



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**VÝROBA REÁLNÉ SOUČÁSTI POMOCÍ
TECHNOLOGIE VYTAVITELNÉHO MODELU**

PRODUCTION OF REAL COMPONENT BY LOST WAX CASTING
TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Remeš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **David Remeš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba reálné součásti pomocí technologie vytavitelného modelu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na výrobu reálné součásti pomocí technologie vytavitelného modelu, součástí práce je teoretický rozbor dané problematiky, výroba silikonové formy a následné odlití voskového modelu součásti.

Cíle bakalářské práce:

Úvod

1. Charakteristika technologie vytavitelného modelu
2. Konstrukce 3D modelu součásti
3. Výroba silikonové formy
4. Odlití voskového modelu součásti

Závěr

Seznam literatury:

HORÁČEK, M. Technologie vytavitelného modelu - technologie pro nové tisíciletí. Slévárenství, 2001, č. 10, s. 570 –580. ISSN 0037-6825.

BEELEY, PR., SMART, RF. Investment Casting. 1st ed. Cambridge: The University Press, 1995. 486 p. ISBN 0 901716 66 9.

HORÁČEK, M - CILEČEK, J.: Capabilities of Investment Casting Technology, Livarski ,Vestnik, Vol.54, 4 / 2006, pp. 175-186.

CAMPBELL, J. Castings. 1st ed. Oxford: Butterworth – Heinemann, 1991. 288 p. ISBN 0 7506 1072.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá výrobou skutečné součásti pomocí technologie vytavitelného modelu. V práci je popsána charakteristika technologie vytavitelného modelu, následně konstrukce 3D součásti, výroba silikonové formy, výroba voskového (plastového) modelu součásti. V závěru je provedeno technickoekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

přesné lití, vytavitelný model, silikonová forma, vosk

ABSTRACT

This thesis deals with the real production of component by using investment casting technology. The thesis describes characteristics of investment casting technology, subsequently construction of 3D component, production of silicone mould, production of wax (plastic) of the model component. At the end of the work is provided technical and economic evaluation.

Key words

investment casting, lost wax, silicone mould, wax

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

REMEŠ, D. *Výroba reálné součásti pomocí technologie vytavitelného modelu*. Brno, 2016, 61 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Výroba reálné součásti pomocí technologie vytavitelného modelu* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

27. 5. 2016 v Brně

Datum

David Remeš

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Aleši Jarošovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce a rovněž bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIE VYTAVITELNÉHO MODELU	10
1.1 Technologie obecně	10
1.2 Historie.....	10
1.3 Charakteristika technologie	11
1.3.1 Výroba forem na modely	14
1.3.2 Výroba voskových modelů	17
1.3.3 Sestavování voskových modelů.....	18
1.3.4 Výroba keramických forem	20
1.3.5 Vytavování voskových modelů	21
1.3.6 Vypalování keramických skořepin	21
1.3.7 Tavení a odlévání.....	22
1.3.8 Dokončovací operace.....	22
1.3.9 Kontrola odlitků.....	23
1.4 Světová produkce a situace v ČR v rámci posledních let	25
1.5 Dosahovaná přesnost odlitků - obecně	27
2 KONSTRUKCE 3D MODELU SOUČÁSTI.....	29
2.1 Ukázka vybrané součásti	29
2.2 Rozbor vhodných variant pro výrobu součásti	30
2.3 Výběr optimální varianty pro výrobu	32
3 VÝROBA SILIKONOVÉ FORMY	34
3.1 Plastový model.....	34
3.2 Silikonová forma.....	37
4 ODLITÍ VOSKOVÉHO MODELU SOUČÁSTI.....	42
4.1 Příprava formy pro odlití voskového modelu	42
4.2 Odlití voskového modelu.....	42
4.3 Další postup výroby	46
ZÁVĚR	48
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	49
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	52

SEZNAM PŘÍLOH.....	53
--------------------	----

ÚVOD

Technologie vytavitelného modelu je jednou z velmi náročných, avšak také velmi přesných metod výroby součástí. Rozšířila se v 50. letech minulého století, do tohoto období byla považována za vysoce specializovanou, a tudíž nepříliš rozšířenou. Termín „metoda vytavitelného vosku“, nebo častěji používané „přesné lití“, byl vytvořen z procesu, kdy je na voskový model nanášena keramická hmota, která tvoří skořepinu, posléze formu, do níž je odléván kov. U odlitků vytvořených touto metodou je zaručena vysoká rozměrová i geometrická přesnost a lze odlít i tvarově složité a tenkostěnné odlitky, které jsou při použití běžných konvenčních metod odlévány náročněji. V některých případech je dokonce nemožné použít klasického konvenčního způsobu odlévání [1].

V této bakalářské práci je obsažen a rozebrán po kapitolách celý proces výroby součástí, konkrétněji části rukojeti navijáku, pomocí technologie vytavitelného modelu. Práce je rozdělena do dvou částí, teoretické a praktické. První část je zaměřena na charakteristiku technologie vytavitelného modelu. Druhá část pak popisuje reálnou výrobu zvolené části rukojeti navijáku pomocí této technologie. V praktické části je zachycen celý postup od volby součásti přes konstrukci v CAD softwaru, vytisknutí modelu v 3D tiskárně a následné upravení stop jednotlivých tištěných vrstev po výrobu silikonové formy a následného odlití voskového modelu, potažmo plastového modelu součástí. Odlití voskového modelu bylo finální operací této práce.

V případě pokračování v tomto postupu by následovalo vytvoření keramické skořepiny (formy) pomocí ponoření do obalové hmoty (keramické břechky) a posypávání žáruvzdorným materiálem. Tento proces by byl pro dosažení požadované tloušťky vrstvy opakován několikrát. Další operací by bylo vytavování vosku a vypalování (žihání) za vysoké teploty v peci.. Následně by bylo možné do takto připravené předeřáté formy odlít roztavený kov.

Výstupní výrobek, připravený pro následné zpracování (pokud je nutné), by byl získán vytlučením z keramické skořepiny (formy), oddělením od vtokové soustavy (řezáním), oddělením od nálitků (broušením) a finálním broušením (leštěním).

1 CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIE VYTAVITELNÉHO MODELU

Technologie vytavitelného modelu („na ztracený vosk“ nebo „přesné lití“) zaujímá v dnešní době hlavní pozici na poli moderních technologií lití kovů. Můžeme ji dále zařadit mezi technologie „near-net-shape“ (produkty blízké hotovým výrobkům), kdy je materiál přeměněn na tvary a rozměry blízké se hotovým výrobkům. Díky této technologii je možné používat materiály, které nelze běžným konvenčním způsobem zpracovat [1].

1.1 Technologie obecně

Přesné lití můžeme chápat jako technologii, kterou lze vytvářet tvarově velmi členité součásti, u nichž je část ploch vyráběna již při lití s takovou rozměrovou přesností a hodnotou drsnosti povrchu, že dokončování v mnohých případech (např. obráběním) není nutné. U ploch, na které jsou kladeny vysoké rozměrové nároky, které je potřeba obrábět, jsou přídatky na obrábění velmi malé a spotřebovaný čas na samotné odstranění a s tím spojené náklady jsou citelně nižší než u jiných (konvenčních) způsobů lití. Jednou z největších předností lití na vytavitelný model je možnost vyrábět tvarově složité odlitky s malými rozměrovými tolerancemi a s velmi dobrou jakostí povrchu. Pomocí této metody lze odlít i vysoce reaktivní materiály, jako je titan a jeho slitiny [2, 3].

1.2 Historie

První zmínky o technologii vytavitelného modelu sahají až do doby 4 000 př. n. l. do rozlehlé oblasti starověké Číny, dále se šířila do Indie, Egypta a Evropy. Na obr. 1.1 jsou zachyceny artefakty, které byly vyrobeny touto metodou. K hojnému průmyslovému využívání této technologie však došlo až ve 20. století v souvislosti s druhou světovou válkou. Obrovský tlak na výrobu nejrůznějších součástí v období druhé světové války způsobil velký rozmach všech výrobních technologií. Výjimkou nebylo ani lití na vytavitelný model, i když tato technologie zůstávala stále spíše v pozadí ostatních technologií. V Československu se tato technologie začala využívat až v roce 1957, kdy byla postavena první specializovaná slévárna ve Zlíně, v níž bylo vyrobeno 250 tun odlitků ročně.

Nové modelovací či formovací hmoty a zrychlené výrobní postupy, které využívají mechanizaci jednotlivých částí výrobních úseků, se rozšířily až s rozvojem vědních oborů [4].

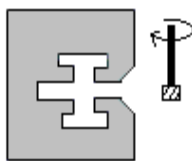
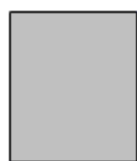
Přesné lití tzv. „na ztracený vosk“ je v dnešní době využíváno hlavně v automobilovém a v leteckém průmyslu, v kosmonautice, energetice, elektrotechnice, lékařství, sportu a v nespočtu dalších oborů. Opomenuto nemůže zůstat ani výtvarné umění, v němž tato metoda vlastně vznikla. Hned od vzniku technologie byly na tyto přesně lité odlitky kladeny vysoké jak rozměrové, tak geometrické požadavky. Tato technologie se neustále zdokonaluje a rozvíjí, což je způsobeno neustále se zvyšujícími nároky na přesnost součástí [1, 3].



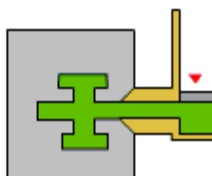
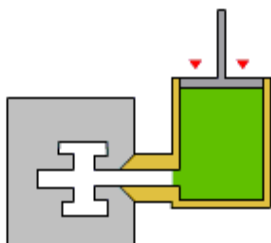
Obr. 1.1 Bronzová socha Persea s hlavou Medusy (1450) a zlatý hřeben (400 n. l.) [1].

