným postupem, pouze vzniklá lukoprenová forma neprošla vývěvou.



Obr. 20. Lukoprenová forma připravená gravitačním litím

Ve formě zhotovené gravitačním litím vznikly viditelné uzavřené bubliny vzduchu. To mohlo způsobit určité nedokonalosti v odlitku. Vzniklá lukoprenová forma neprošla vývěvou z důvodu porovnání rozdílu mezi formami a aby nedošlo k expanzi připraveného lukoprenu.

11 ODLITÍ DO LUKOPRENOVÉ FORMY

11.1 Popis epoxidové pryskyřice L285

Čirá pryskyřice s velmi malou viskozitou určená k laminování. Pryskyřice s tužidlem v poměru míchání 100:40 vytváří velmi viskózní směs a díky tomu jsou vlákna rychle a kvalitně prosycena. Díky tomu má výrobek podstatně nižší hmotnost a vyšší užitkovou hodnotu. Používá se na výrobu kompozitních dílů a laminování. Její nevýhodou jsou nepříjemné výpary při práci a pořizovací cena je dost vysoká. [9]

11.2 Odlití epoxidové pryskyřice do formy

Pro každý výrobek jsem měl připravené tři formy, vyrobené způsobem popsaným v předchozích kapitolách.

Před samotným litím epoxidové pryskyřice musím v připravených formách vytvořit dva otvory. Jeden na vtok směsi a druhý na odvod vzduchu z dutiny formy. Po smíchání v předepsaném poměru epoxidové pryskyřice s tužidlem, kterou jsem namíchal v polypropylenové nádobě, jsem směs nalil velmi opatrně do dutiny formy tak, aby zatekla a rovnoměrně vyplnila dutinu formy. Po zalití byly formy zatíženy, aby směs nevytékala dělící rovinou. Směs tuhla 24 hodin a po tomto časovém úseku byl odlitek z dutiny formy vyjmut. Vzniklé přetoky jsem opatrně odstranil a drobné nedostatky poopravil.

Obr. 21. Zatížená lukoprenová forma klíče s otvírákem po odlití epoxidové pryskyřice

Obr. 22. Zatížená lukoprenová forma

ozubeného kola po odlití epoxidové pryskyřice

Obr. 23. Zatížená lukoprenová forma

ozubeného kola po odlití epoxidové pryskyřice

Obr. 24. Odlitky z epoxidové pryskyřice

Práce při výrobě odlitku byla velmi zajímavá a zároveň pro mě poučná. Při prvním pokusu odlití do dutiny formy jsem opomenul skutečnost, že pokud ve formě udělám pouze jeden otvor, vzduch z formy nebude odcházet pryč. Tím jsem si práci značně zkomplikoval a celou výrobu odlitků jsem musel zopakovat.

Při druhém, již správném pokusu, který je v této práci popsán výše, vzniklé odlitky měly pár drobných nedostatků:

