

Aplikace rapid prototypingu ve slévárenské technologii

Josef Pobořil

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

nascannované zadání s. 1

nascannované zadání s. 2

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Cílem této práce je navrhnout výrobek a z něho vytvořit slévárenský model. Ten vyrobí pomocí technologie rapid prototyping. Ze slévárenského modelu vytvoří formu. Do této formy nakonec odlít kov a získat tak odlitek. V teoretické části je pak rozebrána slévárenská technologie.

Klíčová slova:

Slévání, konstrukce součásti, slévárenský model, rapid prototyping

ABSTRACT

The aim of this work is to design products to and from a foundry model, which is produced using rapid prototyping technology. From the foundry model create a mold. By the end of this into the mold is to cast the metal and get the casting. The theoretical part analyzes the foundry technology.

Keywords: Casting, Construction Components, Foundry Model, Rapid Prototyping

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

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

OBSAH

ÚVOD	11
1 TEORETICKÁ ČÁST	12
1 KONSTRUKCE FOREM (VTOKOKOVÁ SOUSTAVA)	13
1.1 VTOKOVÁ JAMKA	14
1.2 VTOKOVÝ KANÁL	16
1.3 ROZVÁDĚCÍ KANÁL, STRUSKOVÁK	16
1.4 VTOKOVÉ ZÁŘEZY	17
2 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE ODLITKŮ	19
2.1 ZÁSADY PRO USNADNĚNÍ VÝROBY MODELOVÉHO ZAŘÍZENÍ, FOREM A JADER.....	19
2.1.1 Tvar odlitku	19
2.1.2 Dělení modelu a forem	20
2.1.3 Úkosy	20
2.1.4 Dutiny	20
2.1.5 Otvory ve stěnách	21
2.1.6 Zaoblení hran odlitků	22
2.2 ZÁSADY KONSTRUKCE ODLITKŮ S OHLEDEM K PLNĚNÍ FORMY	22
2.3 ZÁSADY KONSTRUKCE ODLITKŮ S OHLEDEM NA STAHOVÁNÍ PŘI PLNĚNÍ	23
3 FORMOVACÍ MATERIÁLY	26
3.1 OSTŘIVO.....	26
3.2 POJIVO.....	26
3.3 POMOCNÉ LÁTKY.....	26
4 MODELOVÉ ZAŘÍZENÍ	27
4.1 MODELOVÉ ZAŘÍZENÍ PRO RUČNÍ FORMOVÁNÍ.....	27
Modely přirozené.....	27
4.2 MODELOVÉ ZAŘÍZENÍ PRO STROJNÍ FORMOVÁNÍ.....	29
4.3 MATERIÁLY PRO VÝROBU MODELŮ A JADERNÍKŮ.....	30
5 VÝROBA NETRVALÝCH (PÍSKOVÝCH) FOREM KONVENČNÍMI ZPŮSOBY	31
5.1 RUČNÍ FORMOVÁNÍ.....	31
5.1.1 formování na model	31
5.1.2 formování šablonováním.....	32
5.2 STROJNÍ FORMOVÁNÍ.....	33
6 VADY ODLITKŮ	35

6.1	VADY TVARU, ROZMĚRU A VÁHY	35
6.2	VADY POVRCHU	37
6.3	PŘERUŠENÍ SOUVISLOSTI	38
6.4	PŘERUŠENÍ SOUVISLOSTI	38
6.5	PŘERUŠENÍ SOUVISLOSTI	39
6.6	VADY STRUKTURY.....	39
6.7	VADY CHEMICKÉHO SLOŽENÍ, NESPRÁVNÉ FYZIKÁLNÍ NEBO MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	40
7	RAPID PROTOTYPING.....	41
7.1	STEREOLITOGRAFIE	41
7.2	TECHNOLOGIE LOM – LEPENÍ VRSTEV	42
7.3	TECHNOLOGIE SLS – SELEKTIVNÍ SLINOVÁNÍ MATERIÁLU LASEREM	43
7.4	TECHNOLOGIE FDM – NANÁŠENÍ VRSTEV ROZTAVENÉHO MATERIÁLU.....	43
7.5	TECHNOLOGIE MJS – NANÁŠENÍ VRSTEV MATERIÁLU TRYSKOU	44
8	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	45
II	PRAKTICKÁ ČÁST	46
9	TVORBA VÝROBKU A SLÉVÁRENSKÉHO MODELU.....	47
9.1	KONSTRUKCE VÝROBKU.....	47
9.1.1	Popis programu Inventor	48
9.2	VOLBA MATERIÁLU	48
9.3	KONSTRUKCE SLÉVÁRENSKÉHO MODELU	49
10	VÝROBA MODELU TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING.....	52
10.1	POPIS 3D TISKÁRNY OBJET 250 EDEN	52
10.2	SAMOTNÁ VÝROBA.....	53
10.3	ÚPRAVA MODELU PO TISKU	54
11	VÝROBA SÁDROVÉ FORMY	56
12	VÝROBA SÁDROVÉ FORMY KOMBINACÍ SLÉVÁRENSKÝCH METOD.....	58
12.1	VÝROBA LUKOPRENOVÉ FORMY	58
12.1.1	Popis Lukoprenu N 1522.....	58
12.1.2	Popis výroby.....	58
12.2	VÝROBA VOSKOVÉHO MODELU	60
12.3	VÝROBA OTEVŘENÉHO SÁDROVÉHO MODELU	60
12.4	VÝROBA UZAVŘENÉHO SÁDROVÉHO MODELU	61
13	ODLITÍ DO FOREM.....	63

13.1 POROVNÁNÍ ROZMĚRŮ.....	65
ZÁVĚR	67
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	68
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	69
SEZNAM OBRÁZKŮ	70
SEZNAM TABULEK.....	72
SEZNAM PŘÍLOH.....	73

ÚVOD

Slévárenství je možno definovat jako technologii, která se zabývá jednak vlastním technologickým procesem výroby odlitků ze slitin kovů, jednak vlastnostmi základních i pomocných surovin, používaných pro tuto výrobu. Slévárenská technologie je v určité oblasti použití velmi efektivní způsob jak vyrobit strojní součást požadovaného tvaru a vlastností. Efektivnost a výhody slévárenské technologie jsou ovšem na druhé straně kompenzovány poměrně vysokou technologickou i organizační náročností celého výrobního procesu.

Technologická náročnost je dána skutečností, že pro efektivní výrobu odlitků je nezbytná znalost a uplatnění celé řady vědních disciplin, jako fyzikální chemie, sdílení tepla, termodynamiky a dalších. K tomu přistupují vysoké a proměnlivé teploty, za kterých jednotlivé etapy výrobního procesu probíhají. Ty jednak znesnadňují sledování průběhu technologického procesu, jednak ztěžují jeho exaktní rozbor.

Organizační náročnost slévárenské výroby je pak dána odlišností dílčích výrobních technologií (výroba modelů, forem, tavení a lití) a tím i odlišností dílčích výrobních zařízení.

Výroba odlitků se v zásadě provádí do jednorázových (pískových) nebo trvalých (kovových) forem. Výroba do pískových forem je nejuniverzálnější metodou, jak vzhledem k odlévané slitině, tak i k velikosti odlitku. Odlévání do kovových forem zajišťuje zpravidla větší přesnost. Je omezeno cenou formy, velikostí odlitku i jeho materiálem. Je vhodné hlavně pro sériovou výrobu odlitků převážně z neželezných slitin. [1]

Ve vlastní slévárenské výrobě směřujeme historicky a vývojově k odlitkům se stále vyšší přesností, kvalitou povrchu a tvarovou složitostí, se zvýšenými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi, a to vše při nutně klesajících materiálových a energetických nákladech. Současné možnosti slévárenské technologie jsou dnes stále větší, díky pokroku v oblasti metalurgie a výroby forem a systému řízení jakosti. [5] Další možnosti pokroku pak nabízí využití počítačové techniky a metod z nich vyplývajících jako je např. Rapid Prototyping.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KONSTRUKCE FOREM (VTOKOKOVÁ SOUSTAVA)

Vtokovou soustavou se přivádí tekutý kov do dutiny formy. Její úprava může značně ovlivnit jakost odlitku. Nevhodná vtoková soustava bývá jednou z příčin různých vad odlitků, jako jsou např. zálupy, bublinatost, zdrobeniny, struskovitost, pískové vměstky, řediny apod. Proto je třeba věnovat vtokové soustavě velkou pozornost.

Správná funkce vtokové soustavy závisí:

- a) na průřezu jednotlivých částí vtokové soustavy
- b) na konstrukci (uspořádání) vtokové soustavy, která musí být přizpůsobena tvaru a rozměrům odlitku, jakož i vlastnostem odlévaného kovu
- c) na vlastním provedení (úpravě)

Správný průřez jednotlivých částí vtokové soustavy závisí na druhu odlévaného kovu, velikosti odlitku a na jeho složitosti (členitosti a tloušťce stěn).

Průřez jednotlivých částí vtokové soustavy musí umožňovat dostatečně rychlé plnění dutiny formy.

Při malé rychlosti zaplňuje kov formu zvolna, takže je menší nebezpečí, že se forma poškodí proudem kovu. Přitom je dosti času k tomu, aby možné nečistoty, jako struska a uvolněné části písku mohly vyplavat do nálitků.

Při pozvolném plnění formy však vzniká nebezpečí, že tenkostěnné části odlitku nezaběhnou, protože materiál ztuhne dříve, než se příslušná část formy zaplní. Také sálavé teplo roztaveného kovu působí déle na horní část dutiny formy, čímž může v těchto místech dojít k poškození formovací směsi a vzniku zálupů.

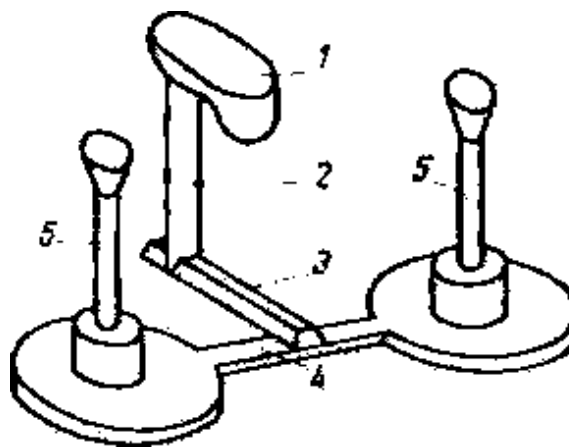
Při rychlém zaplňování formy zaběhnou i tenkostěnné části. Nevýhodou je, že proud kovu může poškodit jednotlivé části vtokové soustavy, dutiny formy nebo jader. Nemají-li uvolněné a stržené částice písku čas vyplavat do nálitků, působí v odlitcích pískové vměstky nebo vady na povrchu odlitků.

Při rychlém plnění formy je třeba formu dokonale odvdušnit a odplynit. Víření materiálu, jímž je rychlé plnění formy provázeno, může nepříznivě působit zejména při odlévání materiálů, jež snadno oxidují. V tom případě je nutno umístit do vtokové soustavy účinné

struskováky nebo i síta, aby nečistoty nedostaly do dutiny formy a nezpůsobily povrchové vady.

Vtoková soustava musí být přizpůsobena tvaru a velikosti odlitku a vlastnostem odlévaného kovu.

Jednotlivé části vtokové soustavy obr.1 jsou tyto : Vtoková jamka 1, Vtokový kanál 2, struskovák 3, Vtokový zářez 4. Některé části (např. struskováky) mohou někdy chybět. Při výrobě nízkých odlitků jednoduchého tvaru se někdy nedělá zvláštní vtok a kov se odlévá přímo do nálitku. [2]



obr. 1. Schéma vtokové soustavy u dvou odlitků s nálitky [2]

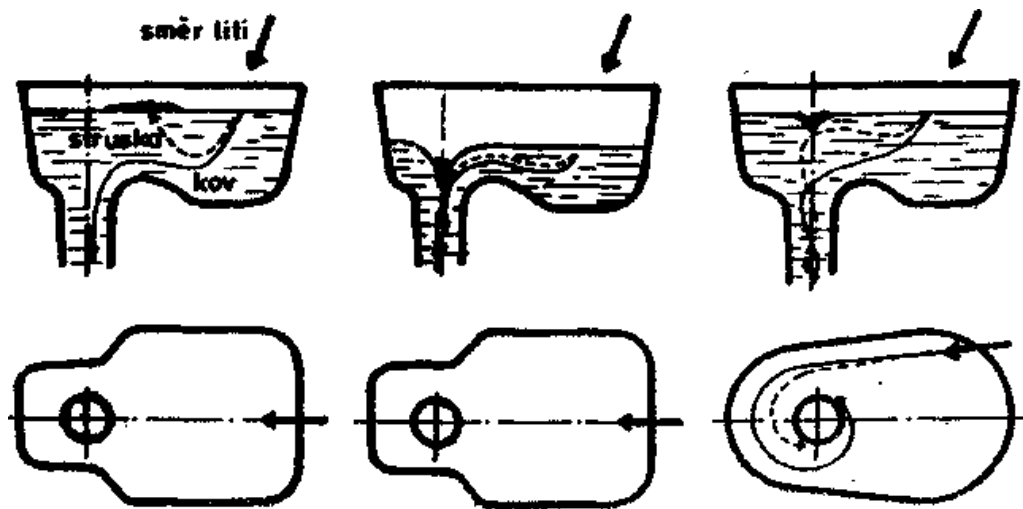
1.1 Vtoková jamka

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 taveninou.