1.3 Charakteristika technologie

Výrobní proces je rozdělen do několika etap, nejlépe celou výrobu vystihuje obr. 1.2, kde jsou vyobrazeny jednotlivé výrobní operace od výroby formy až po finální kontrolu odlitku.



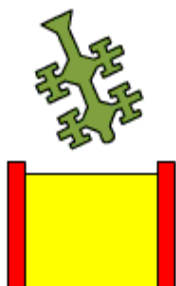
1) Výroba forem na modely



2) Výroba voskových modelů



3) Sestavování modelů do stromčků



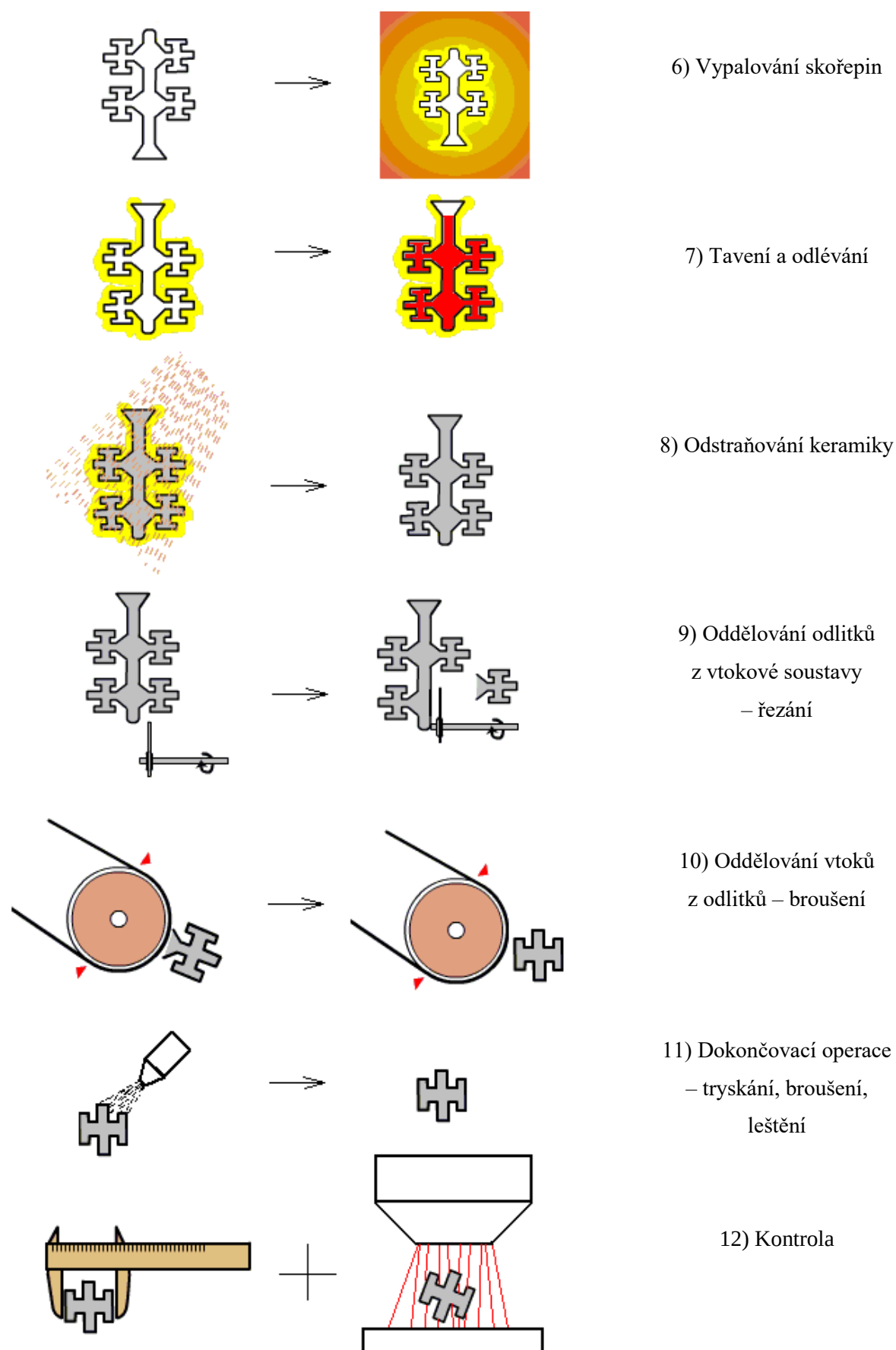
4a) Výroba skořepin –
namáčení voskových
modelů do keramické
břečky



4b) Výroba skořepin –
posypávání voskových
modelů žáruvzdorným
materiálem



5) Vytavování voskových
modelů



Obr. 1.2 Jednotlivé části procesu [5].

1.3.1 Výroba forem na modely

Formy jsou zhotovovány dvojím způsobem, a to obráběním (podle výkresu) nebo odléváním (podle matečného modelu).

Obráběné formy (obr. 1.3) se používají hlavně ve velkosériové výrobě, tedy tam, kde je potřeba zajistit dlouhou životnost formy, a dále u výroby odlitků vyžadujících tu nejvyšší přesnost. Odlitky vyráběné v těchto formách jsou velmi přesné, to však za cenu vysokých nákladů na tuto technologii. Relativně nenáročná je výroba forem pro modely bez vnitřních dutin. Modely s vnitřními dutinami nebo tvarově členité modely musí zahrnovat vyjímatelná jádra. Tato jádra jsou náročná z hlediska přesnosti výroby a lícování ve formě. Pro výrobu těchto forem je nejčastěji použita ocel nebo slitiny hliníku [2].

Výhody ocelí oproti hliníku jsou [1]:

- nižší náchylnost k poškození a deformaci než hliník,
- snadnější oprava, důvodem je lepší svařitelnost oceli oproti hliníku,
- nižší náchylnost k poškození u spojovacích hran.

Výhody hliníku oproti oceli jsou [1]:

- jednodušší a rychlejší obrábění, to znamená méně nákladná výroba,
- voskové modely jsou vyráběny výrazně rychleji, důvodem je lepší tepelná vodivost hliníku,
- snadnější manipulace a instalace na stroj díky výrazně nižší hmotnosti hliníku.

Formy vyráběné podle matečného modelu (odléváním) jsou rozděleny podle velikosti a složitosti a k výrobě takových forem může být použito různých způsobů a materiálů [7]:

- formy z nízkotavitelných slitin,
- formy ze zinkových slitin,
- formy z plastických hmot,
- formy ze sádry,
- formy ze silikonového kaučuku,

- formy vyráběné galvanoplasticky,
- formy vyráběné metalizací.



Obr. 1.3 Forma zhotovená obráběním [6].

Formy z nízkotavitelných slitin

Poměrně jednoduchá a lehká výroba. Vyrábí se zalitím kovového matečného modelu nízkotavitelnou slitinou. Matečný model bývá usazen v ocelovém plášti. Modely vyrobené v těchto formách mívají vysoce přesný a kvalitní povrch. Nevýhodou je nepřiliš dlouhá životnost takových forem, při manipulaci dojde snadno k jejich poškození. Životnost se pohybuje mezi 500 až 2500 kusy modelů [2, 7].

Formy ze zinkových slitin

Jsou vyrobeny taktéž zalitím matečného modelu, ale zde je použita zinková slitina. Bývají tvrdší a také odolnější proti opotřebení a deformaci v porovnání s formami

z nízkotavitelných slitin. Mívají tedy delší životnost a jsou nejčastěji použity na větší série modelů. Nevhodné jsou pro modely s velkými dutinami a šikmými nebo bočními jádry [6, 7].

Formy z plastických hmot

Jsou vyrobeny zalitím matečného modelu dentakrylem nebo epoxidovou pryskyřicí. Výroba je relativně jednoduchá a levná. Trvanlivost je nízká, tudíž jsou vhodné pro malé série modelů. Nevýhodou je nízká přesnost a také nízká tepelná vodivost [1, 7].

Formy ze sádry

Jsou zhotoveny zalitím matečného modelu sádrou. Využívají se na tvorbu modelů, které mají nízkou rozměrovou přesnost. Jsou tvořeny volným gravitačním litím. Životnost je nízká a jsou využívány při kontrole navržené technologie výroby [6, 7].

Formy ze silikonového kaučuku

Matečný model je zalit silikonovým kaučukem, jak je vidět na obr. 1.4. Využití nachází při kontrole navrhované technologie a také pro modely předmětů v bižuterii. Používá se při tvorbě malé série modelů, u kterých není důležitá rozměrová přesnost. Výhodami jsou: krátká doba výroby, tvorba forem s negativními úkoly – forma je pružná, poměrně snadná výroba komplikované dělicí roviny. Hlavními nevýhodami jsou: nízká tepelná vodivost – následkem je prodloužení výrobního cyklu, nízká životnost forem, modely musí být obvykle ořezávány. Tento druh formy jsme použili pro náš experiment [7, 8].