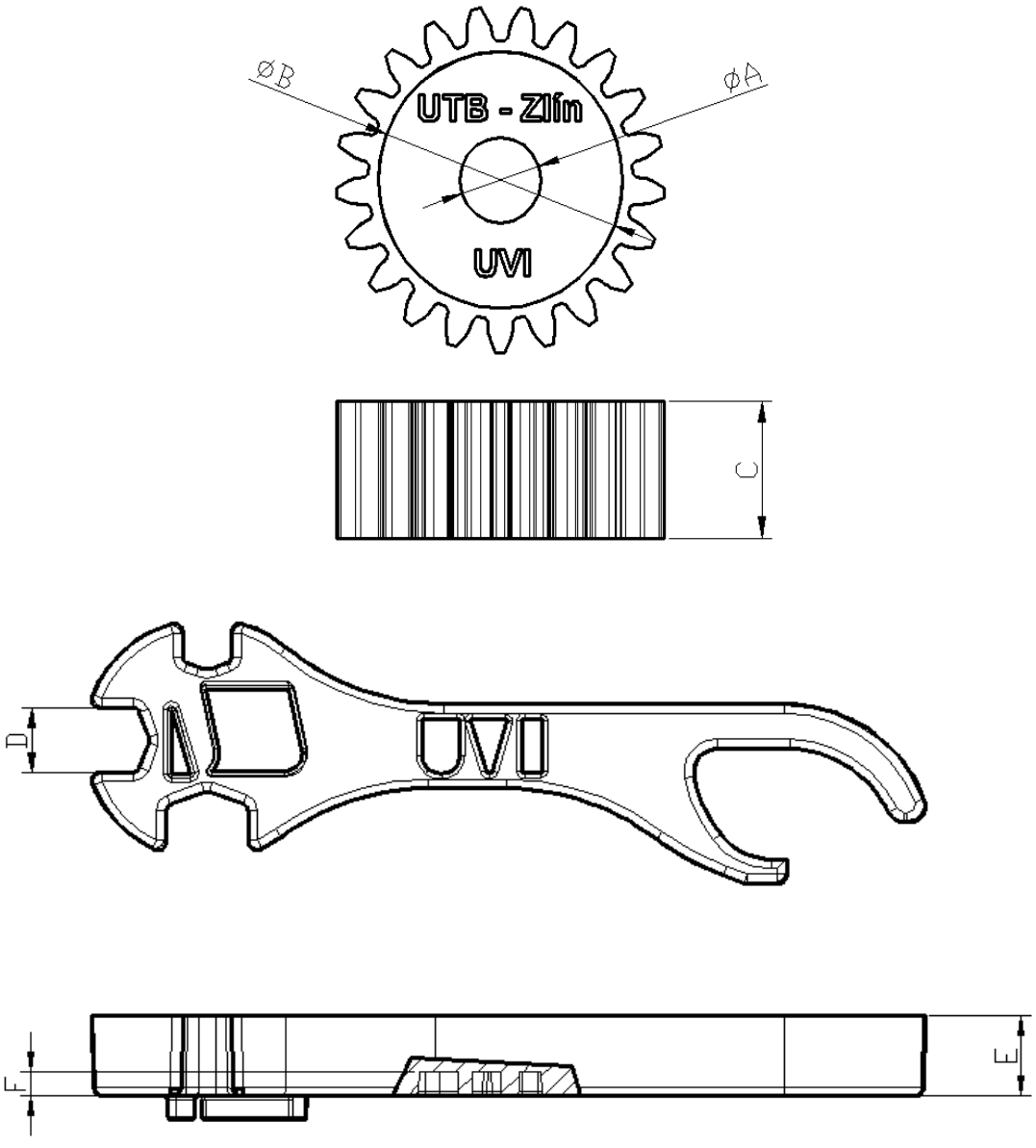
1. ve výrobku vznikly vzduchové bubliny

2. ve výrobku zůstaly nedotečené místa

Tímto bylo potvrzeno, že mým postupem nelze získat dokonalý výrobek.

11.3 Porovnání rozměrů

Provedl jsem deset měření na náhodně vybraných místech. Měření bylo provedeno digitálním posuvným měřidlem. Hodnoty jsem statisticky vyhodnotil, určil jsem aritmetický průměr a směrodatnou odchylku.



Obr. 25. Zobrazení měřených míst

Tab. 5. Navržené rozměry součásti

A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)
10,00	30,00	16,00	8,00	10,00	3,00

Tab. 6. Skutečné rozměry modelu po tisku

Číslo měření	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)
1	9,72	30,00	16,04	8,20	10,12	3,01
2	9,78	29,85	15,94	8,26	10,13	3,10
3	9,86	29,98	15,97	8,23	10,16	3,07
4	9,85	29,90	16,00	8,39	10,15	3,06
5	9,60	29,88	15,97	8,31	10,13	3,07
6	9,76	30,02	15,96	8,14	10,15	3,10
7	9,80	29,96	15,94	8,19	10,16	3,09
8	9,84	29,93	15,97	8,27	10,14	3,13
9	9,76	29,97	15,95	8,20	10,13	3,11
10	9,86	29,90	16,01	8,23	10,14	3,08
Aritmetický průměr	9,78	29,93	15,98	8,24	10,14	3,08
Směrodatná odchylka	0,08	0,05	0,03	0,07	0,01	0,03

Tab. 7. Rozměry odlitků, odlitých do lukoprenových forem s využitím vakua

Číslo měření	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)
1	9,66	29,52	15,85	8,34	10,18	3,06
2	9,57	29,57	15,94	8,30	10,20	3,04
3	9,68	29,63	15,97	8,18	10,22	3,13
4	9,45	29,64	15,85	8,19	10,19	3,18
5	9,53	29,57	15,92	8,29	10,09	3,10
6	9,45	29,61	15,88	8,17	10,17	3,08
7	9,66	29,58	15,87	8,30	10,09	3,04
8	9,52	29,63	15,89	8,23	10,11	3,06
9	9,55	29,42	15,87	8,27	10,05	3,08
10	9,5	29,62	15,90	8,24	10,10	3,05
Aritmetický průměr	9,56	29,58	15,89	8,25	10,14	3,08
Směrodatná odchylka	0,08	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04