Má-li vtoková jamka plnit svoji rafinační funkci, je nezbytné, aby tavenina v ní dosahovala přiměřené výšky - viz obr. č.2 vlevo. V opačném případě se nečistoty dostávají buď přímo s proudem taveniny nebo prostřednictvím vertikálního víru ve vyústění, dále do vtokového kanálu (obr. č. 2 upro-

střed). Také nesprávný směr proudu kovu při plnění vtokové jamky podporuje vznik vírů a turbulence (obr. č. 2 vpravo).



obr. 2. Tvar a způsob plnění vtokových jamek [1]

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 žárovzdorným nátěrem a dobře vysušená, se vkládá před odlíváním 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. Z tohoto důvodu se u menších odlitků často vtoková jamka nahrazuje vtokovou nálevkou. Metalurgickou čistotu pak zajišťuje keramická vložka (tzv. cedítko), která se vkládá na dno nálevky.

U vtokových soustav bez rafinačního účinku se používají vtokové nálevky (lepší využití kovu, menší pracnost). Jedná se v podstatě o rozšíření vtokového kanálu s tím, že tyto nálevky slouží pouze k usměrnění a uklidnění proudu taveniny z licí pánve. [1]

1.2 Vtokový kanál

Vtokový kanál přivádí kov z jamky do roviny zářezů. Má obvykle kruhový průřez, někdy též obdélníkový.

Vtokový kanál je obvykle svislý. Někdy však může být i vlnitý, a to proto, aby materiál plnil formu klidně a bez víření. Jde-li o vysoké odlitky z lehkých slitin, používá se též vtokového kanálu lomeného, přerušovaného v dělicích rovinách vodorovnými spojkami. Podobně jako u vlnitého kanálu snižuje se tím rychlost proudění a zabrání se víření kovu ve formě.

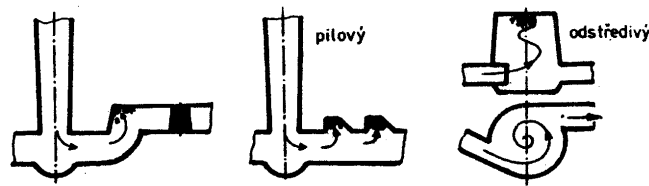
Vtokový kanál se umísťuje obvykle na okraji nebo v rohu formovacího rámu, kde je poměrně špatný přístup k přechování. Špatné upěchování by však mohlo způsobit uvolňování formovacího písku při lití, proto je třeba věnovat velkou péči důkladnému upěchování vtokového kanálu. U velkých forem na ocelové odlitky se vtokový kanál dělá ze šamotových trubek, které se do formy zapěchují. [2]

1.3 Rozváděcí kanál, struskovák

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

S ohledem na menší měrnou hmotnost uvažovaných nečistot bude k jejich hromadění docházet v horní části odstruskovače. Protože rychlost stoupání nečistot je pro drobné částice velmi malá, upravuje se někdy konstrukce odstruskovače tak, aby se možnost oddělení nečistot posílila.



obr. 3. Konstrukční úpravy struskováku [1]

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

1.4 Vtokové zářezy

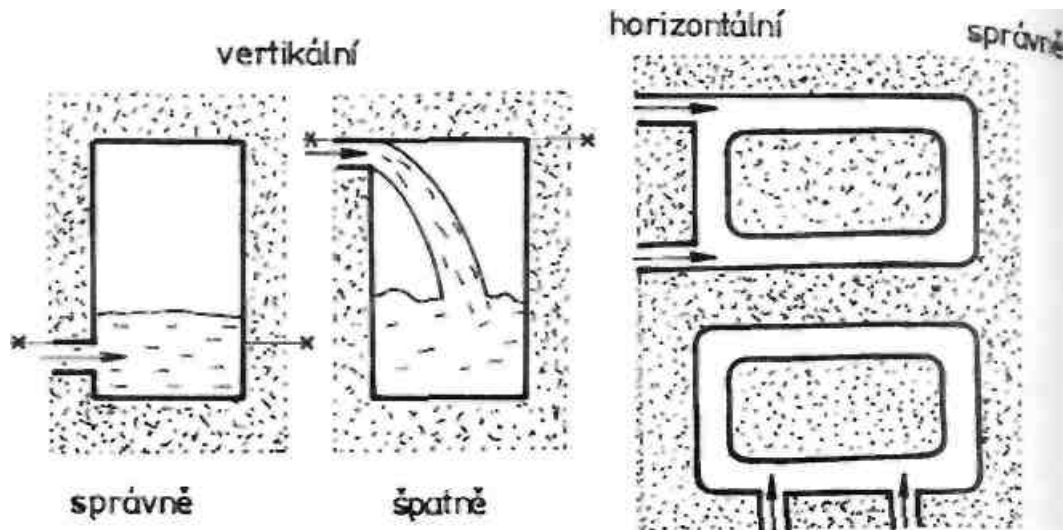
Vtokové zářezy jsou poslední částí vtokové soustavy a zpravidla bývají též místem nejužším. Na jejich tvaru, velikosti, počtu a zejména na jejich rozmístění, závisí dokonalé zaplnění vlastní dutiny formy tekutým kovem.

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 rozstříku taveniny a vzniku vírů. Proud kovu by rovněž neměl působit erozivně na stěny formy či 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. Názorně ukazují správné a nesprávné rozmístění vtokových zářezů (tzv. „vtoků“) z tohoto hlediska příklady na obr. č. 4.

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



obr. 4. Rozmístění vtokových zářezů [1]

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. Tvar vtokových zářezů lze charakterizovat jednak jejich příčným průřezem, jednak průřezem podélným.

Příčný průřez bývá většinou trojúhelníkový, pokud jej slevač do formy vyřezává, ovšem užívá se i průřezů tvaru kruhové úseče a lichoběžníkových. V případě zářezů, které jsou vytvořeny ze šamotových tvarovek, je jejich průřez kruhový nebo obdélníkový.

Podélný průřez zářezů je v převážné míře obdélníkový s konstantní velikostí po celé délce vtokového zářezu. Z toho vyplývá konstantní rychlost taveniny a nemění se charakter proudu ve vtokových zářezech.[1]

2 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE ODLITKŮ

Obecně je při návrhu odlitku třeba zvažovat široké spektrum hledisek, které určují jeho funkční způsobilost i hospodárnost výroby. Rozhodující faktory je možno rozdělit do následujících bodů:

- Funkční a provozní hlediska
- Materiálové hlediska
- Konstrukční vlivy
- Technologické vlivy
- Jakostní hlediska
- Ekonomická hlediska
- Provozní hlediska

2.1 Zásady pro usnadnění výroby modelového zařízení, forem a jader

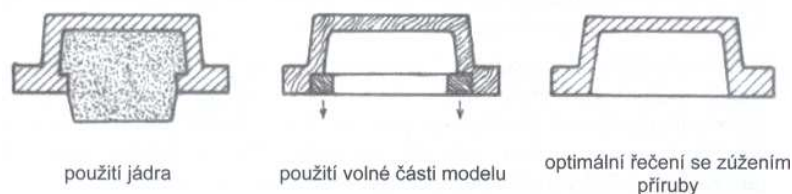
2.1.1 Tvar odlitku

-Odlitek má být sjednocením pokud možno jednoduchých geometrických těles, kde převládají rovinné a válcové plochy.

-Počet vystupujících a vpadlých částí na povrchu odlitku má být co nejmenší.

-Potřebné výstupky dutiny a žebra mají být orientovány kolmo k předpokládané dělicí rovině formy.

-Otevřené dutiny se mají pokud možno k dělicí rovině rozšiřovat.



obr. 5. Konstrukce odlitků z hlediska formování [3]

-Při volbě tvaru odlitku je potřeba pamatovat aby počet jader a dílů formy byl co nejmenší.

-Je-li však nezbytné vytvářet dutinu pomocí jader, bývá možné vytvořit pomocí těchto jader i případné výstupky a žebra, které je vhodné orientovat dovnitř.

-Potřebné výstupky a žebra mají mít co nejmenší výšku, co nejmenší poměr výšky k šířce a co největší vzdálenost mezi sebou navzájem.

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

-Tvar odlitku má umožňovat snadné vyjímání modelu z formy v dělicí rovině. [3]

2.1.2 Dělení modelu a forem

-Konstrukce odlitku má brát ohled na potřebu dělení formy. Dělicí plochy modelu a formy mají být pokud možno rovinné.

-Dělicí plocha formy musí být volena tak, aby plochy u nichž záleží na dodržení jejich přesné polohy, byly vytvářeny jednou částí formy. [3]

2.1.3 Úkosy

-Při návrhu odlitku určeného k výrobě běžnými technologiemi je třeba počítat s tím, že model (i jaderníky) je nutné opatřit úkosy umožňujícími vyjímání modelu a jeho částí z formy.

-Doporučované hodnoty úkosů dle ČSN EN 12890. [3]

2.1.4 Dutiny

-Dutiny v odlitcích mají mít pokud možno jednoduchý tvar.

-Tvar jader musí umožnit jejich snadné založení do dutiny formy.

-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.

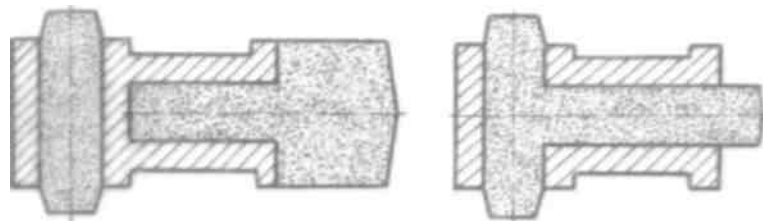
-Jádra ve vodorovných jednostranně otevřených dutinách musí být zajištěna podpěrkami, které zůstanou zality v odlitku.

-Dutiny v odlitku mají ústít na povrch otvory umístěnými pokud možno v dělicí 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 ústít 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.



obr. 6. Zvýšení přesnosti odlitku propojením jeho dutin [3]

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

-Složitě dutiny je doporučováno vytvářet pomocí většího počtu jednodušších jader

-Je třeba umožnit únik plynů z jader dostatečně velkými otvory ve stěnách odlitků (známkami jader).

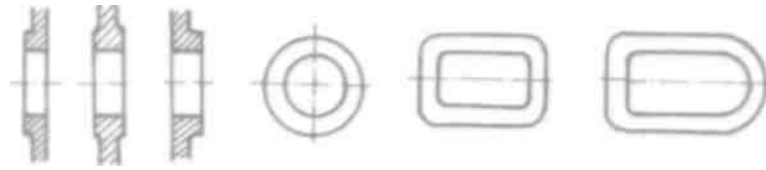
-Dutiny v odlitku nemají mít ostré kouty ani úzké protáhlé nebo zaslepené kapsy, v nichž dochází k zapékání formovací směsi.

-Ústí dutin na povrch odlitků má mít kruhový, oválný nebo dostatečně zaoblený průřez. [3]

2.1.5 Otvory ve stěnách

-Velké otvory se skoro vždy předlévají.

-Okraje otvorů se doporučuje zesilovat na zhruba dvojnásobek tloušťky stěny. [3]



obr. 7. Doporučované ústí dutin v odlitcích [3]

2.1.6 Zaoblení hran odlitků

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

- omezení poškozování hran modelového zařízení při manipulaci a formování
- usnadnění pohybu směsi při formování a tím umožnění jejího rovnoměrného zhutnění i v místech, kde má model značné výškové rozdíly
- zvýšení odolnosti formy proti porušení
- usnadnění přesného zaplnění koutů formy tekutým kovem
- vyrovnání rychlosti chladnutí k získání rovnoměrné struktury
- omezení nebezpečí zranění při manipulaci s odlitkem
- zlepšení přilnavosti případných povlaků
- získání přitažlivějšího vzhledu odlitku [3]

2.2 Zásady konstrukce odlitků s ohledem k plnění formy

- Z hlediska slévárenské technologie hrozí v příliš tenkých stěnách nezaběhnutí nebo vznik zavalenin.
- Nejmenší doporučené tloušťky stěn odlitků jsou závislé především na typu slitiny a způsobu lití.
- 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 větších ploch doporučuje používat průběžná žebra, která vytvoří kanály usnadňující rychlé zaplnění celého odlitku.

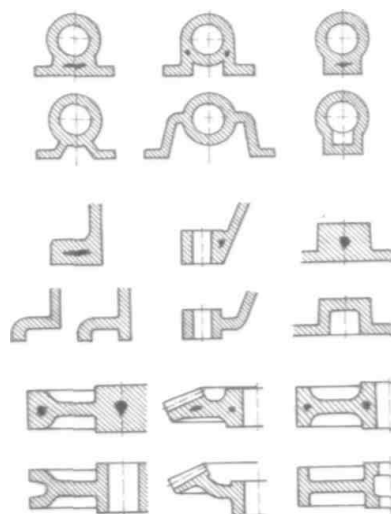
-Je třeba pamatovat na odvod plynů z dutiny formy, výstupků formy obklopených kovem a zejména z jader. [3]

2.3 Zásady konstrukce odlitků s ohledem na stahování při plnění

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.