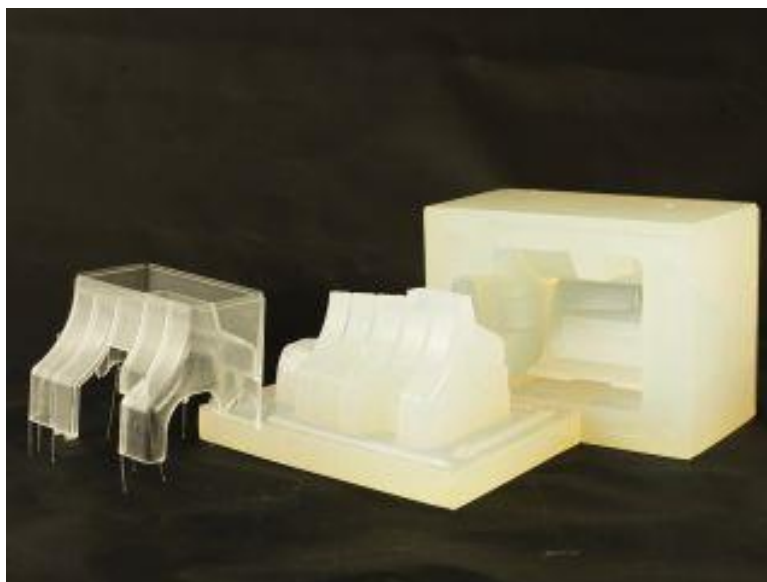
Formy vyráběné galvanoplasticky

Vyrábějí se jako kovové skořepiny z mědi, niklu nebo železa v galvanické lázni. Využívají se hlavně na komplikované a dosti přesné modely s nízkou vahou. Nevhodné však jsou pro výrobu modelů s otvory, hlubokými drážkami a zářezy [1, 6].

Formy vyráběné metalizací

Výroba spočívá ve vrhání roztavených částic zinku nosným plynem za pomoci metalizační pistole na povrch matečného modelu. Rozprášené částice se deformují vlivem působení kinetické energie, spojují a vytvářejí pevnou souvislou vrstvu. Vrstva kopíruje všechny tvary, po vytvoření dostatečné tloušťky vrstvy se vzniklá skořepina zalije

nízkotavitelnou slitinou nebo epoxidovou pryskyřicí naplněnou kovovým práškem. Výhodami jsou: relativně nízká cena formy, krátká doba výroby, poměrně vysoká životnost. Nevýhodami jsou: obtížná úprava formy, modely vyžadují ořezávání, opravy se provádí pouze použitím epoxidové pryskyřice [2, 7].



Obr. 1.4 Forma vytvořená ze silikonového kaučuku [8].

V současné době se téměř ve všech případech používají formy zhotovené obráběním, nejpožívanějším materiálem bývají slitiny hliníku nebo ocel [7].

1.3.2 Výroba voskových modelů

Voskové modely se vytváří z voskových směsí (obr. 1.5), samotný vosk nezajistí všechny požadavky, které jsou kladeny na modelovou hmotu. Dnešní voskové směsi se skládají z mnoha komponent, jako je přírodní vosk – uhlovodík, přírodní vosk – ester, syntetický vosk, montánní vosk, přírodní a syntetická pryskyřice, organické plnivo, voda. Tyto komponenty tvoří sloučeninu. Vlastnosti nezbytné pro ideální voskovou směs jsou optimální: tvrdost, bod tavení, rychlost tuhnutí, povrchová kvalita, viskozita, roztahování/smršťování [1, 7].

Voskové modely jsou vytvářeny dvěma odlišnými způsoby: gravitačním litím do formy a vstřikováním do formy. Gravitační lití do formy bývá použito už jen výjimečně, a to jen při výrobě pomocných modelů, např. vtokových kanálků. Vstřikování do formy je hlavní metodou pro výrobu voskových modelů. Při výrobě

je využito speciálních vstřikovacích lisů, které vstřikují roztavený vosk pod tlakem do formy. Teplota vstřikování vosku se pohybuje mezi 55 °C až 90 °C. Teprve po úplném ztuhnutí je model odstraněn z formy. Tyto lisy jsou rozděleny dle stavu vosku, který jsou schopny vstřikovat. Jsou používány 3 základní typy strojů pracujících s voskem a to: tekutým, kašovitým a pevným [2, 7].

Na výrobu voskových modelů je možno použít několik druhů voskových směsí odlišujících se vlastnostmi a zejména použitím [7]:

- vosky na modely
 - čisté (neplněné),
 - plněné,
 - emulgované,
- vosky na vtoky, vtokové soustavy,
- rekultivované vosky,
- speciální vosky
 - adhesní (lepivý),
 - namáčecí,
 - opravný,
 - vosky na jádra,
 - rozpustné vosky.

1.3.3 Sestavování voskových modelů

Modely jsou vytvářeny zpravidla samostatně, z ekonomického hlediska je však vhodnější sestavovat modely dohromady propojením na vtokovou nebo nálitkovou soustavu, a to za pomoci lepení nebo pájení. Vtoková soustava je vytvářena z regenerovaného vosku. Používají se dva druhy sestavování modelů [2]:

- sestavování jednotlivých modelů,
- sestavování více modelů do tzv. stromečku.

Sestavování jednotlivých modelů

Tento způsob se využívá hlavně na odlitky vážící více jak 2 kg, někdy však i na menší složitě členité odlitky. Nejčastěji jsou použity odlitky z vysokolegovaných slitin, u kterých vysoká rozměrová přesnost a kvalita znemožňují použití jiné slévárenské technologie. Vtoková soustava s nálitky je zhotovována ve speciálních formách a na model je poté připevněna pájením nebo lepením [2].



Obr. 1.5 Voskové směsi [7].

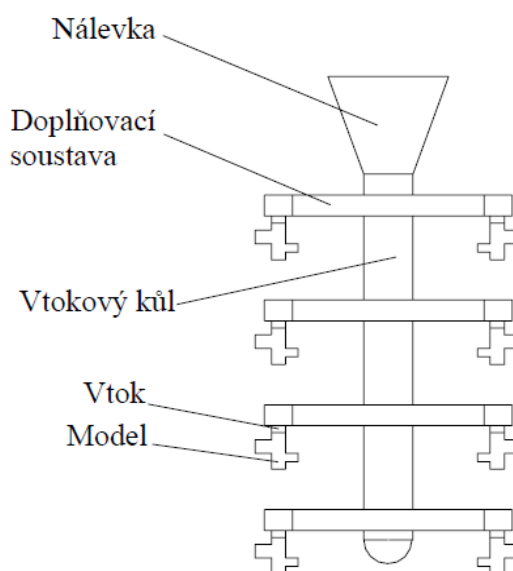
Sestavování více modelů do tzv. stromečku

Stromeček je tvořen větším počtem modelů, tyto jsou spojovány jednotlivými vtoky a vtokovou soustavou (obr. 1.6). Konstrukční provedení, tvar stromečku a umístění modelu ovlivňují následné etapy technologického procesu. Nezbytná kritéria, která musí vtokový systém s vhodným umístěním splňovat, jsou následující [2]:

- při vytavování musí všechen vosk vytéct ze skořepinové formy,

- při pájení nebo lepení nesmí dojít k poškození již připojených modelů,
- po nanesení poslední vrstvy musí zůstat mezera mezi modely.

Slévárny v této době používají ekonomicky standardizované vtokové systémy usnadňující manipulaci, mezioperační dopravu a následné další zpracování [2].



Obr. 1.6 Jednotlivé části stroměčku [7].

1.3.4 Výroba keramických forem

Jedním z hlavních znaků metody vytavitelného modelu je bezpochyby nedělená samonosná forma. Model se vždy po jednom použití zničí vytavením, pro každou formu se tak používá model nový. Abychom předešli porušení křehkého voskového modelu a dosáhli nejvyšší přesnosti, je zapotřebí použít kašovitě formovací směsi („břečky“) a poté posypat ostřivem. Vzhledem k vlastnostem keramických forem je mnoho možností uplatnění přesného lití a nepřeborné množství použitelných slitin. Z tohoto důvodu je možné uvedenou metodou vytvořit takové tvary, kterých jinou metodou běžně není možné dosáhnout [1, 7].

Některá úskalí tohoto procesu však vyžadují zvláštní pozornost. Tepelná roztažnost vosků je relativně velká, skořepiny se však vyznačují poměrně malou roztažností. Někde mezi těmito dvěma se nachází odlévané slitiny. Tyto rozdíly je potřeba optimalizovat, a to hlavně z důvodu ovlivnění přesnosti výroby odlitků. Finální rozměr

odlitku se nepatrně liší od výchozího voskového modelu, důvodem této nepřesnosti bývá vliv dalších charakteristik procesu, které se týkají rozměrových změn [1, 2].

1.3.5 Vytavování voskových modelů

Před odlitím kovu do skořepinové formy je potřeba odstranit vytavitelný voskový model, toto se uskutečňuje až po nanesení a úplném vysušení poslední vrstvy obalu skořepiny. Hlavním cílem této fáze výroby je čistá keramická skořepina bez vosku, především tedy bez jejího poškození, za krátkou dobu a s nízkými náklady [6, 7].

Voskový model je možno vytavit ze skořepinové formy různými způsoby. Nejčastěji jsou používány dvě technologie, a to vytavování přehřátou párou v autoklávu a vytavování vyžíráním (flash fire dewax system). Další technologie vytavování, jako je vytavování za vysoké teploty, za nízké teploty, mikrovlnným ohřevem, dielektrickým ohřevem nebo horkým vzduchem, jsou zastaralé a jsou používány jen výjimečně v některých slévárnách. Vosk může být dále použit jako detektor chyb a s jeho pomocí je možné odhalit vady, jako jsou např. praskliny, a to zejména při využití tmavších vosků, s jejichž pomocí je při prosáknutí vada zobrazena jako skvrna na povrchu formy. Prasklinám lze předcházet vytvořením dilatační spáry na povrchu modelu [1, 2].

1.3.6 Vypalování keramických skořepin

Ještě než můžeme provést další operaci, kterou je odlévání, je třeba skořepinu vypálit (žíhat). Takto upravené formy jsou schopny odolat extrémním teplotám. Při vhodném výběru složení keramické břečky a posypového materiálu mohou být použity pro rozsáhlou oblast slitin. Žíhání skořepiny způsobí přeměnu amorfní formy vázané vrstvy SiO_2 (oxid křemičitý) na formu krystalickou a odstraní těkavé látky a zbytky vosku [2, 7].