Tab. 8. Rozměry odlitku, odlitého do lukoprenové formy bez využití vakua

Číslo měření	A (mm)	B (mm)	C (mm)
1	9,45	29,69	16,10
2	9,52	29,40	16,11
3	9,69	29,47	16,12
4	9,64	29,58	16,14
5	9,60	29,33	16,09
6	9,38	29,36	16,07
7	9,44	29,43	16,14
8	9,38	29,59	16,09
9	9,40	29,55	16,12
10	9,30	29,59	16,14
Aritmetický průměr	9,48	29,49	16,11
Směrodatná odchylka	0,12	0,11	0,02

Bylo zjištěno, že hodnoty, které byly navrženy a hodnoty odlitku se liší. Máme proto několik důvodů. Jedním z nich je, že lukoprenová forma byla vytvořena za přítomnosti vzduchu uvnitř hmoty. Dalším nedostatkem bylo nedokonalé očištění od zbytku lepidla. Další odlišnosti mohlo způsobit nedokonalé odlití syntetické pryskyřice do formy.

12 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU

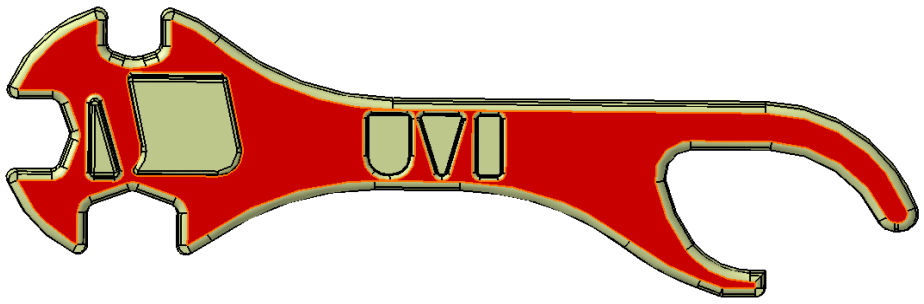
12.1 Popis měřícího zařízení

Měření drsnosti jsem prováděl na přístroj Mitutoyo Surftest SJ-301. Přístroj snímá povrch kontaktním způsobem. Můžeme si vybrat z dvou rychlostí snímání 0,25 mm/s a 0,5 mm/s. Přístroj nám umožňuje rozsah měření 350 µm. Poloměr hrotu je 2 µm, filtr profilu λ_c je 0,8mm, počet základních délek $N = 5$. [10]