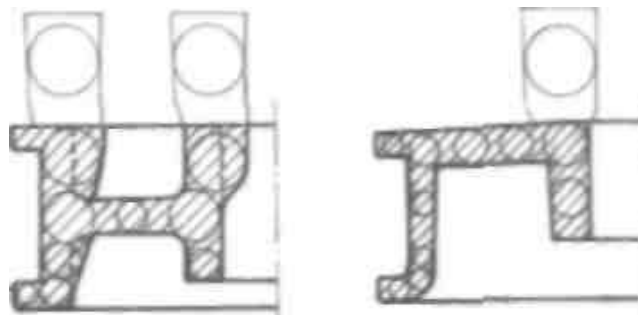
Při konstrukci odlitků s ohledem na potlačení nebezpečí vzniku vad vyvolaných objemovými změnami při tuhnutí, zmenšení počtu a velikosti potřebných nálitků a omezení potřeby zvláštních technologických opatření (užívání chladítek, izolačních a exotermických obkladů, technologických přísad, speciálních postupů lití 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, které mají rozsáhlejší oblast působnosti nálitků a nižší sklon ke vzniku porezity způsobené objemovými změnami při tuhnutí zbytku taveniny.
- Minimalizovat objem kovu v odlitku (obr. 8), tj. využívat odlehčení, vhodné profily, výztužná žebra a omezit požadavky na obrábění.



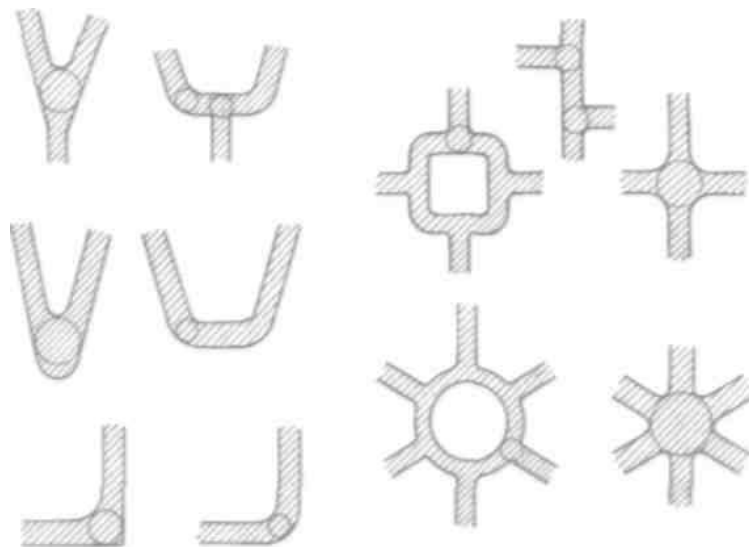
obr. 8. Zmenšování objemu odlitku a potlačování tepelných uzlů [3]

- Omezit počet tepelných uzlů, tj. zesílených částí odlitku, která tuhnou déle než místa sousední.
- Usilovat o takovou konstrukci odlitku, která umožní usměrněné tuhnutí, tj. od vzdálených míst směrem k nálitkům.
- V jednodušších případech je možno při konstrukci odlitku s ohledem na potlačení vzniku staženin vycházet z pravidla vepsaných koulí, podle kterého se mají koule vepsané do odlitku směrem k nálitku postupně zvětšovat (obr. 9).



obr. 9. Použití metody vepsaných koulí [3]

- Konstrukce odlitku má nabízet i vhodná a snadno přístupná místa pro připojení nálitku. Ty se obtížně usazují např. na šikmých a zakřivených plochách.
- Omezit velikost tepelných uzlů, která bývá zjednodušeně posuzována průměrem koule vepsané do příslušného místa odlitku .



obr. 10. Zmenšování velikosti tepelných uzlů podle průměru vepsaných koulí [3]

Pro zmenšení velikosti tepelných uzlů se doporučuje zejména:

- Rozložit vhodnou konstrukcí průsečíky tří a více stěn odlitku, kde vznikají těžko nálitkovatelné tepelné uzly.
- Nespojovat stěny pod ostrými úhly menšími než 60° .
- Volit co nejmenší poloměry zaoblení v místě styku stěn. S ohledem na potlačení vzniku trhlin a zapečenin jsou však v místě styku stěn určitá zaoblení nezbytná. [3]

3 FORMOVACÍ MATERIÁLY

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, tj. ostřiva a pojiva. [4]

3.1 Ostřivo

- je to nejčastěji křemičitý písek 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 používají dva druhy písku:

modelový písek - nový písek, pěchuje se přímo na model

výplňový písek - upravený starý písek, slouží k vyplnění zbytku formy [4]

3.2 Pojivo

- slouží k vázání jednotlivých zrn ostřiva. Pojiva rozdělujeme na:

a) anorganická - jíly, vodní sklo, cement, sádra

b) organická - pryskyřice, oleje, sacharidy

Formovací směsi obsahující do 8 % pojiva se nesouší ani nevytvrzují - tzv. lití "na syrovo", při obsahu 8 - 20 % pojiva se provádí sušení nebo chemické vytvrzování. Zvláštním druhem formovací směsi jsou tzv. CT písky. Tato formovací směs se skládá z křemičitého písku a vodního skla, která se vytvrzují průchodem CO_2 přes formu. Tento způsob je českým patentem. [4]

3.3 Pomocné látky

- nejčastěji se používají k úpravě povrchu forem a jako dělicí látky (velmi jemné křemičité písky, grafit). [4]

4 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 modelové 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 podle způsobu formování na:

modelové zařízení pro ruční formování

modelové zařízení pro strojní formování [1]

4.1 Modelové zařízení pro ruční formování

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

a) modely - přirozené

-s jaderníky

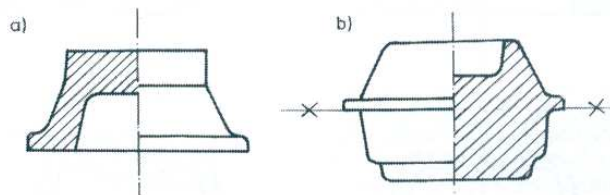
-kostrové

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. Přirozený model může být *nedělený* (obr.č.11a) nebo *dělený* v dělicí rovině formy (obr.č.11b). [1]



obr. 11. Přirozený model a) nedělený b) dělený

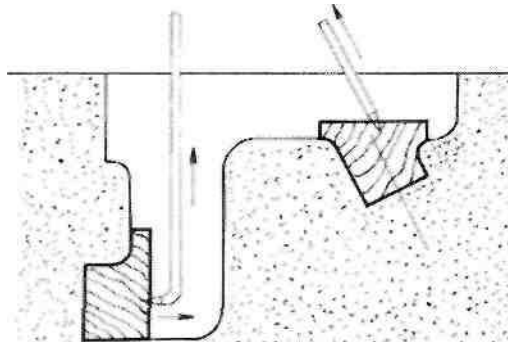
[1]

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 (jaderníky) pro výrobu potřebných jader [1]

Volné části modelů

Některé části modelů (např. výstupky na modelu mimo dělicí 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 vyjmají zvlášť. K vyjímání se zpravidla používá hrotu, který se zapíchne do volné části. [1]



obr. 12. Volné části modelu [1]

Kostrové části modelů

Tyto modely se používají v těch případech, kdy se má zhotovit malý počet velkých odlitků s geometricky nepravidlým povrchem. Místo modelu se zhotoví jen jeho kostra, podle níž se šablonováním zhotoví forma a často i jádra. [1]

Šablony

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

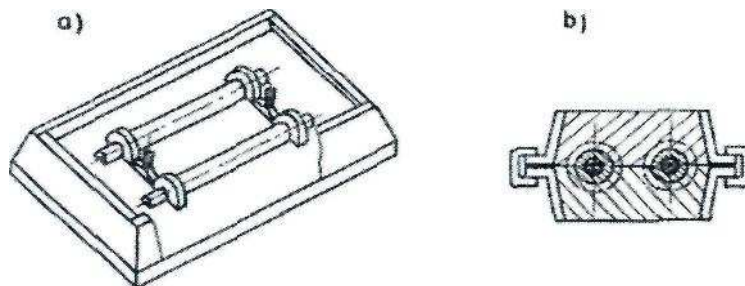
Šablony se dělí na:

rotační - pro šablonování rotačních tvarů

rovinné - pro podélné nebo příčné šablonování [1]

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 získaná se složí v kompletní formu. [1]



obr. 13. Formování do jader a) jaderník b) složená forma
[1]

Jaderníky pro ruční formování

Základní pomůckou ke zhotovení jádra je jaderník. Podle tvaru a velikosti jádra, popř. dle požadavku technologického postupu, se volí typ jaderníku.

Malá jednoduchá jádra se zhotovují v jednoduchých jadernících, z nichž se vyjmají "vyklopením". Pro složitější jádra je nutné použít jaderníky dělené, tj. složené z více částí tak, aby po rozebrání jaderníku bylo možné jádro vyjmout. [1]

4.2 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 zapuštěná kovová pouzdra s otvory pro vodící kolíky, pomocí nichž se na modelových deskách usazují formovací rámy.

Z hlediska konstrukčního uspořádání je modelové desky je dělíme na:

- jednostranné
- oboustranné
- reverzní

4.3 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. [1]

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.

Mezi nejrozšířenější druhy dřeva v modelářství patří smrk, borovice, jedle olše, javor, jasan, buk a ořech.

U dřevěných modelů a jaderníků má značný význam jejich povrchová úprava. Povrch modelového zařízení se především chrání před přímým účinkem formovacích směsí. Proto používané nátěry musí být tvrdé, otěruvzdorné a odolné vůči vlhkosti.

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.

Pro kovové modely se nejvíce používají slitiny hliníku, bronzy, mosazi, popřípadě slitiny zinku, kompozice nebo šedá litina. Zhotovují se zpravidla odléváním a mechanickým obráběním. Pro odlitek kovového modelu se musí zhotovit tzv. "mateřský model", jehož rozměry jsou větší jak o smrštění budoucího odlitku tak o smrštění kovu, z něhož se zhotovuje model.

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. V současné době se jedná zejména o následující hmoty:

-PVC, tvrzené tkanivo, epoxidové pryskyřice, polyuretanové pryskyřice [1]

5 VÝROBA NETRVALÝCH (PÍSKOVÝCH) FOREM KONVENČNÍMI ZPŮSOBY

Dutina formy je negativem budoucího odlitku. Rozměry dutiny jsou zvětšeny o hodnotu smrštění kovu. Druhy forem:

netrvalé - vyrábějí se z formovacích směsí (ostřivo, pojivo, pomocné látky), po odlití se forma rozbije, slouží k odlití jednoho odlitku

polotrvalé - vyrábějí se z formovacích směsí (šamot, žáruvzdorný jííl, grafit), po odlití se forma opraví, slouží k odlití 2 až 5 odlitků

trvalé - kovové (kokily), životnost forem až několik tisíc kusů [4]

5.1 Ruční formování

Podle druhu modelového zařízení, které se k formování použije, je možno ručního formování v podstatě rozdělit na: [1]

- formování na model
- formování šablonováním

5.1.1 formování na model

-Na modelovou desku se usadí spodní polovina modelu a spodní polovina rámu. Povrch modelu se popráší slévačským 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 ovzdušní napícháním průduchů až téměř k modelu. Tím je zaformován spodek formy.

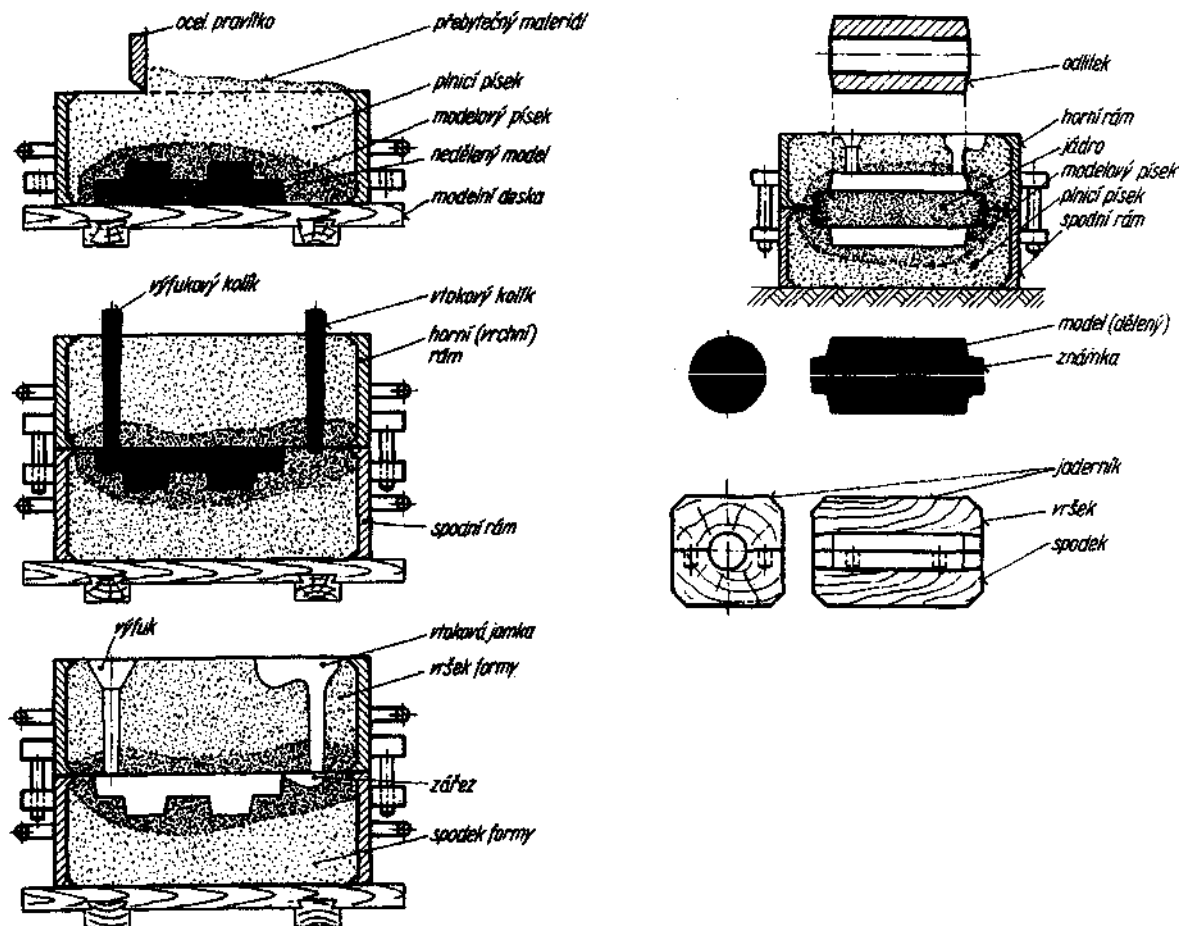
- Rám i s modelem se otočí o 180 stupňů, dělicí rovina se očistí.