Hlavní důvody pro vypalování těchto forem jsou: odstranění zbytků vosku a těkavých látek po vytavování, zhutnění struktury keramiky (získání potřebné pevnosti skořepiny) a předebrání formy před odlitím na požadovanou teplotu. Výsledky žíhání bývají uspokojivé, pokud jsou užity vosky dostatečné kvality a s obsahem méně než 0,1 % popelovin. Důležité při žíhání je také dostatečné množství kyslíku pro vypálení vosku, tím dojde k zabránění vzniku karbonizovaného vosku. Žíhací teploty obvykle překračují teplotu 800 °C, nejčastěji od 900 °C do 1 100 °C. Maximální teploty žíhání

(kolem 1 500 °C) je použito u forem při procesu usměrněného tuhnutí. Při tomto procesu musí být kov ponechán delší dobu v tekutém stavu. Žíhací teplota nesmí přesáhnout 1 550 °C, při této teplotě se keramika na bázi křemičitanů přibližuje teplotě tavení křemičitanu [7, 4].

1.3.7 Tavení a odlévání

Pro výrobu kvalitních a přesných odlitků je jedním z hlavních, ne-li dokonce nejdůležitějších etap celé technologie tavení a odlévání. Odlévá se ihned po vyjmutí z vypalovací (žíhací) pece do ještě žhavých skořepin. Sníží se tím teplotní šok při lití, omezí se tvorba vnitřních pnutí ve skořepinách, a je tím také sníženo nebezpečí praskání skořepin. Před samotným odlitím do žhavých skořepin jsou ve většině případů vloženy keramické filtry, které jsou přehřáté na teplotu skořepiny [2, 7].

Nejčastěji se ve slévárnách přesného lití využívá elektrických indukčních pecí, jádrových či bezjádrových nebo vakuových pecí. Pokud jsou na odlitek kladeny nejvyšší možné požadavky na kvalitu, použije se vakuová pec. Ve vakuových pecích jsou odlévány zejména speciální vysokolegované materiály. Menších tavících agregátů s obsahem jednotek kilogramů se využívá zejména pro vysoce kvalitní dentální odlitky a odlitky pro bižuterii. Odlévat je možné na vzduchu (otevřené lití) nebo ve vakuu (vakuové lití). Teplota samotných keramických (skořepinových) forem je udržována mezi 700 °C až 800 °C, nebo na teplotě okolí, kde ovšem hrozí nebezpečí praskání skořepin [1, 7]. Odlévání je rozděleno na [6]:

- klasické (gravitační) lití (viz obr. 1.7),
- sklopné lití,
- tavení a gravitační lití ve vakuu,
- vakuové nasávání (CLA, CLV).

1.3.8 Dokončovací operace

Jednou z nejnáročnějších pracovních operací v této technologii jsou dokončovací operace. Pořadí, v jakém se dokončující operace provádí, je následovné [1]:

- odstranění většiny keramické skořepiny (nejčastěji mechanicky),

- oddělení odlitků od vtokové soustavy (viz obr. 1.8),
- odstranění zbytku keramiky, a to chemicky nebo mechanicky,
- oddělení vtoků od odlitků,
- tryskání a dokončování.



Obr. 1.7 Odlévání kovu do formy.

Někdy je potřeba do těchto dokončovacích operací zařadit také další operace, jako je např. tepelné zpracování nebo obrábění. Pořadí těchto operací se ve slévárnách liší, ale zde uvedené je používáno nejčastěji [1].

1.3.9 Kontrola odlitků

Na dokumentech (výkresech) získaných od zákazníka jsou mimo jiné uváděny také postupy a požadavky na kontrolu jednotlivých dílů. U odlitků se v zásadě kontroluje tvar a rozměr ve spojení s vizuální kontrolou, hlavním úkolem je kontrolovat vnější nespojitosti a kvalitu povrchu.



Obr. 1.8 Oddělování odlitků od vtokového systému [18].

Vlastnosti materiálu zjišťujeme zejména pomocí chemické analýzy a mechanické zkoušky. Tyto zkoušky dále rozšiřujeme o další druhy nedestruktivních zkoušek, jako je zkouška maximálního zatížení, zkouška netěsnosti a mnoho dalších zkoušek, které lze využít k celkovému vyhodnocení odlitků. Zkoušky je možné rozdělit do tří různých kategorií [1]:

- metody pro rozměrovou kontrolu,
- metody pro zjišťování kvality povrchu,
- metody pro zjišťování vnitřních vad – nedestruktivní metody.

Metody pro rozměrovou kontrolu

Na kvalitu přesně litých odlitků označovaných nejčastěji anglickým pojmem „near-net-shape“ má podstatný vliv důsledné dodržování rozměrů. Pro kontrolu rozměrové přesnosti můžeme použít mnoho různých technik. Standardně se používá automatických či ručních měřidel, mikrometrů, trojrozměrných automatických měřicích systémů a souřadnicových měřicích systémů (viz obr. 1.9) [1, 7].

Metody pro zjišťování kvality povrchu

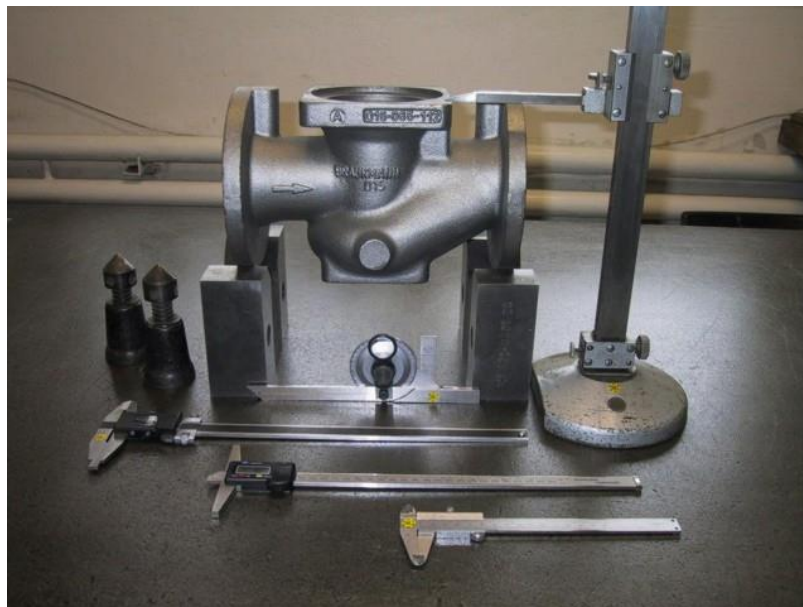
Trhliny a další povrchové vady mohou být zjišťovány použitím enormního množství metod. Nejpoužívanějšími z nich jsou: chemické leptání, vizuální kontrola, zkouška vířivými proudy, fluorescenční kapilární metoda a magnetická zkouška (pomocí které je možné zjistit vady umístěné přímo pod povrchem). Tyto metody potřebují pro dobré výsledky poměrně čisté a relativně hladké povrchy zkoušených dílů [1, 7].

Metody pro zjišťování vnitřních vad – nedestruktivní metody

Nedestruktivní metody se standardně rozdělují na elektromagnetické, optické, akustické, radiografické, tepelné a vzájemně propojené. Z velkého množství technik a alternativ nedestruktivního zkoušení používá slévárenský průmysl následující metody [2, 7]:

- vizuální,
- penetrační,
- magnetické,
- vířivé proudy,
- ultrazvukové,
- rentgenové.

Ve slévárnách odlitků, které vyrábí metodou vytavitelného modelu, jsou nejčastěji používány metody penetrační, vizuální a rentgenové [1, 7].



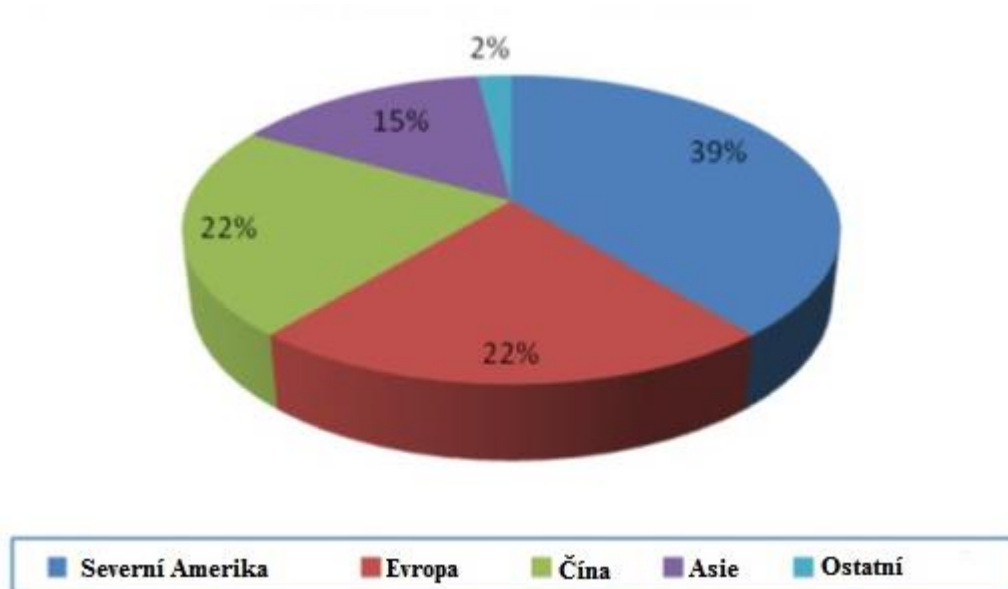
Obr. 1.9 Měřidla a měřící zařízení [19].