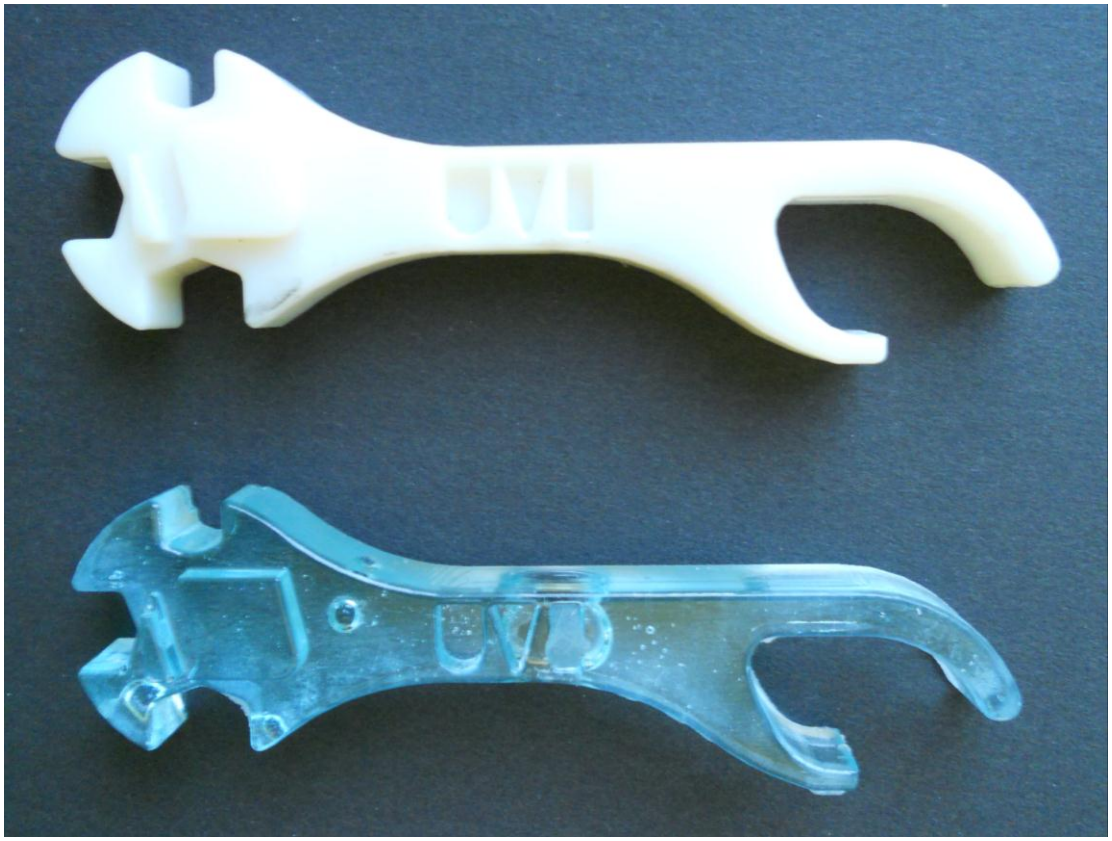
12.2 Měření drsnosti povrchu

Měření drsnosti povrchu jsem provedl u zhotoveného slévárenského modelu a odlitku klíče s otvírákem. Měřený předmět jsem si položil na podložku a v deseti náhodných zvolených místech na vyznačeném povrchu (viz obr. 23) jsem pomocí snímajícího hrotu měřil parametry drsnosti.

Ra – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu, *Rz* – největší výška profilu.



Obr. 26. Vyznačený povrch měřených míst



Obr. 27. Měřené předměty

Tab. 9. Naměřené hodnoty drsnosti povrchu

Číslo měření	*Ra* [μm]		*Rz* [μm]	
	Model	Odlitek	Model	Odlitek
1	0,48	0,81	3,63	3,62
2	0,64	0,2	3,01	1,11
3	0,37	0,85	2,02	3,79
4	0,39	0,37	1,83	1,65
5	0,51	0,54	2,24	2,25
6	0,58	1,32	2,17	5,75
7	0,36	1,01	2,28	4,72
8	0,58	0,54	2,19	4,05
9	0,19	0,31	1,11	1,38
10	0,33	0,31	1,50	1,15
Aritmetický průměr	0,44	0,63	2,20	2,95
Směrodatná odchylka	0,13	0,34	0,68	1,57

Provedl jsem měření drsnosti u zhotoveného slévárenského modelu klíče s otvírákem a u odlitku klíče s otvírákem. Z vyhodnocených hodnot lze vidět, že zhotovený slévárenský model má oba sledované parametry drsnosti nižší a proto má jakost lepší než odlitek.

Závěr

Byl navržen model ozubeného kola v programu Solid Edge, a jako druhý slévárenský model byl použit model otvíráku s klíčem. Na 3D tiskárně byly tyto modely zhotoveny. Na základě těchto vytištěných modelů jsem pro každý z nich vytvořil lukoprenovou formu. Forma byla vyrobena z kaučukové pasty smíchané s katalyzátorem. Touto výrobou jsem dosáhl, že kaučuková pasta zvulkanizovala a vytvrdila se. Do takto zhotovených forem jsem odlil epoxidovou pryskyřici a lukoprenová forma reprodukovala model i s mými navrhnutými nápisy.

Při odformování slévárenského modelu z první formy (viz. Obr. 21), která byla rozřezaná pouze do jedné poloviny, došlo k poškození nápisu. Slévárenský model jsem opatrně vyjmul z dutiny formy. Zhotovený odlitek měl odlišnou jakost povrchu než slévárenský model – (viz tab.8).

Při odformování druhého slévárenského modelu ozubeného kola (viz. Obr.22) jsem musel postupovat opatrně, aby nedošlo k poškození optisku v lukoprenu v místech tvaru ozubení.

Odlitek zhotovený v této formě měl značné nedostatky. Nedotečené místa, především z horní strany formy v místech vtoku do formy. V odlitku se vytvořil uzavřený vzduch, který vidíme pouhým okem díky transparentnosti materiálu. Zhotovené logo i text na odlitku bylo nedokonalé.

Po odformování třetího slévárenského modelu ozubeného kola (viz. Obr. 23) jsem rovněž musel opatrně postupovat. Zhotovený odlitek byl poměrně vydařený, avšak vznikly drobné nedostatky. V odlitku se vytvořil uzavřený vzduch, který vidíme pouhým okem díky transparentnosti materiálu. Některé místa nedotekly, především v místech vtoku do formy.

Nedostatkům, které u odlitků vznikly, by se dalo předejít celkovou lepší přípravou před zahájením celé práce a větší pečlivostí při odlévání. A také čas, který jsem na praktickou část měl, nebyl pro úspěšné dokončení práce dostatečný.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] BERNÁŠEK, V. *Technologie slévání*. 3. upravené vydání. Plzeň: Západočeská Univerzita, 2006. s.175. ISBN 80-7043-491-0.