-Nasadí se druhá polovina modelu, ustaví se vtoková soustava a výfuk. Na dolní rám se nasadí horní rám a oba se pomocí zaváděcích kolíků proti sobě zajistí. Dělicí rovina se posype dělicím práškem.

-Zaformování horního rámu - stejný postup jako u spodního.

-Rozebrání formy a vyjmutí modelového zařízení. Po vyjmutí modelu se upraví poškozené části, případně se zpevní pískováčky. Dutina formy se buď posype grafitem nebo se natře barvou. Forma na vysušení se vysuší. Má-li mít odlitek dutinu, založí se jádra. [4]

-Složení slévarenské formy - složit a zabezpečit proti vzlaku kovu. Tím je forma připravena k lití.

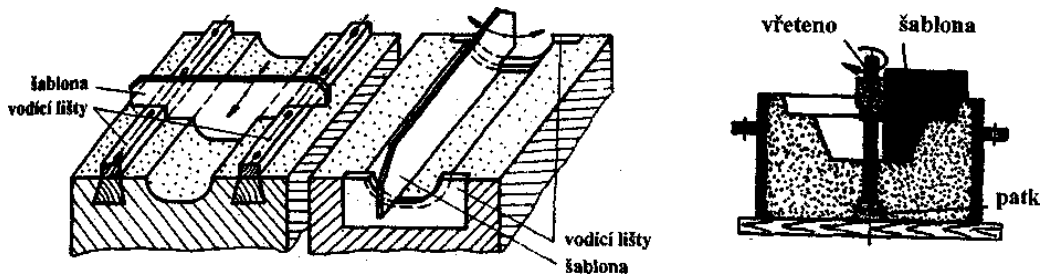


obr. 14. Ruční formování [4]

5.1.2 formování šablonováním

Vlastní zhuštění formovací směsi při šablonování se docílí pýchováním. Šablonou se pak odebírá část upěchované směsi tak, aby šablonovaný povrch nabyt tvaru budoucího odlitku.

[1]



obr. 15. šablonování [4]

5.2 Strojní formování

Používá se v sériové a hromadné výrobě pro menší 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 modelu z forem. Způsoby strojního formování: [4]

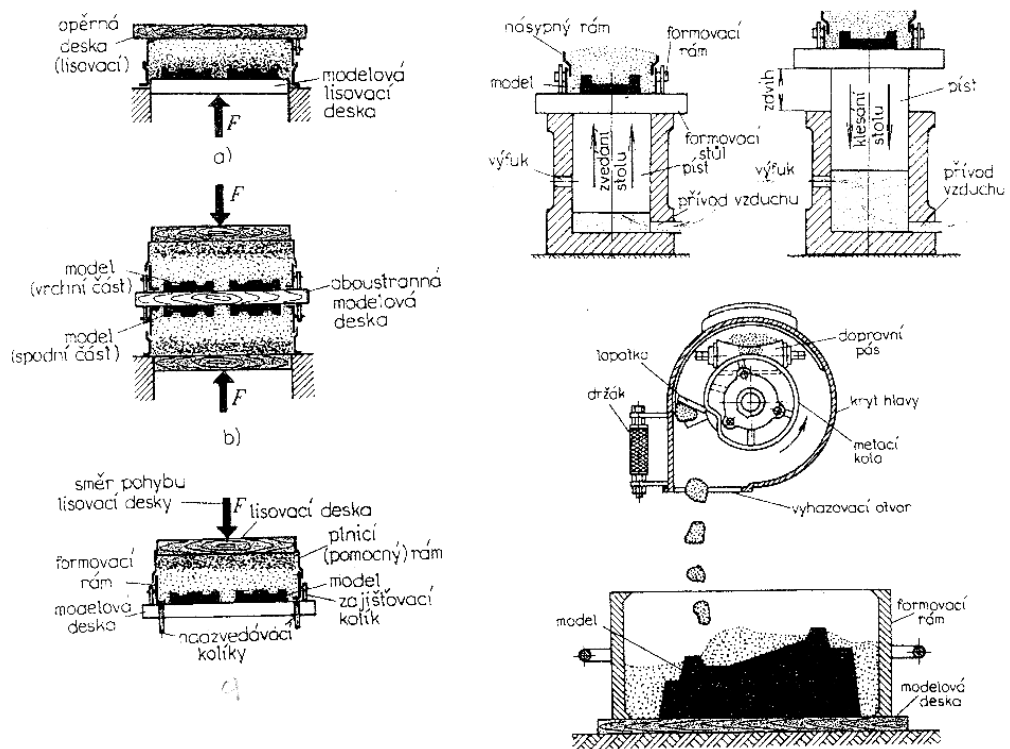
- 1) lisování (shora, zdola, oboustranné)
- 2) střešování
- 3) metání
- 4) foukání
- 5) vstřelování

A jejich kombinace jako např. střešování s dolisováním nebo vstřelování s dolisováním.

Strojní výroba jader:

Při sériové výrobě menších jader se nejčastěji používají následující dvě technologie: [1]

- a) foukání jader
- b) vstřelování jader



obr. 16. vlevo stroje lisovací (shora, zdola, oboustranné) vpravo stroje stršácí dole metací [4]

6 VADY ODLITKŮ

Vada odlitku je každá odchylka vzhledu, tvaru, rozměru, hmotnosti, makrostruktury a laboratorními zkouškami zjištěná odchylka vlastnosti od příslušných norem nebo technických podmínek.

Vady dělíme na:

přípustné - odchylky od norem nebo technických podmínek, které danou vadu dovozuje

nepřípustné - odchylky od norem nebo technických podmínek, které nedovolují opravu odlitku.

opravitelné - odchylky od norem nebo technických podmínek, jejichž oprava je těmito normami nebo sjednanými technickými podmínkami dovolena.

neopravitelné - odchylky od norem nebo technických podmínek, které nelze opravit a odlitek končí jako nevyhovující (zmetková) výroba.

Vady odlitků mohou být:

zjevné-jsou vady, které je možno zjistit při prohlídce neobrobeného odlitku prostým okem nebo jednoduchými pomocnými měřidly.

skryté- jsou vady, které je možno zjistit až po obrobení odlitku nebo pomocí vhodných přístrojů či laboratorními zkouškami.

Vady odlitku zahrnuje norma ČSN 42 1240, která je dělí do 7 základních skupin. Jednotlivé vady se označují dvoumístným číslem. První číslice vyjadřuje skupinu vad, druhá číslice vyjadřuje druh vady v rámci příslušné skupiny. Číselné označení vad je stejné pro všechny druhy odlitků ze slitin železa i ze slitin neželezných kovů.

6.1 Vady tvaru, rozměru a váhy

Nezaběhnutí (11)

Popis vady - neúplně vytvořené tvary odlitku, způsobené nedostatečným vyplněním formy nebo vytečením kovu z formy po odlití.

Nejčastější příčiny vady:-nízká teplota kovu při lití, malá rychlost lití nebo dlouhá doba lití, neodvzdušněná forma, nevhodně umístěná vtoková soustava, nedostatečně vyztužená nebo zatížená forma, nedolitá forma.

Přesazení (12)

Popis vady - Posunutí jedné části tvaru odlitku proti druhé. Též posunutí dutin nebo otvorů proti povrchovému obrysu odlitku.

Nejčastější příčiny vady:-nedostatečné zajištění různých částí modelu proti posunutí, nesprávná poloha různých částí modelu při formování, zborcený nebo nabotnalý model, nesprávně složená forma, velká vůle ve známkách forem a jader, posunutí části formy nárazem.

Zatekliny (13)

Popis vady - výčnělky různého tvaru a velikosti na odlitku, nepředepsané výkresem.

Nejčastější příčiny vady:-nepřesně zhotovené modely a jaderníky, příliš velké rozklepání modelu ve formě, přílišná hustota kaše k utěsnění dělicí plochy mezi spodkem a vrškem formy, nedostatečné stažení nebo zatížení formy před litím.

Vyboulení (14)

Popis vady - nepravidelné místní deformace povrchu odlitků

Nejčastější příčiny vady:

-nesprávná volba formovací směsi, nevyhovující technologické vlastnosti formovací směsi, nedostatečné nebo nerovnoměrné upěchování formy nebo jádra, nedostatečná tuhost formovacích rámců.

Další vady:15 zborcení, 16 mechanické poškození, 17 nedodržení rozměrů, 18 nedodržení váhy [5]

6.2 Vady povrchu

Přípečetiny (21)

Popis vady - Hrubý, drsný povrch odlitků, vzniklý spečením formovací směsi s kovem odlitku.

Nejčastější příčiny vady: nevhodné složení nebo úprava formovací směsi, zejména její zrnitost a žáruvzdornost, znečištění formovací směsi (oxidy nebo struskou), nesprávná úprava povrchu formy (nátěr), vysoká teplota kovu při lití, nesprávný postup nebo nesprávná teplota při žíhání.

Zavaleniny (22)

Popis vady - rýhy nebo prohloubeniny se zaoblenými okraji, povrchové nebo procházející celou stěnou odlitku. Neslití proudu kovu, jež předčasně ztuhl ve formě.

Nejčastější příčiny vady: nízká teplota lití, malá rychlost lití, pomalé plnění formy, nevhodně umístěná vtoková soustava.

Zálupy (23)

Popis vady: mělké, úzké rýhy nebo prohloubeniny na povrchu odlitku zákryté šupinou kovu související s odlitkem. Tato šupina je od odlitku oddělená vrstvou formovacího materiálu.

Nejčastější příčiny vady:

-příliš rozlehlé vodorovné stěny odlitku, nevhodná formovací směs o velké teplené roztažnosti nebo malé vaznosti, nepravidelně upěchovaná forma, nepravidelné zalití spodních ploch formy, malá rychlost lití, přelévání kovu po plochách formy.

Výpotky (26)

Popis vady - zpravidla kapkovité útvary na vnějším povrchu odlitku (zejména z cínových nebo olověných bronzů) vzniklé vycezováním jednotlivých složek při tuhnutí slitiny.

Nejčastější příčiny vady: složení slitiny, při tuhnutí vznikají fáze s velkým rozdílem teplot tuhnutí, tuhá fáze je vytlačována z tuhé kůry odlitku vlivem smršťování této ztuhlé kůry nebo vlivem vylučujících se plynů uvnitř odlitku.

Další vady: 24 nárosty, strupy, 25 výronky, 27 okujení, opálení 28 omačkání, otlučení, pohmoždění [5]

6.3 Přerušeni souvislosti

Trhliny (31)

Popis vady křivolaké roztržení, nebo povrchové či vnitřní natržení stěny odlitku, vzniklé při vysokých teplotách.

Nejčastější příčiny vady: složení trhliny (náchylné jsou slitiny s velkým teplotním intervalem tuhnutí), příliš velké rozdíly v tloušťkách jednotlivých částí odlitku a náhlé přechody mezi nimi, uzavřená konstrukce odlitku, nevhodná teplota lití, zatekliny na odlitku, které brání smršťování.

Praskliny (32)

Popis vady - rovné nebo křivolaké roztržení stěny odlitku, vzniklé při nízkých teplotách.

Nejčastější příčiny vady: příčinou prasklin je vždy napětí v odlitku, vzniklé při chladnutí, velké rozdíly v tloušťce stěn odlitku, nesprávná konstrukce, složení slitiny, nesprávně zvolené nebo provedené tepelné zpracování, příliš tuhá, nepoddajná forma nebo jádro. [5]

6.4 Přerušeni souvislosti

Bubliny (41)

Popis vady - otevřené (povrchové) nebo uzavřené (vnitřní) dutiny ve stěně odlitku.

Nejčastější příčiny vady: nesprávný způsob tavení (špatná dezoxidace a odplynění kovu), nevysušený licí žlábek nebo pánev, navlhlá forma nebo jádro, nedostatečná prodyšnost formy nebo jader, oxidovaná nebo vlhká chladítka, vynechání, ucpání nebo zalití průduchu atd.

Bodliny (42)

Popis vady - malé protáhlé dutiny s hladkým povrchem, zpravidla 2 až 3 mm pod povrchem odlitku, ústící na povrch malými otvory.

Nejčastější příčiny vady: nesprávný způsob tavení (vlhké přísady, var ocelí), špatně odkysličená ocel, velká vlhkost formovací směsi, místní navlhčení formy nebo jádra, nevysušený žlábek pece nebo pánev.

Další vady: 43 staženiny, 44 řediny, 45 mikrostaženiny, 46 mikrobubliny [5]

6.5 Přerušeni souvislosti

Struskovitost (51)

Popis vady - otevřené (povrchové) nebo uzavřené (vnitřní) dutiny ve stěně odlitku úplně nebo částečně vyplněné struskou.