1.4 Světová produkce a situace v ČR v rámci posledních let

Počet odlitků vyráběných metodou „na ztracený vosk“ stále roste. Celosvětová ekonomická krize v roce 2008 byla jedinou výjimkou, kdy byl zaznamenán pokles celosvětové produkce odlitků vyráběných touto technologií. Konec krize znamenal opětovné navýšení počtu produktů vyráběných metodou „přesného lití“. Předpokládá se,

že i v budoucnu bude trend rostoucí poptávky po přesných odlitcích nadále pokračovat. Objednávky v mnoha odvětvích průmyslu jsou plánovány až na 5 let dopředu. Na následujícím obrázku (obr. 1.10) je pro představu vyobrazeno rozdělení prodeje přesných odlitků dle světové produkce situace v roce 2011 [9].

Česká republika a její pozice v rámci prodeje přesných odlitků je z pohledu světové produkce téměř zanedbatelná (0,4% podíl na světové výrobě odlitků technologií vytavitelného modelu), avšak v přepočtu na jednoho obyvatele se řadíme k nejvyspělejším státům Evropy [10, 11, 12, 13, 14]. V České republice je rovněž pozorovatelný vzestupný trend používání této technologie. Podíl jednotlivých českých sléváren na prodeji přesných odlitků ukazuje obr. 1.11 níže. Roční obrát v roce 2010 byl v České republice 55 milionů USD (tj. 1,051 miliard Kč) při 810 zaměstnancích v oboru.



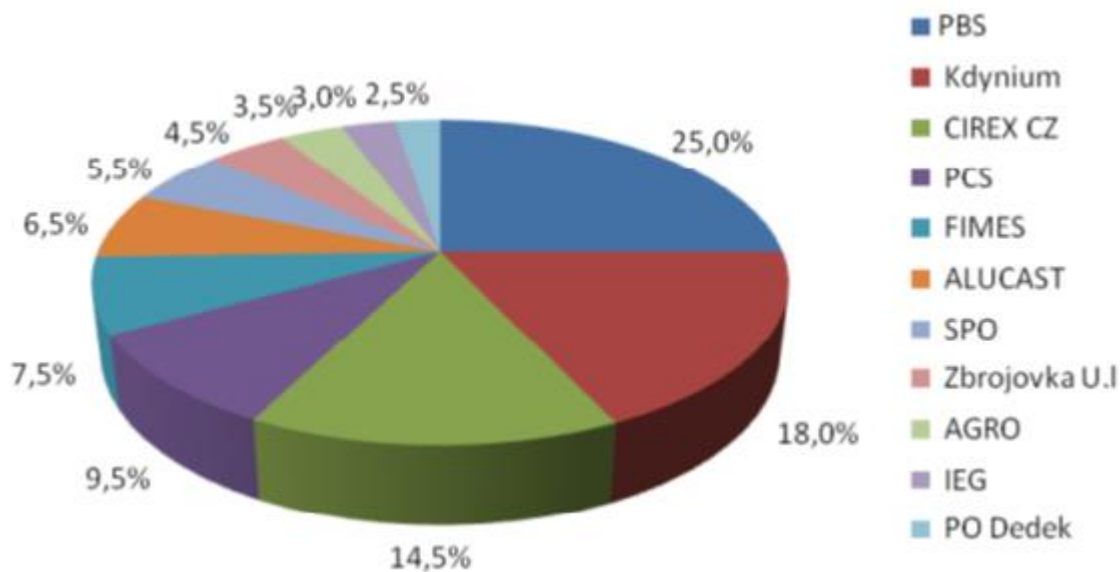
Obr. 1.10 Prodej přesných odlitků rozdělených dle světové produkce v roce 2011 [9].

Pro rok 2011 byl pak obrát 58 milionů USD (tj. 1,026 miliard Kč) při 850 zaměstnancích v oboru. Rozdíl nárůstu v USD a Kč v letech 2010 a 2011 je zapříčiněn oslabením USD vůči Kč. V roce 2012 však nastala stagnace, která byla způsobena hlavně špatnou ekonomickou situací v některých zemích EU, zejména v Řecku, Itálii, Španělsku a Portugalsku [9].

1.5 Dosahovaná přesnost odlitků - obecně

Odlitek, co se týče velikosti a tvaru, není nikdy dokonalý. Také z tohoto důvodu je na výkresech uváděna tolerance. K jejímu porušení dochází elementárními chybami, jako je nesprávná poloha zaváděcích kolíků, nesprávná manipulace aj. Elementární chyby vedou k chybám systematickým, které lze poměrně snadno odstranit vhodnou úpravou modelového zařízení. Další chyby už není možné tak lehce odstranit, tyto odchylky jsou označovány chybami náhodnými [15].

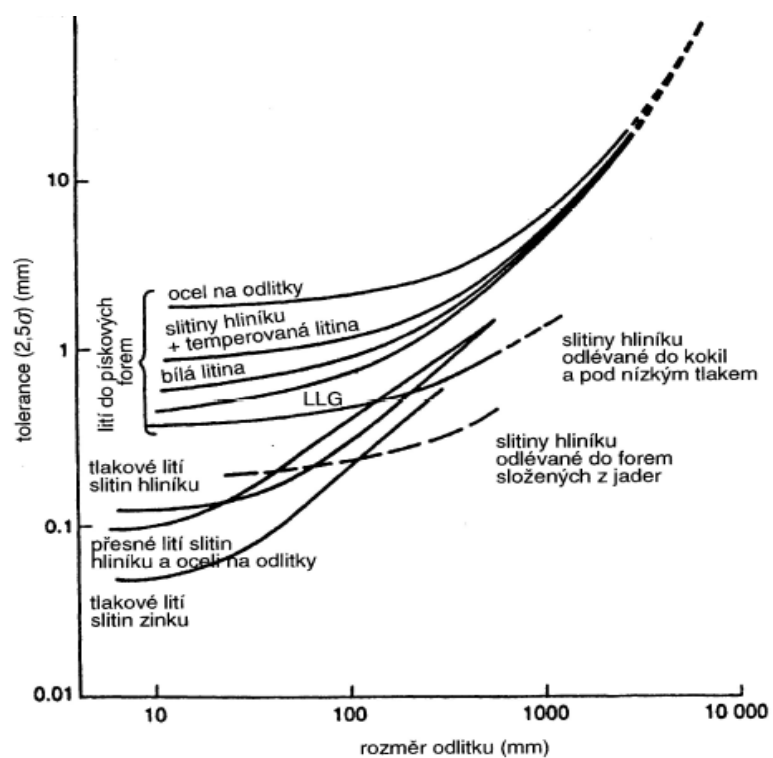
Při odlévání žádné dva odlitky nejsou úplně přesné, stejně je tomu i u ostatních výrobků, kdy je použito jiných technologií, včetně přesného obrábění. Tolerance odlitků dle ISO normy udávají, že různými technologiemi je možno dosahovat různých hodnot přesnosti. V zásadě platí, že se zvětšujícím se jmenovitým rozměrem nepřesnosti odlitků vzrůstají (obr. 1.12) [15]. Přesná tuhá forma a přesný tuhý model je základním požadavkem pro dosažení přesnosti odlitku. Výběr optimální technologie (např. nízké náklady, místní dostupnost, atd.) pak ovlivňuje nepřeberné množství dalších faktorů



Obr. 1.11 Podíl jednotlivých sléváren v ČR na prodeji přesných odlitků v roce 2011 [9].

Finální rozměry odlitků určují zejména následující faktory [15]:

- přesnost modelového zařízení (včetně materiálu modelů),
- přesnost formy (kovové formy, keramické formy, pískové formy),
- způsob skládání forem (použitá metoda).



Obr. 1.12 Průměrné tolerance rozměrů ($2,5\sigma$) dosahované různými technologiemi odlévání [16].

2 KONSTRUKCE 3D MODELU SOUČÁSTI

Součást (obr. 2.1), která bude vyráběna, byla vybrána z důvodu zjednodušení tvaru pro následnou výrobu, snížení hmotnosti a objemu použitého materiálu a kvůli celkovému zvýšení pevnosti těla rukojeti.

2.1 Ukázka vybrané součásti

Vyráběná součást slouží jako část rukojeti (obr. 2.2) pro navíjení vlasce, je tedy podstatnou pomůckou při lovu ryb. Na obr. 2.3 je vidět její poloha v rámci celé sestavy navijáku.



Obr. 2.1 Vyráběná část rukojeti.



Obr. 2.2 Sestava rukojeti.



Obr. 2.3 Sestava navijáku.

2.2 Rozbor vhodných variant pro výrobu součástí

Nejprve byl zhotoven originál části rukojeti v softwaru Inventor (obr. 2.4). Varianty pro výrobu byly zhotoveny celkem tři, z nichž jedna byla vybrána jako nejvhodnější a pro náš případ plně dostačující. Ve zhotovených variantách oproti originálu chybí otvory jak pro spojení madla s vyráběnou částí rukojeti, tak pro spojení vyráběné části s další částí rukojeti. Ty budou vytvořeny až po odlití vrtáním. Pro tvorbu těchto variant byly v softwaru Inventor použity základní prvky, jako je například vysunutí. Nejprve byl vždy vytvořen náčrt a dále bylo použito šablonování (případně zaoblení). Jako materiál pro porovnávání hmotnosti v softwaru Inventor byla použita nerezová ocel. Váha originální součásti vytvořené v tomto programu je 0,060 kg. Záměrem je tuto váhu zredukovat a zároveň udržet, případně i zvýšit pevnost součásti a celkově zjednodušit tvar.



Obr. 2.4 Originál vyráběné části rukojeti vytvořený v softwaru Inventor.

První varianta (obr. 2.5) je v podstatě totožná s originálem s tím rozdílem, že je zde použito slabšího průměru pro tělo rukojeti, což vedlo k citelnému snížení hmotnosti. Dále zde není vytvořena odlehčovací (estetická) plocha oproti originálu. Naopak je zde přidáno více odlehčovacích drážek, které dodávají estetický dojem, a navíc se jimi rovněž mírně sníží hmotnost. Váha této varianty je 0,051 kg.