[2] BEDNÁŘ, B. *Technologičnost konstrukce odlitků*. Vyd. 1.Ústí nad labem: UJEP, ÚTŘV, 2004. s.175. ISBN 80-7044-614-5.

[3] PLACHÝ, J. *Teorie slévání*. Vyd. 4.Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. s.164.

ISBN 80-01-02471-7.

[4] Strojírenská technologie. [online]. [2012-02-06]

WWW:<http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/kap4.pdf>.

[5] POBOŘIL, J. *Aplikace rapid prototypingu ve slévárenské technologii 2010 UTB Zlín*

WWW:<http://www.dsspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/12409/pobo%C5%99il_2010_bp.pdf?sequence=1>.

[6] HLUCHÝ, M.; KOLOUCH, J. *Strojírenská technologie 2*. upravené vydání. Praha 2001. s.316. ISBN 80-7183-244-8.

[7] LEINVEBER, J.; VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Upravené vydání. Praha 1999. s.985.

ISBN 80-7183-164-6.

[8] Sova.sk Solid Edge ST2. [online]. [2012-05-13]

WWW:< http://www.sova.sk/Documents/File/Predstavujeme%20SE%20(cz).pdf>.

[9] Havel-Composites.com [online]. [2012-05-15]

WWW:<http://www.havel-composites.com/shop/22-Epoxidy-MGS/7-Epoxidova-pryskyrice-L-285-MGS.html?pls=0>.

[10] www.mitutoyo.com [online]. [2012-05-20]

WWW:<http://www.mitutoyo.com/pdf/1988_sj-301.pdf >

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD - Computer aided design

SLS - Selective Laser Sintering

LOM - Laminated Object Manufacturing

FDM - Fused Deposition Modelling

MJS - Multiphase Jet Solidification

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Výkres součásti a odlitku [6]……...15

Obr. 2. Konstrukce odlitku s ohledem na dělení modelu a formy [2]…….……...…16

Obr. *3. Slévárenské úkosy modelů a odlitků [7]*……..……...….17

Obr. 4. Vliv hrany na strukturu kovu [6]……...……...……...20

Obr. 5. Schéma vtokové soustavy [6]……...……23

Obr. 6. Tvar a způsob plnění vtokových jamek [1]……..24

Obr. 7. Zařízení pro rovinné šablonování [1]……...…...32

Obr. 8. Zařízení pro rotační šablonování [1]……..……33

Obr. 9. Stereolitografie [5]……...……...37

Obr. 10. Technologie SLS [5]……..38

Obr. 11. Technologie LOM [5]……38

Obr. 12. Technologie FDM [5]……...…….39

Obr. 13. Model ozubeného kolo, model klíče s otvírákem na láhve…….42

Obr. 14. Školní 3D tiskárna Object Eden 250……..45

Obr. 15. Zobrazení součásti a polohy na vyjímatelné desce……...…….46

Obr. 16. Očištěný slévárenský model ozubeného kola…….47

Obr. 17. Očištěný slévárenský model klíče s otvírákem……...47

Obr. 18. Dvoudílná lukoprenová forma ozubeného kola…….……49

Obr. 19. Lukoprenová forma klíče s otvírákem……49

Obr. 20. Lukoprenová forma připravena gravitačním litím……50

Obr. 21. Zatížená lukoprenová forma klíče s otvírákem po zalití epoxidové pryskyřice……...51

Obr. 22. Zatížená lukoprenová forma ozubeného kola po odlití epoxidové pryskyřice…..52

Obr. 23. Zatížená lukoprenová forma ozubeného kola po odlití epoxidové pryskyřice…. 52

Obr. 24. Odlitky z epoxidové pryskyřice……..53

Obr. 25. Zobrazení měřených míst……...……54

Obr. 26. Vyznačený povrch měřených míst……..58

Obr. 26. Měřené předměty……...59

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Technologické úkosy modelů a odlitků [7]…….……17

Tab. 2. Konstrukční úkosy modelů a odlitků [7].....17

Tab. 3. Základní technické údaje [5]……...44

Tab. 4. Fyzikálně – mechanické vlastnosti……...48

Tab. 5. Navržené rozměry součásti……..55

Tab. 6. Skutečné rozměry modelu po tisku……...55

Tab. 7. Rozměry odlitku, odlity do lukoprenových forem s využitím vakua…….56

Tab. 8. Rozměry odlitku, odlity do lukoprenové formy bez využití vakua……57

Tab. 9. Naměřené hodnoty drsnosti povrchu……...60