Nejčastější příčiny vady: vpuštění strusky při odpichu kovu do pánve, nedostatečné odstranění strusky z hladiny kovu, nesprávné odlévání, vpuštění strusky z pánve do vtokové jamky, při odlévání byla hladina kovu nízko ve vtokové jamce, nesprávná konstrukce nebo rozměry vtokové soustavy.

Zadrogeniny (52)

Popis vady - otevřené (povrchové) nebo uzavřené (vnitřní) dutiny ve stěně odlitku zcela nebo částečně vyplněné formovacím materiálem.

Nejčastější příčiny vady: nesprávné vlastnosti formovací směsi, špatné vyčištění složené formy, nedostatečné vyztužení formy nebo jádra, nesprávně vysušená (spálená) forma nebo jádro, udrobení formy nebo jádra při skládání.

Další vady: 53 nekovové vměstky, 54 broky, 55 kovové vměstky [5]

6.6 Vady struktury

Odmíšení (61)

Popis vady zřetelné oddělení dvou slitin odlišného složení v odlitku.

Nejčastější příčiny vady: slitina ze složek nemísitelných v tuhém stavu, špatně tříděný vsázkový materiál, vytlačování později tuhoucích složek slitiny uvnitř odlitku, pomalé chladnutí taveniny při velké tloušťce odlitku.

Další vady: 62 nevyhovující lom, 63 zatvrdlina zákalka, 64 obrácená zákalka, 65 nesprávná struktura [5]

6.7 Vady chemického složení, nesprávné fyzikální nebo mechanické vlastnosti

73 Nesprávné chemické složení, 72 Nevyhovující mechanické vlastnosti, 73 nevyhovující fyzikální vlastnosti [5]

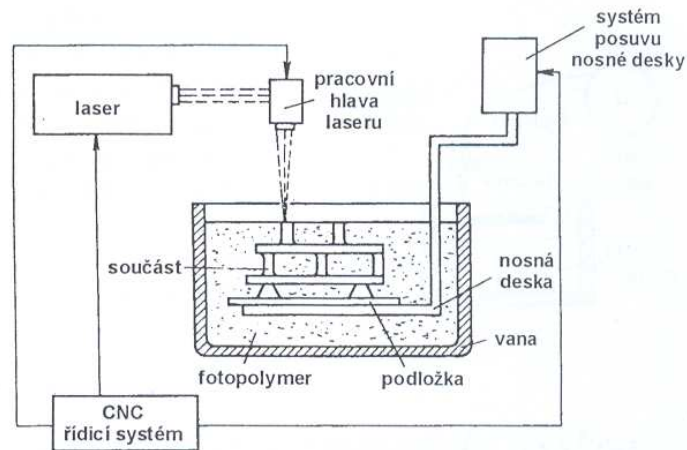
7 RAPID PROTOTYPING

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, ověření 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 odebráním 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 0,05 až 0,2 mm (podle tvaru a požadované přesnosti rozměru výrobku)
- získaná data slouží pro řízení vlastního výrobního zařízení (až do tohoto okamžiku jde o počítačové zpracování)
- výroba součástí [6]

7.1 Stereolitografie

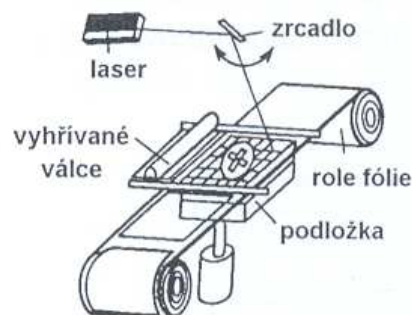
Princip metody spočívá ve vytvrzování tenkých vrstev fotopolymeru, který je citlivý na UV záření, paprskem vhodného laseru. Na základě informací o tvaru a rozměrech příčných řezů jednotlivými rovinami jsou vypočítány řídicí údaje, jimiž je ovládán pohyb paprsku laseru nad horní plochou lázně tekutého fotopolymeru. Součást je vytvářena na nosné desce, umístěné na počátku výrobního procesu těsně pod hladinou lázně fotopolymeru. Po vytvrzení (tj. po osvětlení) jedné vrstvy se nosná deska ponoří o tloušťku vrstvy hlouběji do lázně a začne se vytvářet další vrstva. CO₂ laserem lze vyrábět součásti i z kovu. Jedná se o slinování prášku speciální slitiny laserem. Není nutné používat žádná pojiva ani přehřev materiálu před jeho osvětlením laserem. [6]



obr. 17. Stereolitografie [6]

7.2 Technologie LOM – lepení vrstev

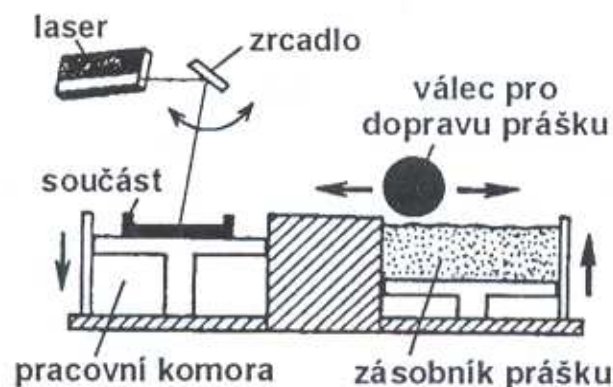
Princip metody LOM (Laminated Object Manufacturing) spočívá ve vyřezávání tvarů jednotlivých vrstev ze speciální fólie laserem a jejich postupném vrstvení nalepováním na sebe. Součást je opět vytvářena na svisle se pohybující nosné desce. Na již nanesenou vrstvu se přetáhne fólie opatřená tenkou vrstvou polyetylénu, ta se systémem vyhříváných 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 vyrobeny ze dřeva. [6]



obr. 18. Technologie LOM [6]

7.3 Technologie SLS – selektivní slinování materiálu laserem

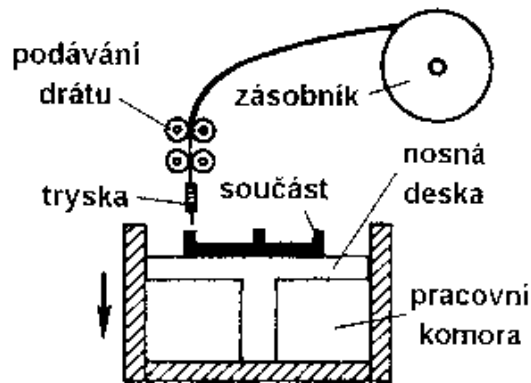
Princip metody SLS (Selective Laser Sintering) spočívá ve vytváření vrstev nanášením materiálu ve formě prášku a jeho následným slinováním paprskem laseru. Je možné vytvářet vrstvy tloušťky od 0,1 mm do několika desetin milimetru. Nanášený materiál je uložen v zásobníku vedle vlastní pracovní komory. Do pracovní komory je dopravován systémem válců, tam je ohříván na teplotu několika stupňů pod jeho bodem tání, osvětlen paprskem CO₂ lasem, a tím je slinována požadovaná plocha právě vytvářené 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 z polyamidem povlečených zrn ocelových prášků. [6]



obr. 19. Technologie SLS [6]

7.4 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 z vosku. [6]



obr. 20. Technologie FDM [6]

7.5 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 ohřivanou 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. [6]

8 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

V teoretické části bakalářské práce byla popsána technologie slévání. A to s důrazem na technologii lití do netrvalých pískových forem. Dále jsou popsány jednotlivé metody technologie rapid prototypingu.

Cílem praktické části je odlít výrobku do formy, kterou vytvoříme. Toho dosáhneme díky zaformování modelu vytvořeného pomocí technologie rapid prototyping, a proto jako první vytvoříme model v jednom z CAD programů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

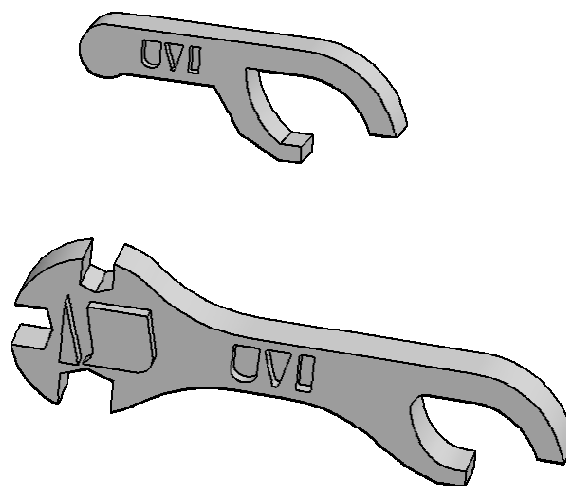
9 TVORBA VÝROBKU A SLÉVÁRENSKÉHO MODELU

9.1 Konstrukce výrobku

Jako první jsem začal konstrukcí samotného výrobku. Požadavky zněly, aby tento předmět byl reklamního charakteru, měl souvislost s UTB a zároveň, aby bylo možné vytvořit z něho slévárenský model. Dále z důvodu poměrně drahé výroby metodou rapid prototypingu, aby výrobek měl co možná nejmenší objem. Při této metodě výroby je totiž cena závislá především na hmotnosti respektive na objemu. Také to nejlépe neměl být pouze estetický reklamní předmět, ale měl mít i funkční hledisko.

Při výběru předmětu jsme rozhodoval například mezi kladívkem, oboustranným klíčem, reklamní plaketa, otvírákem nebo středovou osou z kola. Nakonec vzhledem k daným požadavkům jsem po poradě s vedoucím práce zavrhl středovou osu a kladívko z důvodu větší složitosti formy (dělicí rovina by totiž musela být v polovině součásti na rozdíl od ostatních předmětů kde je dělicí rovina na ploše výrobku), také by se zde obtížně umisťoval reklamní prvek. Ani plaketa se nehodila, protože zde nebylo splněno funkční hledisko. Rozhodl jsem se tedy pro výrobu otvíráku na láhve. Protože bylo rozhodnuto, že se budou vyrábět dva předměty, byl jako další zvolen klíč s otvírákem.

Tyto dva výrobky jsem kreslil pomocí programu Inventor Professional 2009.



obr. 21. Model otvíráku láhve (nahore), model klíče s otvírákem na láhve

9.1.1 Popis programu Inventor

Inventor obsahuje funkce pro adaptivní a parametrické 3D navrhování, tvorbu 2D výkresové dokumentace, prezentace a fotorealistické vizualizace a animace, i správu dokumentů a konstrukčních dat.

Základ konstruování v Inventoru tvoří součásti (parts, IPT), jejichž geometrie může být odvozena od parametrických 2D náčrtů (sketch). Tyto součásti pak mohou být kombinovány a vázány různými typy vazeb do sestav (assembly, IAM). Při změně kóty, parametru nebo geometrie automaticky přegenerována a aktualizována celá 3D sestava, včetně její výkresové dokumentace (pohledy, řezy, detaily, kusovníky). Vedle standardních nástrojů pro tvorbu objemových a povrchových 3D modelů obsahuje Inventor rovněž funkce pro modelování plechových součástí, svařence, ocelové konstrukce.

Pro tvorbu výkresové dokumentace nabízí Inventor 2D funkce podobné programu AutoCAD a výkresy zpracovává ve formátu DWG (nebo IDW). Pracuje i s datovými formáty dalších 3D aplikací. Publikuje rovněž výkresy a modely do formátu DWF a DWFx (2D/3D).[9]

9.2 Volba materiálu

Požadavek na materiál byl, aby při dostatečné pevnosti měl co možná nejnižší tavnou teplotu z důvodu možnosti odlít v dílnách Ústavu výrobního inženýrství, dále dobré slévárenské vlastnosti a také nízkou pořizovací cenu. Nakonec se rozhodlo pro použití cínu, který má tavnou teplotu pouze 231,93 °C avšak také velmi malou pevnost. Kvůli tomu se trochu podstoupilo od funkčnosti výrobku a výrobek bude sloužit spíše k demonstraci slévárenské technologie.

Tab. 1. Mechanické vlastnosti cínu[12]

Cín	
atomové číslo	50
Teplota tání	231,93 °C
Mez pevnosti	15-200 MPa
Hustota (šedý)	5.769 g.cm ⁻³
Modul pružnosti	47 GPa

9.3 Konstrukce slévárenského modelu

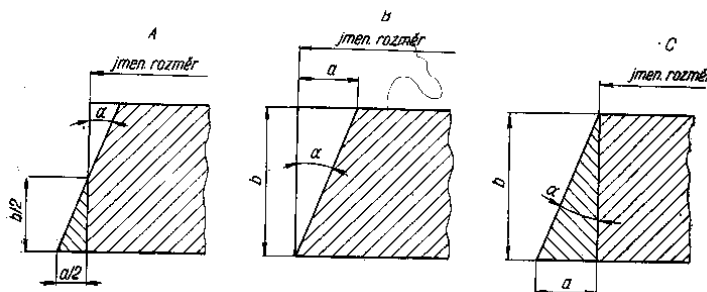
Protože nemůžeme samotný výrobek použít jako slévárenský model, z ohledu na zaformování součásti a pozdějšího lití do takto vytvořené formy, vytvoříme tento slévárenským model úpravou původní součásti.