Obr. 2.5 Varianta číslo 1 vyráběné části rukojeti vytvořená v softwaru Inventor.

U druhé varianty (obr. 2.6) byl podstatnou změnou zejména průřez. Původní kruhový průřez byl nahrazen elipsovitým, což vedlo k výraznému snížení hmotnosti a vzhledem k tomu, že v namáhaném směru je hlavní poloosa ještě širší než u originálního kruhového průřezu, byla také zvýšena pevnost součásti. Dále byly oproti originálu odstraněny pro jednodušší výrobu a rovněž z důvodu zatečení vosku odlehčovací (estetické) plochy. Váha této varianty je pouze 0,049 kg.



Obr. 2.6 Varianta číslo 2 vyráběné části rukojeti vytvořená v softwaru Inventor.

Varianta číslo 3 (obr. 2.7) je, co se týče průřezu, totožná s předchozí variantou. Rozdíl je patrný v orientaci elipsy, která je orientována vedlejší poloosou ve směru zatížení. Na této variantě rovněž chybí odlehčovací (estetická) plocha. Oproti předchozí variantě je ohrožena pevnost součásti z důvodu orientace elipsy (vedlejší poloosa ve směru zatížení součásti), která má slabší průřez oproti původnímu kruhovému. Váha této varianty je 0,051 kg.

2.3 Výběr optimální varianty pro výrobu

Pro výrobu součásti byla zvolena jako optimální varianta číslo 2 (obr. 2.6). Hmotnost byla vypočtena softwarem Inventor pro nerezovou ocel o 11 gramů nižší, než tomu bylo u originálu, který byl vytvořen rovněž v tomto softwaru. Navíc byla zvýšena pevnost součásti rozšířením v namáhaném směru. V této variantě byly oproti originálu také odebrány zbytečné estetické (odlehčovací) plochy, které by byly problémem při odlévání vosku, jenž by nemusel úplně zatéct. Ideálně by bylo třeba tyto plochy

následně obrobit, ale tím by se zvýšil výrobní čas a rovněž výrobní náklady. Z důvodu lepší zabíhavosti vosku bylo do součásti přidáno zaoblení ve spojích kulových ploch s tělem rukojeti.



Obr. 2.7 Varianta číslo 3 vyráběné části rukojeti vytvořená v softwaru Inventor.

3 VÝROBA SILIKONOVÉ FORMY

Po vytisknutí části rukojeti z plastového materiálu ve 3D tiskárně byla vyrobena dvoudílná silikonová forma, která má dělicí rovinu vedenou středem součásti v podélném směru. V této kapitole je rozebrána výroba silikonové formy krok po kroku.

3.1 Plastový model

Po zvolení optimální varianty byl model exportován do formátu STL (export do tohoto formátu umožňuje většina CAD systémů). Tento formát je nezbytný pro 3D tisk součásti. Tisk byl proveden na 3D tiskárně uPrint, se softwarem CatalystEX, kterou vyrábí společnost Stratasys [20]. Jako stavební materiál jsme použili ABS plus, jeho mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 3.1.

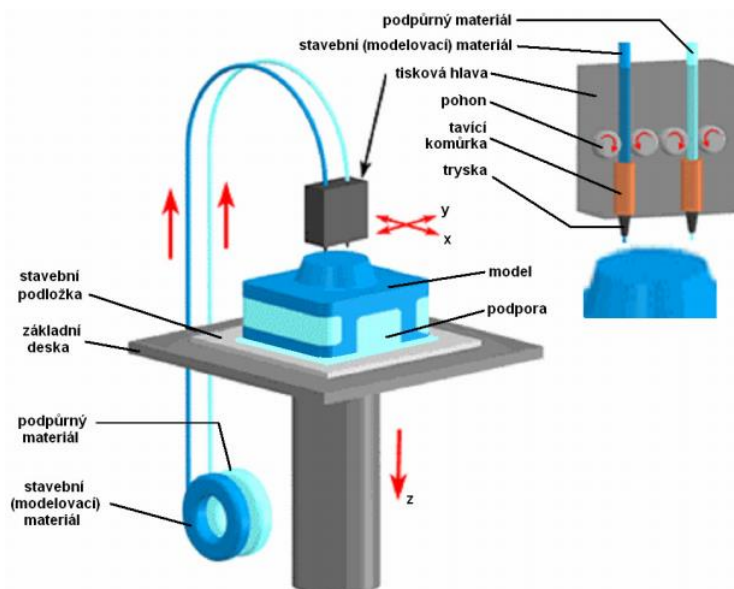
Tab. 3.1 Mechanické vlastnosti termoplastu [21].

Mechanické vlastnosti	Rozsah hodnot	Jednotka
Pevnost v tahu	36	MPa
Modul pružnosti v tahu	2300	MPa
Pevnost v ohybu	52	MPa
Modul pružnosti v ohybu	2200	MPa
Poměrné prodloužení	4	%

Pro vytisknutí součásti byla použita metoda FDM (Fused Deposition Modelling). Použitá metoda využívá natavování termoplastického materiálu. Tento materiál bývá navinut ve formě drátu na cívce (obr. 3.1), která se vkládá do zařízení ve speciálních kazetách, z nichž je materiál vtlačován do zahřívacích trysek, v nichž je materiál ohříván a poté nanášen (tisknut) po vrstvách na základovou desku. Tato tiskárna je vybavena dvěma kazetami (zásobníky), do kterých se vkládá stavební (ABS plus) a podpůrný materiál. Podpůrný materiál zabraňuje zhroucení tisknutého modelu. Po dokončení tisku je od součásti odstraněn, a to chemicky nebo mechanicky [22].

Samotné nastavení 3D tiskárny a tisku bylo provedeno pro vyráběnou část rukojeti v softwaru CatalystEX. Nejprve bylo třeba nastavit měřítko (1:1) a jednotku (mm), pak určit tloušťku tištěné vrstvy (0,254), způsob vyplnění modelu (řádký – s vysokou hustotou) a nakonec způsob vyplnění podpůrného materiálu (řádký – minimalizuje spotřebované množství). Pro výrobu části rukojeti z plastu bylo použito zařízení zobrazené

na obr. 3.2a. Na obr. 3.2b je zobrazena ultrazvuková čistička, které se využilo pro odstranění podpůrného materiálu.



Obr. 3.1 Princip metody FDM [23].



a)

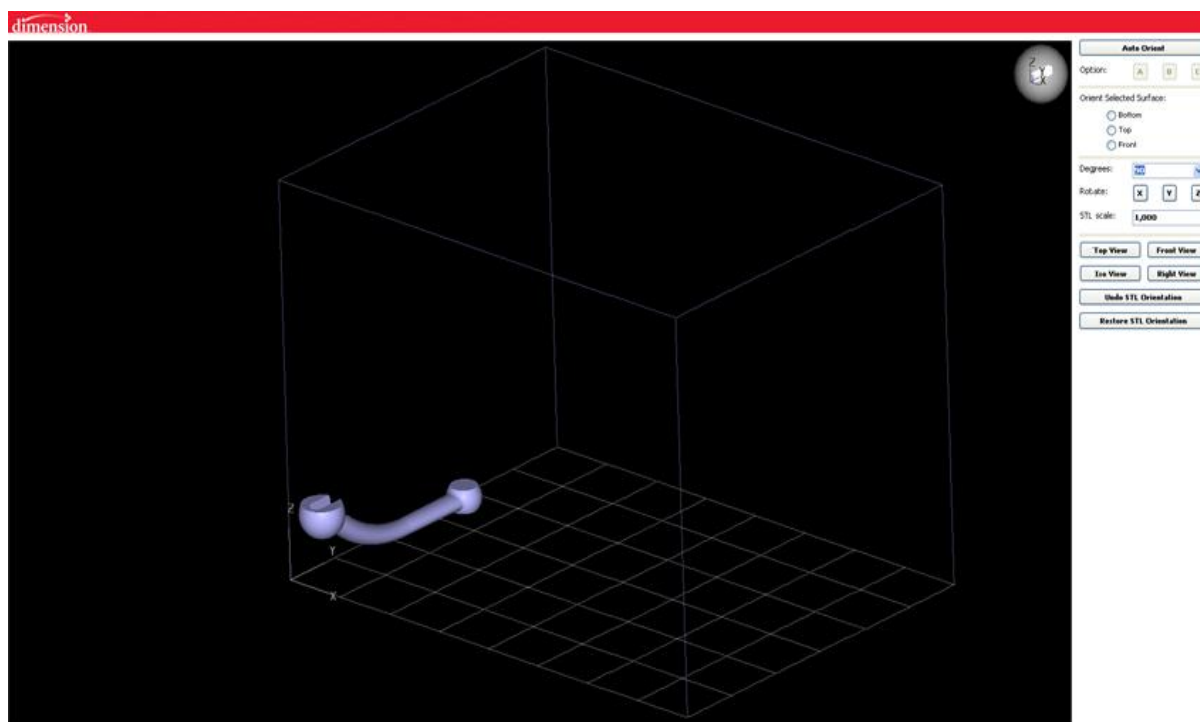


b)

Obr. 3.2 Použité zařízení pro výrobu plastového prototypu nástroje:

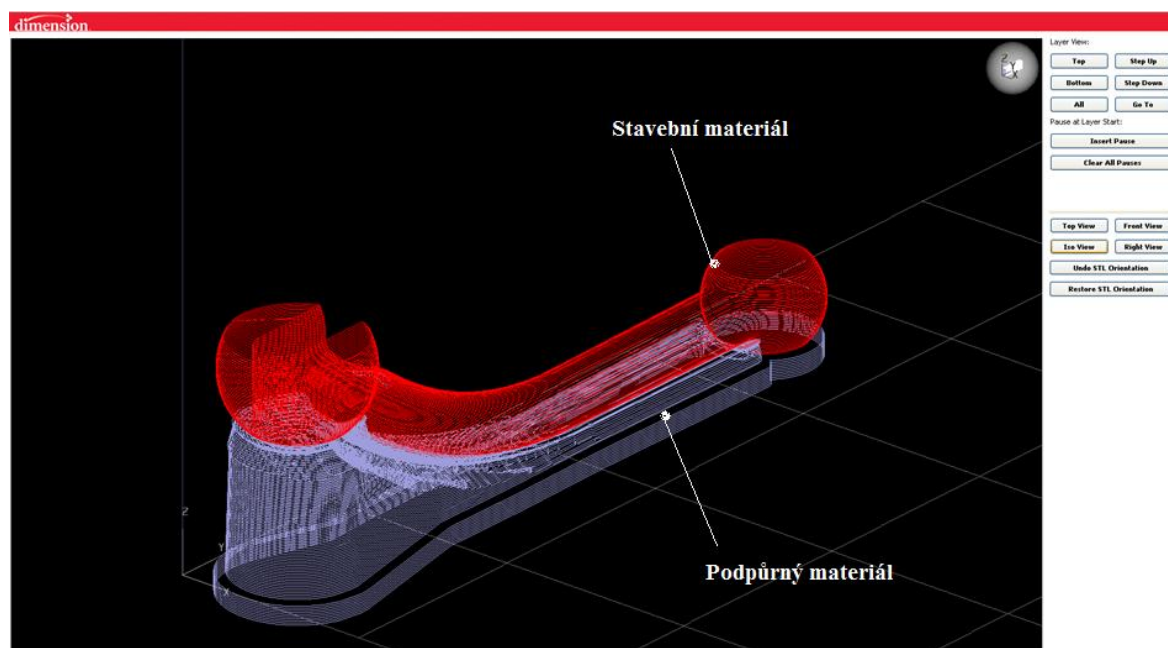
a) 3D tiskárna uPrint [20]; b) ultrazvuková čistička [24].

Na obr. 3.3 je vyobrazena poloha (umístění) tištěné součásti v tiskárně uPrint, kdy byl použit softwar CatalystEX. Tiskárna je omezena pracovním prostorem 203 x 152 x 152 mm, což je pro náš případ plně dostačující.



Obr. 3.3 Orientace tištěné součásti v softwaru CatalystEX.

Na obr. 3.4 jsou vyobrazeny tištěné vrstvy obou použitých materiálů, tedy jak stavební ABS plus, tak i podpůrný materiál. Pro 3D tisk části rukojeti bylo zapotřebí **6,450 cm³ stavebního** a **3,294 cm³ podpůrného materiálu**. Celkový čas potřebný pro tisk této součásti byl vypočten softwarem CatalystEX na **3,83 hod.** Vytisknutý model součásti je zobrazena na obr. 3.5.



Obr. 3.4 Stavební a podpůrný materiál pro tisk součásti v softwaru CatalystEX.



Obr. 3.5 Vytisknutá součást s podpůrným materiálem na základové desce.

Poté co byl odstraněn podpůrný materiál, bylo nutné součást vytmelit a vybrousit. To hlavně z důvodu nerovností na součásti způsobených tiskem, který probíhal po vrstvách (obr. 3.1). Na modelu byly již okem zjištělné jednotlivé vrstvy, které by se přenesly na silikonovou formu, a tím i na voskový model. Tomuto přenesení jsme zabránili právě vytmelením a následným vybroušením součásti do hladka, jak je patrné na obr. 3.6.

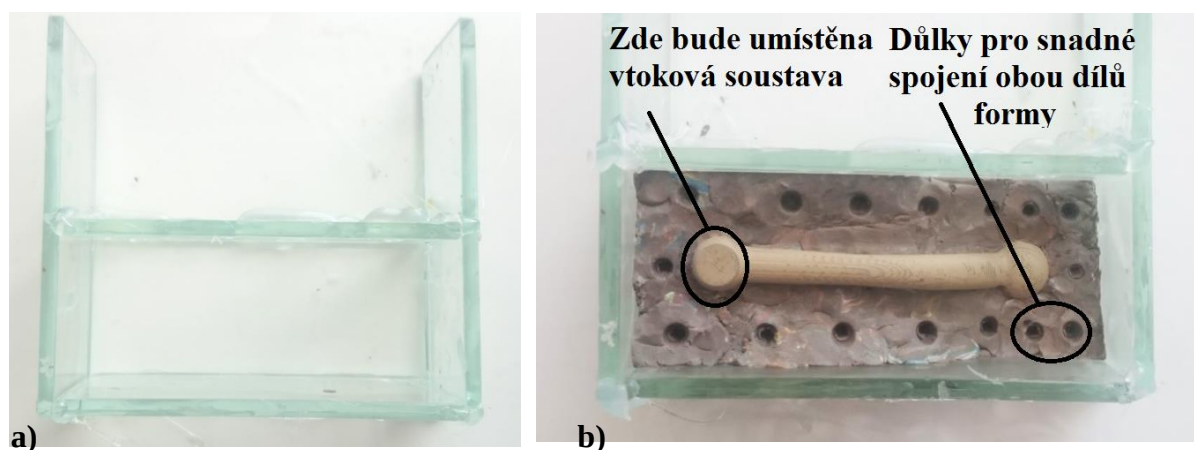


Obr. 3.6 Vytisknutá, vytmelená a vybroušená část rukojeti.

3.2 Silikonová forma

Pro zhotovení silikonové formy bylo použito metody vakuového lití. Tato metoda je jednou z nejvíce používaných metod pro výrobu funkčních plastových prototypů, kdy je třeba odlít jen několik kusů, protože výroba kovových forem je příliš nákladná. Postup výroby byl následovný.

Nejprve byly vytvořeny stěny formy, a to použitím nařezaných skel přiměřené velikosti. Tato skla byla spojena do skleněného boxu vhodné velikosti pomocí tavné pistole (obr. 3.7a). Tento box bylo nutné vyplnit plastickou hmotou („plastelínou“), a to v té části formy, která bude odlita jako druhá. Použito bylo tedy formy dvoudílné. Ještě před zaformováním modelu do plastické hmoty bylo třeba vhodně zvolit umístění vtokové soustavy (obr. 3.7b). Do takto připravené formy byl vložen a lehce přimáčknut připravený (vytmelený, vybroušený) plastový model vytisknutý ve 3D tiskárně (obr. 3.6) tak, aby byla vhodně zvolena dělicí rovina, která má podstatný vliv na kvalitu voskového modelu. Nevhodným zvolením dělicí roviny může dojít ke zničení nejen voskového modelu, ale i celé formy. Pro zapadnutí obou kusů formy do sebe byly na plastové hmotě vytvořeny důlky, které byly zalaty silikonovou hmotou. Ještě než mohla být silikonová hmota nalita do formy, bylo třeba plastový model potřít separátorem pro snadnější vyjmutí modelu ze silikonové formy.



Obr. 3.7 Příprava výroby formy:

a) Výroba skleněného boxu; b) Vyplnění formy (boxu) a zaformování modelu.

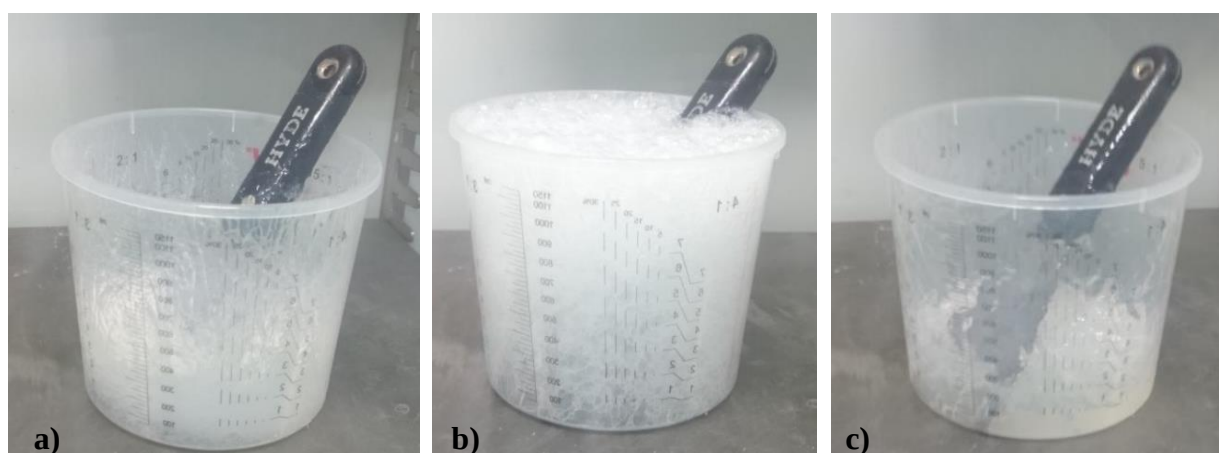
Do takto připravené formy byla nalita dvousložková silikonová hmota, kterou tvoří silikonový kaučuk Silastic T-4 a vytvrzující složka (tužidlo) Silastic T-4 O Curing Agent, obě od společnosti Ebalta. Po smíchání obou složek v poměru 10:1 byl ještě před nalitím do formy kelímek „Hot Cup“ s touto směsí vložen do vakuového zařízení MK-Mini od společnosti MK Technology GmbH (obr. 3.9) z důvodu odstranění nežádoucích bublin (obr. 3.8). Během procesu vakuování tyto bubliny vyplouvají na hladinu a praskají (obr. 3.8b). Kvůli získání co nejpřesnějšího otištění tvaru součásti je

velmi důležité, aby na povrchu součásti nebyly přilepeny bubliny. Vlastnosti silikonové hmoty jsou uvedeny v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Vlastnosti použité silikonové směsi [25].