Jako první upravíme model aby bylo možné ho vyjmout a proto zkosíme hrany podle tabulek[8] . Protože zde není zkosení pro polymerní materiál, zvolil jsem zkosení jako kdyby šlo o kovový model a to 1° . Dále je na výběr z úkosu A, B nebo C. Úkos A se používá u ploch odlitků, které zůstanou neobroběny. Úkos B se dělá u ploch odlitků, které zůstanou neobroběny, ale konstrukce odlitku dovoluje větší zmenšení jmenovitého rozměru. Úkos C se zase dělá u ploch odlitků, které budou obroběny, nebo neobroběny, avšak konstrukce odlitku nedovoluje zmenšení uvedeného jmenovitého rozměru [8]. Pro náš případ jsem zvolil úkos B.

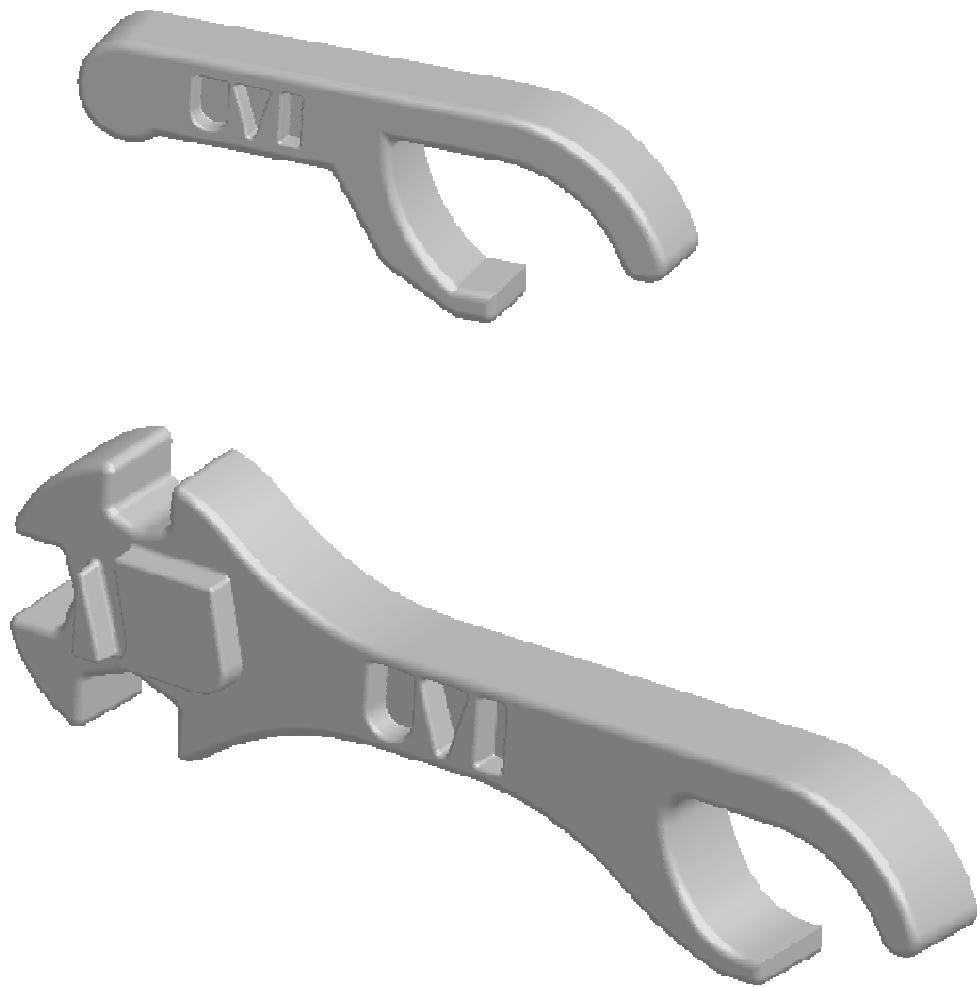
Dále jsem kvůli lepšímu zatečení, k omezení poškození hran při formování aj. zaoblil hrany. Ve strojírenských tabulkách [8] jsou dány poloměry zaoblění, které by měli být přednostně voleny, já však kvůli malým rozměrům jsem volil poloměry, které byly vzhledem k velikosti použitelné a to i na úkor možného horšího zatečení.

Slévárenský model musí být také zvětšený o hodnotu smrštění kovu, která je u cínu 2,1%.

Tyto úpravy jsem rovněž udělal v programu Inventor. Pouze u zvětšení modelu o hodnotu smrštění kovu jsem byl nucen převést model do programu Catia. K tomu účelu jsem součást jsem součást uložil do formátu .stp. Díky tomu jsem mohl součást nakreslenou v inventoru otevřít v catii a zvětšit model o hodnotu smrštění.



obr. 22 Druhy zkosení [7]

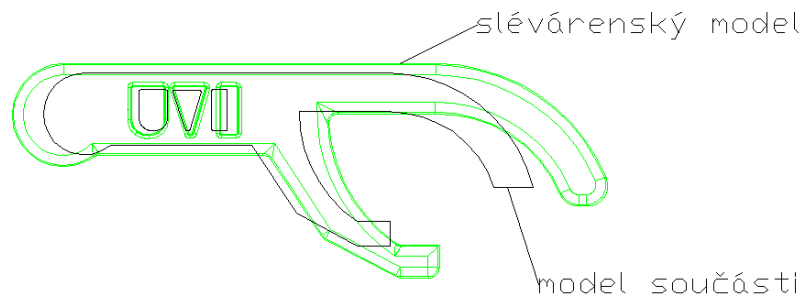


obr. 23. Slévárenské modely

Tab. 2. Porovnání objemu výrobku a slévárenského modelu

	Součást otvíráku		Součást otvíráku s klíčem	
Objem modelu	V_1	3887,8 mm ³	V_2	13656,5 mm ³
Objem slévárenského modelu	V_1'	4188,1 mm ³	V_2'	14121,7 mm ³

Znázornění zvětšení a zaoblení slévárenského modelu oproti modelu součásti ukazuje obr. 24. (kvůli názornosti je zvětšení větší než ve skutečnosti)



obr. 24. Porovnání modelu součásti a slévárenského modelu

10 VÝROBA MODELU TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING

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

10.1 Popis 3D tiskárny Objet 250 Eden

Tab. 3. Základní technické údaje [10]

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 (High Speed) - síla vrstvy 32 mikronů - 12mm / hodinu / pás 6cm

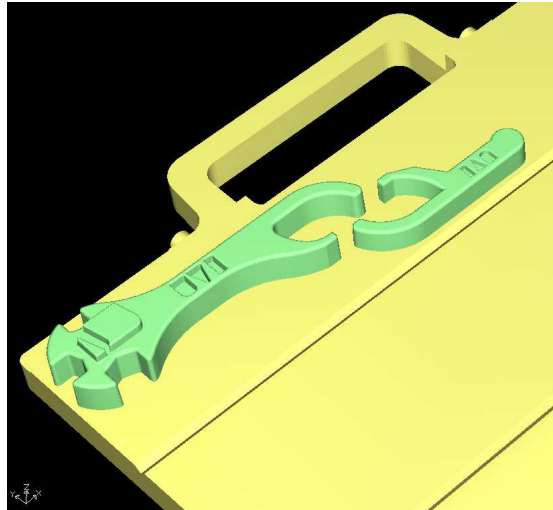
[10]



obr. 25. Školní 3D tiskárna

10.2 Samotná výroba

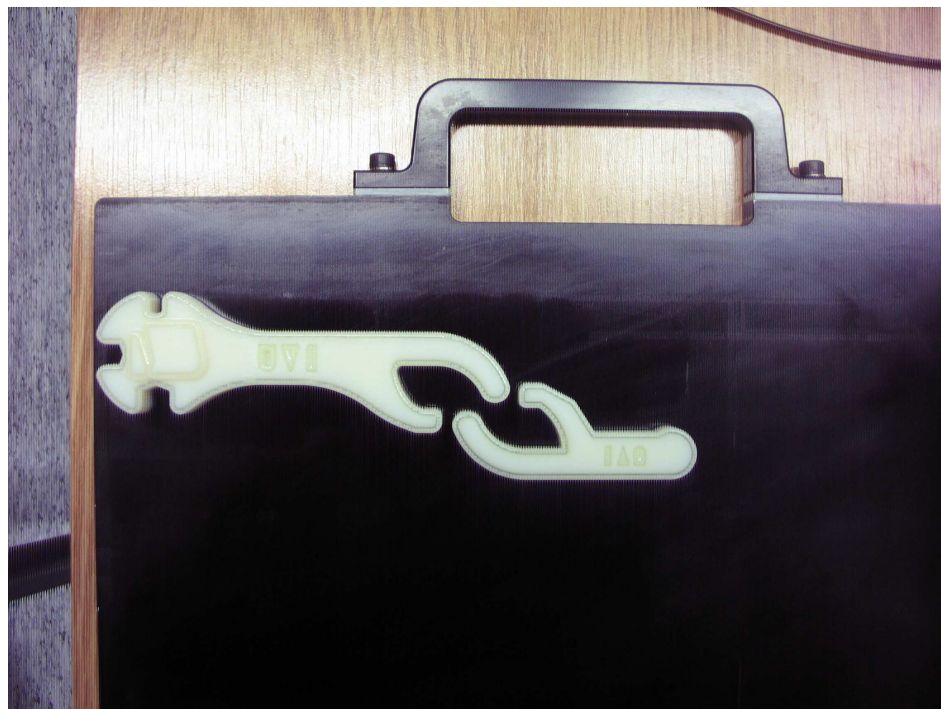
Abych mohl vytisknout svoje součásti musel jsem vytvořené dílce v inventuru převést do vstupního formátu tiskárny STL (Stereo Litography nebo Standard Triangulation Language). Tento formát reprezentuje velmi jednoduchý zápis trojrozměrných objektů složených z jednotlivých trojúhelníkových plošek. Po převedení už stačí zapnout tiskárnu. Z výběru materiálů, které tiskárna k tisku používá, byly součásti použité jako hlavní materiál vero white a jako pomocný pak fullcure.



obr. 26. Zobrazení součástí a polohy na vyjimatelné desce

10.3 Úprava modelu po tisku

Po tisku se součásti, před použitím musí očistit od podpůrného materiálu, který během tisku slouží k snadnému oddělení materiálu od podložky, k ochraně výrobku a také umožňuje tisknout i vodorovné otvory. Během tisku se výrobky tisknou na vyjimatelnou podložku.



obr. 27. Podložka s podpůrným materiálem obklopujícím samotný tvar výrobků

Součást jsem očistil pomocí vlažné vody a polymerního nožíku, abych součásti nepoškodil.



obr. 28. Očištěný slévárenský model klíče s otvírákem



obr. 29. Očištěný slévárenský model otvíráku (zde již s odvětráním)

11 VÝROBA SÁDROVÉ FORMY

Při rozhodování o formovacím materiálu, který se použije na formu, bylo rozhodnuto o sádře a to především kvůli nízkým nákladům na pořízení. Ostřivem je tedy sádra a pojivem voda.

Abych mohl součásti obtisknout do sádry a opět vytáhnout, nalepil jsem na horní plochu kužele od vtokových kanálů. Jako první jsem nechal sádro s modelem (otvírákem) úplně zaschnout. Tento pokus nebyl úspěšný, protože se model nedařilo odformovat. Nakonec se musela forma porušit na dvou místech, aby byl model odformovatelný. Při druhém pokusu jsem model vytáhl, když sádra byla ještě polotekutá. Tento pokus byl úspěšnější, ale sádra nezatekla do písmen. Důvodem byl uzavřený vzduch v těchto místech. Proto se v těchto písmenech provrtali díry, které tento vzduch odvedli. Také jsem model potřel petrolejem ke zlepšení odformování. Odformování šlo skutečně snadněji, odvedení vzduchu pomohlo, sádra do písmen zatekla, nicméně kromě písmena U zůstala sádra po odformování v modelu. V dalších mnoha pokusech jsem zkoušel kdy je nejlépe model vytáhnout, pokusy dopadali různě, vytvořit formu s celým nápisem se však nepodařilo. Navíc při snaze zaformovat klíč s otvírákem sádra zůstávala v prostorech pro matice. Určité řešení bylo ponořit model do sádry při polotekutém stavu a vlastně jej sádrou protlačit ale rozměry takového formy proti modelu byly značně rozdílné. Vyřešením tohoto problému bylo použít jako dělicí prostředek místo petroleje vodu. Díky ní sádra u modelu úplně neztuhla a model šel odformovat. Problém z písmem však stále zůstal. Místo normální sádry jsem zkusil i sádro modelovací. Výsledek se však nezměnil.



obr. 30. Slévárenský model s nalepeným kuželem



obr. 31. Sádrová forma otvíráku



obr. 32. Sádrová forma pro klíč s otvírákem

12 VÝROBA SÁDROVÉ FORMY KOMBINACÍ SLÉVÁRENSKÝCH METOD

Protože v předchozích pokusech se nepodařilo vytvořit formu s písmeny rozhodl jsem se vyzkoušet další způsob zaformování. Také do sádry, tentokrát však kombinací několika slévárenských metod.

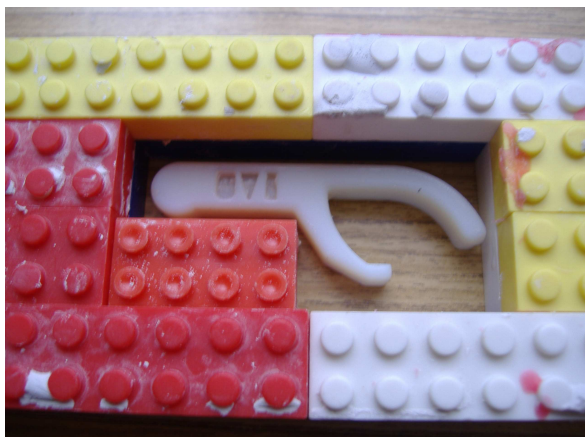
12.1 Výroba lukoprenové formy

12.1.1 Popis Lukoprenu N 1522

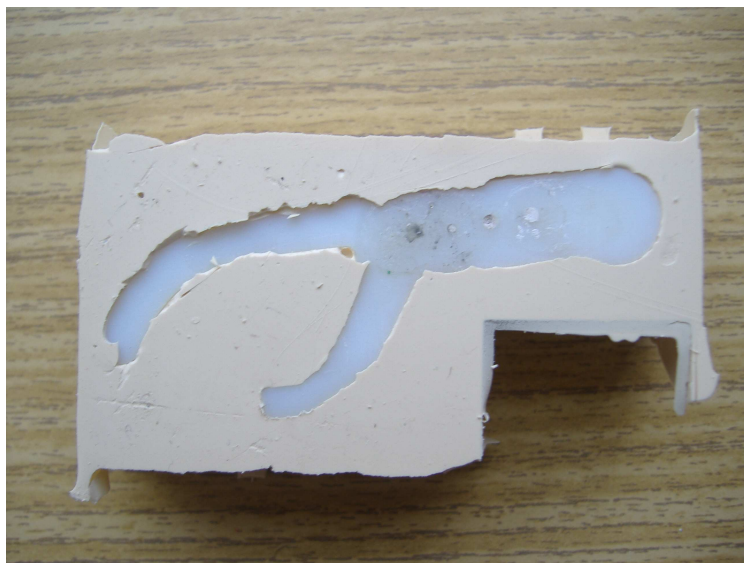
Lukopren N 1522 je silikonový dvousložkový kaučuk takzvaného kondenzačního typu. Po smíchání pasty s katalyzátorem dochází k vulkanizaci v celé hmotě během několika hodin za tvorby silikonové pryže, která nemá adhezi k podkladu. Dávkování Lukopren Katalyzátoru je 2% hmotnostní. Lukopren N1522 slouží k výrobě forem do nichž lze odlívat synt. Pryskyřice, sádro, vosk, beton. Dále se používá k výrobě rozebíratelný těsnění, k zalevání v elektrotechnice atd. [11]

12.1.2 Popis výroby

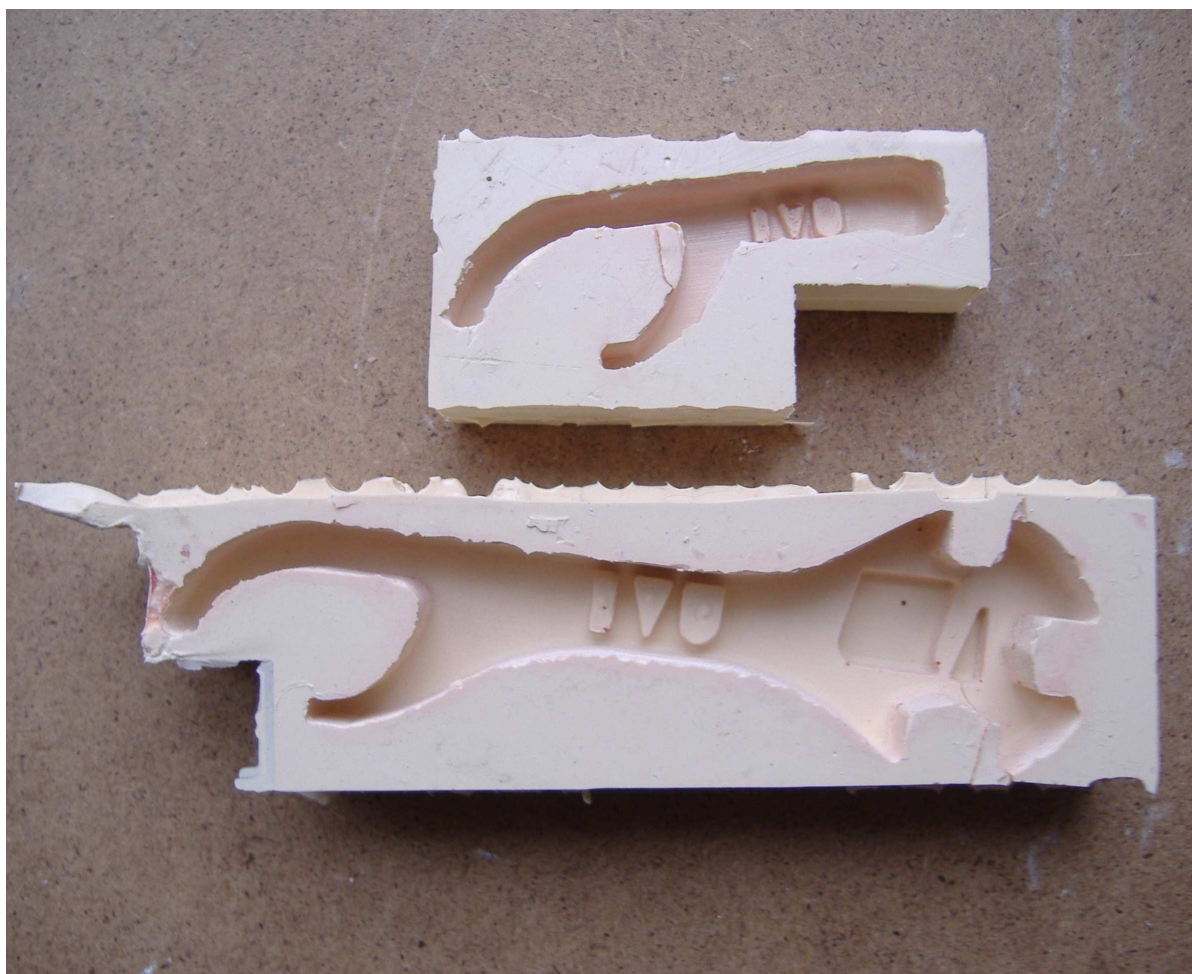
Od modelu jsem odstranil vtokové zbytky, které sloužily k odformování. Zbytek lepidla jsem jemně obrousil. Model jsem položil na rovinnou desku a kolem něho jsem z lega udělal rám. Navážil jsem pastu s katalyzátorem a model zalil. To samé jsem udělal z druhým modelem. Po zatuhnutí směsi jsem model odformoval a drobné nedostatky poopravil. Poté jsem vytvořil druhou půlku formy.



obr. 33. Model připravený na zalití lukoprenem



obr. 34. Půlka zvulkanizované formy ze zalitým modelem, kde už je odstraněn rám, otočená o 180°



obr. 35. Lukoprenové formy

12.2 Výroba voskového modelu

Do takto vytvořené formy jsem zalil roztavený vosk. Použil jsem vosk, ze starých svíček a pečetní vosk. První vosk měl skvělé zatékavé vlastnosti, ale musel se dávat větší pozor při odformování aby se neporušil, nato pečetní byl v tomto směru dokonale pevný.(později se však ukázalo, že není možné jej vypálit)



obr. 36. Voskový model

12.3 Výroba otevřeného sádrového modelu

Takto připravený voskový model jsem položil opět na modelovací desku, vytvořil rám, namíchal sádro a model zalil. Po zaschnutí sádry jsem rozložil ohrádku a sádro s voskovým modelem dal do trouby, kde jsem vosk vypálil takže vznikla forma.

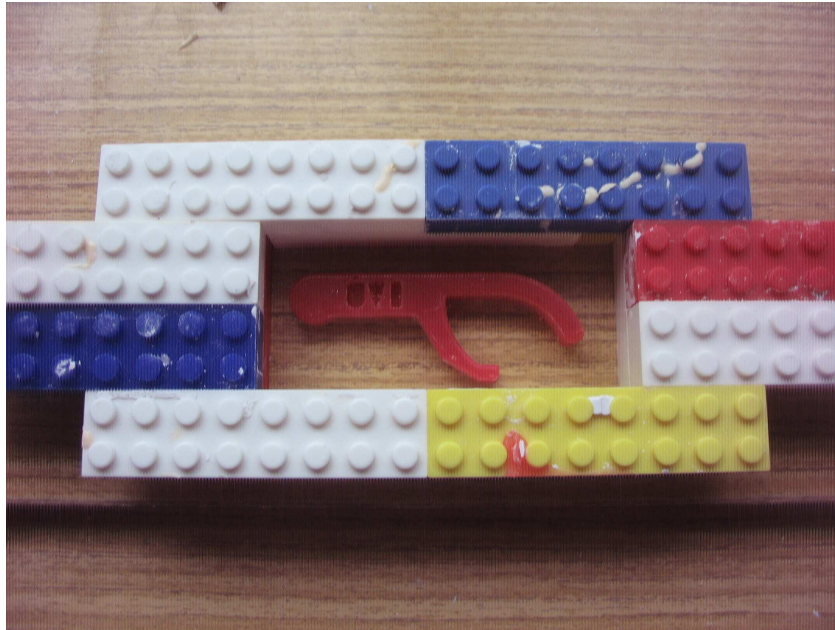


obr. 37. Formy vzniklé vypálením voskového modelu

12.4 Výroba uzavřeného sádrového modelu

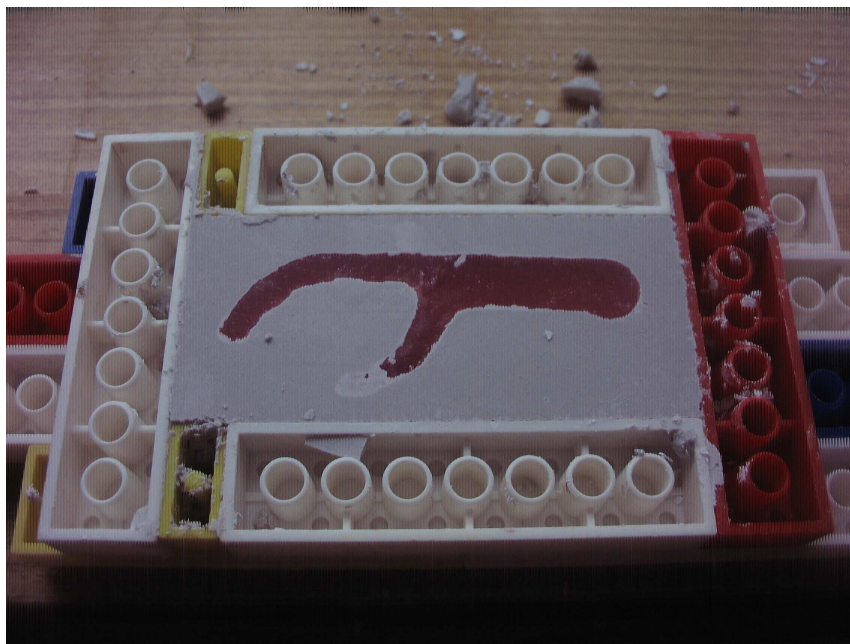
Postup výroby:

- Voskový model, který jsem získal jako v předchozím případě odlitím vosku do Lukoprenu, jsem položil na desku a postavil kolem něho rám.



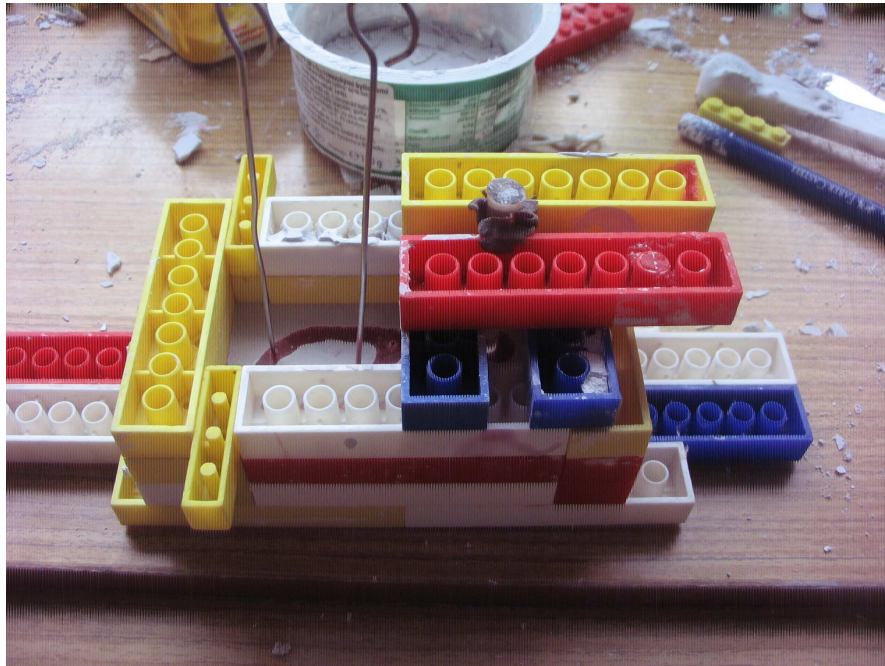
obr. 38. Voskový model připravený na zalití sádrou

- Voskový model jsem zalil sádrou. Po jejím zaschnutím jsem model otočil o 180°



obr. 39. Otočená zaschlá forma se sádrou a voskovým modelem

- Postavil jsem druhou část rámu a usadil vtokový kanál a odvzdušňovací kolíčky
- Zalil jsem sádrou druhou část.



obr. 40. Forma připravená na zalití sádrou

- Rozložil jsem rám a vytvořil vtokovou jamku.
- Z formy jsem vypálil voskový model.



obr. 41. Kompletní forma bez rámu

13 ODLITÍ DO FOREM

Cín jsem na plynovém vaříči roztavil a odlil do forem. Pro každý výrobek jsem měl připravené tři formy, vyrobené způsoby popsanými v předchozím textu.

1. Otevřenou formu vytvořenou ponořením modelu do sádry.
2. Otevřenou formu vytvořenou zalitím voskového modelu (získaného litím do lukoprenové formy) sádrou.
3. Uzavřenou formu vytvořenou zalitím voskového modelu (získaného litím do lukoprenové formy) sádrou.

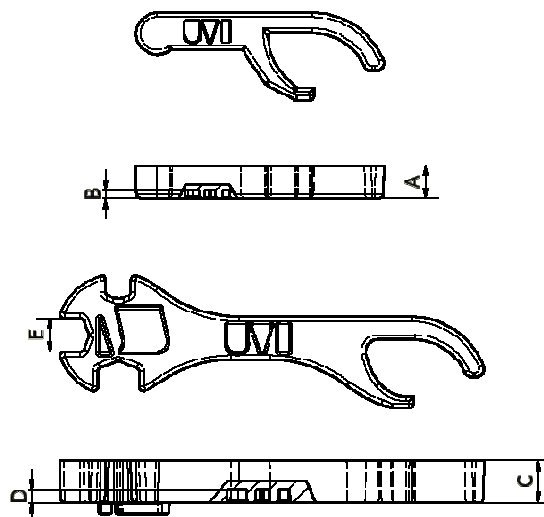


obr. 42. Odlitky odlité do forem odshora ad1, ad2, ad3



obr. 43. Odlitky odlité do forem odshora ad1, ad2, ad3

13.1 Porovnání rozměrů



obr. 44. Zobrazení měřených míst

Tab. 4. Navržené rozměry součásti

A	B	C	D	E
8,00	2,00	10,00	3,00	8,00

Tab. 5. Navržené rozměry slévárenského modelu

A	B	C	D	E
8,17	2,04	10,21	3,06	8,17

Tab. 6. Skutečné rozměry slévárenského modelu po tisku

Rozměry jsou uváděny v mm	A	B	C	D	E
1	8,05	2,10	10,10	2,81	8,19
2	8,07	2,18	10,11	3,06	8,25
3	8,05	2,15	10,12	3,00	8,23
4	8,07	2,09	10,10	2,95	8,21
5	8,05	2,10	10,10	3,10	8,17

Aritmetický průměr	8,06	2,12	10,11	2,98	8,21
směrodatná odchylka	0,01	0,03	0,01	0,09	0,03

Tab. 7. Rozměry voskového modelu

Rozměry jsou uváděny v mm	A	B	C	D	E
1	7,79	1,79	10,08	2,98	8,20
2	7,97	1,99	10,07	2,90	8,21
3	8,54	1,98	9,91	3,00	8,19
4	8,58	1,97	9,88	2,95	8,20
5	8,81	1,97	9,50	2,99	8,19
Aritmetický průměr	8,34	1,94	9,89	2,96	8,20
směrodatná odchylka	0,39	0,08	0,21	0,04	0,01

Tab. 8. Rozměry odlitku z uzavřené formy

Rozměry jsou uváděny v mm	A	B	C	D	E
1	7,86	1,96	10,13	3,29	8,02
2	7,98	2,09	10,10	3,21	8,09
3	8,46	3,11	9,84	3,10	8,03
4	8,61	2,00	9,85	3,25	8,11
5	8,71	2,50	9,48	3,11	8,14
Aritmetický průměr	8,32	2,33	9,88	3,19	8,08
směrodatná odchylka	0,34	0,43	0,23	0,08	0,05

Zhodnocení

Pokud srovnáme navržené hodnoty s hodnotami odlitku, zjistíme, že jsou odlišné. Důvodů pro to je několik. Hlavním důvodem je vytvoření nepřesné lukoprénové formy (neúplné obroušení zbytků lepidla). Dále použití samotného vosku a sádry namísto směsí, které by obsahovaly látky zlepšující vlastnosti těchto materiálů.

ZÁVĚR

Navrhl jsem dva výrobky, ze kterých jsem vytvořil slévárenské modely. Tyto modely se vytiskly na 3D tiskárně. Poté jsem díky těmto modelům vytvořil pro každý výrobek tři formy a odlil do nich cín.

Jako první jsem vyrobil formu obtiskem do sádry, tato metoda je velice rychlá, a proto vyhovuje u reklamního výrobku, kde není nutné dodržet přesně rozměry. Reklamní nápis však nešel v této formě vytvořit, protože sádra v místě písmen zůstávala v modelu. Proto jsem se rozhodl vyzkoušet druhý způsob. Ten spočíval ve využití několika slévárenských postupů. Nejprve ve vytvoření lukoprenové formy. Ta vznikla zalitím modelu kaučukové pasty smíchané s katalyzátorem. Díky němu kaučuková pasta z vulkanizovala a vytvrdila se. Tato lukoprenová forma dokonale reprodukovala model a to nejen nápis, ale dokonce i takové detaily jako jsou sotva viditelné vrstvy vzniklé od tisku výrobku. Do této formy jsem odlil vosk. Vznikl tak voskový model, který jsem zalil sádrou. Poté jsem umístil formu do trouby, a vosk vypálil. Takto vytvořená forma byla přesným tvarovým negativem modelu. Protože však jeden rozměr (kvůli otevřené formě) je dán množstvím roztaveného kovu, rozhodl jsem se, i když to u tohoto reklamního výrobku nebylo nutné, vytvořit uzavřený model. Ten byl pouze rozšířením druhého způsobu výroby formy, kde jsem sádru se zalitým voskovým modelem osadil vtokovým kanálem a od vzdušňovacími kolíky a zalil sádrou. Poté opět vosk vypálil.

První forma tedy neobsahovala celý nápis a její rozměry byly dány mou šikvností při modelování a odlévání (kdy a jak jsem model vytáhl). Její výhoda spočívá hlavně v rychlosti jejího vytvoření a díky tomu nízkým nákladům. Odlitek pak měl tu výhodu, že na rozdíl od ostatních měl kvalitnější povrch.

Druhá forma byla přesnou reprodukcí tvaru a prvků modelu, ale díky tomu, že byla otevřená, záleželo také na šikvnosti při odlévání. Odlitek neměl tak kvalitní povrch jako v prvním případě, což bylo způsobeno špatným voskem (díky plnivům, které obsahoval, zůstaly po vypálení drobné nečistoty). Dále, díky chybě v konstrukci modelu nezatekl kov u písmen a u loga úplně dokonale.

U třetí formy platí to samé co u druhé. Ale kvalita odlitku již není závislá na množství kovu (stačí, aby byl zaplněný vtokový kanál a vtoková jamka). Způsob výroby je v tomto případě nejdražší, ale také nejkvalitnější.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BERNÁŠEK, Vladimír; HOREJŠ, Jan. *Technologie slévání*. 3. upravené vydání. Plzeň : Západočeská univerzita, 2006. 175 s. ISBN 80-7043-491-0.
- [2] KRUŽLIAK, J.; PILÁRIK, ST.; SAMEK, N. *Slévač : Technologie pro 1. ročník OU a UŠ*. Praha : SNTL, 1971. 160 s.
- [3] BEDNÁŘ, Bohumír. *Technologičnost konstrukce odlitků*. vyd. 1. Ústí nad Labem : UJEP, ÚTŘP, 2004. 105 s. ISBN 80-7044-614-5.
- [4] NEDBAL, R. *Strojírenská technologie : Pracovní sešit pro 2. ročník*. [s.l.] : SPŠ. Zlín, [2001]. 100 s.
- [5] MICHNA, Štefan; NOVÁ, Iva. *Technologie a zpracování kovových materiálů*. Prešov : Adin, 2008. 326 s. ISBN 978-80-89244-38-6.
- [6] NEDBAL, R. *Strojírenská technologie : Pracovní sešit pro 3. ročník*. [s.l.] : SPŠ. Zlín, [2001]. 104 s.
- [7] HRBEK, Antonín. *Navrhování litých součástí*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1965. 164 s.
- [8] LEINVEBER, Jan ; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Úvaly : Albra, 2003. 865 s.
- [9] Inventor. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2. 1. 2008, last modified on 8. 4. 2010 [cit. 2010-06-03]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Inventor>>
- [10] *Objet* [online]. 2010 [cit. 2010-06-03]. Eden250™ 3D Printing System . Dostupné z WWW: <<http://www.objet.com/3D-Printer/Eden250/>>
- [11] *Lučební závody Kolín a. s.* [online]. 2010 [cit. 2010-06-03]. Lukopren N. Dostupné z www: <<http://lucebni.hink.cz/data/data/Lukopren/Lukopren%20N,%20MT,%20G,%20Katalyzator/Prospekty/Lukopren%20N.pdf>>.
- [12] In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 6. 4. 2008, last modified on 27. 5. 2010 [cit. 2010-06-06]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/C%C3%ADn>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD - Computer aided design

LOM - Laminated Object Manufacturing

SLS - Selective Laser Sintering

FDM - Fused Deposition Modelling

MJS - Multiphase Jet Solidification

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>obr. 1. Schéma vtokové soustavy u dvou odlitků s nálitky [2]</i>	14
<i>obr. 2. Tvar a způsob plnění vtokových jamek [1]</i>	15
<i>obr. 3. Konstrukční úpravy struskováku [1]</i>	17
<i>obr. 4. Rozmístění vtokových zářezů [1]</i>	18
<i>obr. 5. Konstrukce odlitků z hlediska formování [3]</i>	19
<i>obr. 6. Zvýšení přesnosti odlitku propojením jeho dutin [3]</i>	21
<i>obr. 7. Doporučované ústí dutin v odlitcích [3]</i>	22
<i>obr. 8. Zmenšování objemu odlitku a potlačování tepelných uzlů [3]</i>	23
<i>obr. 9. Použití metody vepsaných koulí [3]</i>	24
<i>obr. 10. Zmenšování velikosti tepelných uzlů podle průměru vepsaných koulí [3]</i>	24
<i>obr. 11. Přirozený model a) nedělený b) dělený [1]</i>	27
<i>obr. 12. Volné části modelu [1]</i>	28
<i>obr. 13. Formování do jader a) jaderník b) složená forma [1]</i>	29
<i>obr. 14. Ruční formování [4]</i>	32
<i>obr. 15. šablonování [4]</i>	33
<i>obr. 16. vlevo stroje lisovací (shora, zdola, oboustranné) vpravo stroje střešovací dole metací [4]</i>	34
<i>obr. 17. Stereolitografie [6]</i>	42
<i>obr. 18. Technologie LOM [6]</i>	42
<i>obr. 19. Technologie SLS [6]</i>	43
<i>obr. 20. Technologie FDM [6]</i>	44
<i>obr. 21. Model otváračku láhve (nahore), model klíče s otváračkou na láhve</i>	47
<i>obr. 22 Druhy zkosení [7]</i>	49
<i>obr. 23. Slévárenské modely</i>	50
<i>obr. 24. Porovnání modelu součásti a slévárenského modelu</i>	51
<i>obr. 25. Školní 3D tiskárna</i>	53
<i>obr. 26. Zobrazení součástí a polohy na vyjimatelné desce</i>	54
<i>obr. 27. Podložka s podpurným materiálem obklopujícím samotný tvar výrobků</i>	54
<i>obr. 28. Očištěný slévárenský model klíče s otváračkou</i>	55
<i>obr. 29. Očištěný slévárenský model otváračku (zde již s odvětráním)</i>	55
<i>obr. 30. Slévárenský model s nalepeným kuželem</i>	56

<i>obr. 31. Sádrová forma otvíráku</i>	57
<i>obr. 32. Sádrová forma pro klíč s otvírákem</i>	57
<i>obr. 33. Model připravený na zalití lukoprenem</i>	58
<i>obr. 34. Půlka zvulkanizované formy ze zalitým modelem, kde už je odstraněn rám, otočená o 180°</i>	59
<i>obr. 35. Lukoprenové formy</i>	59
<i>obr. 36. Voskový model</i>	60
<i>obr. 37. Formy vzniklé vypálením voskového modelu</i>	60
<i>obr. 38. Voskový model připravený na zalití sádrou</i>	61
<i>obr. 39. Otočená zaschlá forma se sádrou a voskovým modelem</i>	61
<i>obr. 40. Forma připravená na zalití sádrou</i>	62
<i>obr. 41. Kompletní forma bez rámu</i>	62
<i>obr. 42. Odlitky odlité do forem odshora ad1, ad2, ad3</i>	63
<i>obr. 43. Odlitky odlité do forem odshora ad1, ad2, ad3</i>	64
<i>obr. 44. Zobrazení měřených míst</i>	65

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Mechanické vlastnosti cínu [12]</i>	48
<i>Tab. 2. Porovnání objemu výrobku a slévárenského modelu</i>	50
<i>Tab. 3. Základní technické údaje [10]</i>	52
<i>Tab. 4. Navržené rozměry součásti</i>	65
<i>Tab. 5. Navržené rozměry slévárenského modelu</i>	65
<i>Tab. 6. Skutečné rozměry slévárenského modelu po tisku</i>	65
<i>Tab. 7. Rozměry voskového modelu</i>	66
<i>Tab. 8. Rozměry odlitku z uzavřené formy</i>	66

SEZNAM PŘÍLOH

Na přiloženém CD jsou uloženy 3D modely součástí i slévárenských modelů v různých formátech.