Vlastnosti silikonové směsi	Hodnota	Jednotka
Viskozita při 25 °C	35000	$mPa \cdot s$
Čas zpracování 200 g/20 °C	90	min
Vytvrzení při pokojové teplotě	12	hod
Tvrdost dle Shoreho	40	A D při 20 °C
Pevnost v tahu	6,6	$N \cdot m^{-2}$

Doba vakuování se odvíjí zejména od objemu silikonové směsi. Během samotného vakuování musí být proces několikrát přerušen z důvodu pění a vytékání směsi (obr. 3.9b). Proces vakuování byl ukončen poté, co se hladina směsi ustálila (obr. 3.9c). Vzniklá hmota byla následně nalita do připraveného skleněného boxu vyplněného plastickou hmotou (obr. 3.7b).



Obr. 3.8 Příprava silikonové hmoty - vakuování: a) před procesem; b) proces vakuování; c) připravená silikonová hmota.

Vytvrzování směsi proběhlo na vzduchu při pokojové teplotě. Pro rychlejší vytvrzení by bylo možno použít pece. Po vytvrnutí silikonu byla tato dočasná forma (box) rozebrána. Dále byla silikonová forma oddělena od plastové (teď už nepotřebné) hmoty. Jako finální operace první části formy byly odřezány přebytečné části silikonu, aby bylo dosaženo požadovaného obdélníkového tvaru.

Druhá část formy vznikla stejným způsobem jen s tím rozdílem, že místo plastové hmoty byla použita první část formy.

Do té byl následně vložen plastový model, který byl opět potřen separátorem pro snadnější oddělení modelu od formy (obr. 3.11).



Obr. 3.9 Vakuové zařízení MK-mini.



Obr. 3.10 Odlitý horní díl silikonové formy s vtokovým systémem.

Takto připravená forma byla až po okraj zalita silikonem (obr. 3.12). Vytvrzování rovněž proběhlo na vzduchu při pokojové teplotě. Rozebraná forma je zobrazena na obr. 3.12. Složená forma je vyobrazena na obr. 3.13.



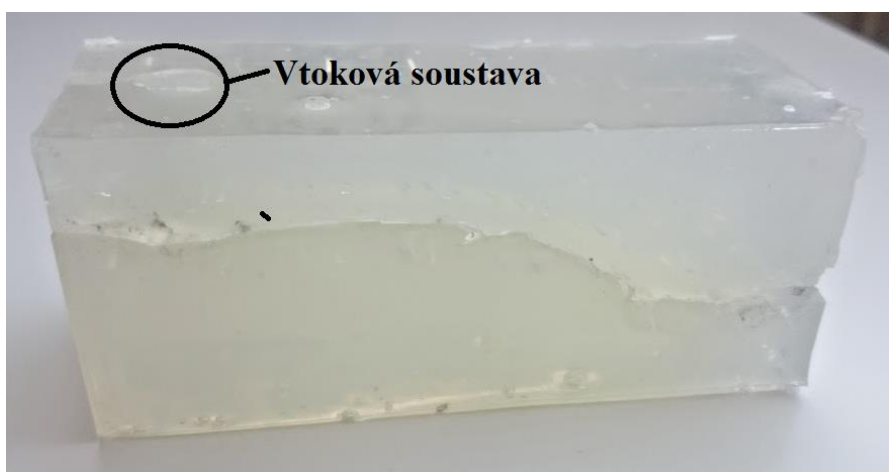
Obr. 3.11 Příprava druhé části formy.



Obr. 3.11 Zalítí druhé části formy silikonem.



Obr. 3.12 Připravená dvoudílná silikonová forma pro výrobu voskových modelu – rozložená.



Obr. 3.13 Připravená složená dvoudílná silikonová forma pro výrobu voskových modelu s vtokem umístěným na horní ploše vlevo.

4 ODLITÍ VOSKOVÉHO MODELU SOUČÁSTI

Tato kapitola je zaměřena na odlití voskového modelu součásti, které bude popsáno krok po kroku tak, jak je nutné postupovat pro tvorbu co nejpřesnější kopie součásti, která byla vytisknuta ve 3D tiskárně. Dále byl odlit navíc model z plastu (rychleschnoucí pryskyřice) pro porovnání zabíhavosti, pórovitosti a jakosti povrchu.

4.1 Příprava formy pro odlití voskového modelu

Nejprve bylo nutné dvoudílnou silikonovou formu spojit kovovými kancelářskými sponkami z důvodu nežádoucího vytékání vosku mimo formu. Další operací bylo předehřívání. Teplota předehřevu byla stanovena na vyšší hodnotu, než jakou měl vosk při odlévání (80 °C), a to na 86 °C po dobu 0,5 hod z důvodu přenášení formy z předehřívací pece do vakuového zařízení MK-mini, kde byl vosk odlit do formy. Samotným předehřevem bylo získáno požadované lepší zabíhavosti vosku.



Obr. 4.1 Forma spojená kancelářskými sponkami.



Obr. 4.2. Předehřívací pec.

4.2 Odlití voskového modelu

Nejprve bylo nutné roztavit vosk. Při ohřívání silikonové formy v peci byl současně ohříván vosk na teplotu 80 °C v licím kelímku „Hot Cup“ (obr. 4.3), který je součástí vakuového licího zařízení MK-mini. Odlití proběhlo ve vakuu, aby se předešlo nežádoucím bublinám vně i uvnitř vznikajícího voskového modelu. Pro lepší zatečení vosku do celé dutiny silikonové formy bylo nutné formu podložit. Toto podložení bylo provedeno jednoduše dřevěnými podložkami (obr. 4.4). Proces odlití vosku do silikonové

formy je zobrazen na obr. 4.5. Po odlití byla forma ponechána na vzduchu, kde tuhla při pokojové teplotě. Teprve poté mohla být forma opatrně rozebrána, aby nedošlo k poškození voskového modelu součásti, konkrétně části rukojeti navijáku.



Obr. 4.3 Lící kelímek „Hot Cup“ vakuového lícího zařízení MK-mini se zásobníkem vosku.



Obr. 4.4 Podložení formy.

Pro odlévání byly vybrány tři druhy vosků s různými vlastnostmi. Odlitek z prvního vosku s označením A7/RT 26 byl značně pórovitý, špatně zatékal a celkově se s ním špatně pracovalo. Při vyjímání z formy došlo k jeho zlomení, z toho důvodu nevyhovoval, nebyl z něho tedy odléván další kus, ale byl zvolen jiný druh vosku. Popis a vlastnosti vosku jsou uvedeny v příloze 2 [26].

Odlitek z druhého vosku A7/RT 27 (obr. 4.6) již nebyl tolik pórovitý a dobře zabíhal. Proto byl z tohoto vosku odlit další kus (obr. 4.7). Druhý odlitek z tohoto vosku již pórovitý nebyl. Popis a vlastnosti použitého vosku jsou uvedeny v příloze 3 [26].

Další vosk, který byl použit pro odlití této součásti, má označení A7-TGG/09 (obr. 4.7). Vosk s tímto označením se používá zejména ve šperkařství díky jeho dobré zabíhavosti. Odlitek z tohoto vosku dopadl nejlépe jak po stránce zatečení, tak po stránce jakosti a pórovitosti. Pro výrobu větší série odlitků voskových modelů by bylo s největší pravděpodobností použito tohoto vosku. Podrobný popis a vlastnosti tohoto vosku jsou uvedeny v příloze 4 [26].



Obr. 4.5 Proces lití voskové směsí do silikonové formy.



Obr. 4.6 Voskový model z vosku A7/RT 27 – první odlitek.



Obr. 4.7 Voskový model z vosku A7/RT 27 – druhý odlitek.



Obr. 4.8 Voskový model z vosku A7-TGG/09.

Pro ověření funkčnosti vyrobené silikonové formy při použití jiného než voskového materiálu byl do formy odlit i plastový model součásti (části rukojeti navijáku). Byla zvolena dvousložková rychleschnoucí pryskyřice od společnosti Ebalta. Tato pryskyřice má označení SG 2000 / Komp. A+B (obr. 4.9). Vlastnosti a použití tohoto materiálu jsou uvedeny v příloze 5 [27].



Obr. 4.9 Rychleschnoucí pryskyřice SG 200 A+B.

4.3 Další postup výroby

Další postup by byl následovný [28]:

- sestavení voskových modelů do tzv. stromečku,
- výroba skořepinové formy,
- vytavení voskového modelu,
- vypálení skořepinové formy (žihání),
- odlití kovu do skořepinové formy: klasické (gravitační) lití, sklopné lití,

- dokončovací operace: rozbití skořepinové formy, odstranění vtokové soustavy, oddělení vtoků a nálitků, tryskání,
- přebrobení funkčních ploch odlitku,
- kontrola odlitku: rozměrová, jakostní, kontrola vnitřních vad.

ZÁVĚR

První kapitola této bakalářské práce se zabývá charakteristikou technologie vytavitelného modelu obecně. Je zde podrobně popsán celý postup výroby krok po kroku tak, jak je standardně postupováno při použití této technologie pro výrobu součástí ve slévárnách. Rozebrána je zde zejména výroba forem, a to vyráběných jak obráběním, tak podle matečného modelu (odléváním). Pro představu je zde také zhodnocena situace rozvoje této technologie ve světě i v České republice v rámci posledních let.

Druhá, třetí a čtvrtá kapitola je zaměřena na výrobu reálné součásti, kterou byla zvolena část rukojeti na rybářský naviják. Rybářské vybavení je neustále zdokonalováno, proto byl v této práci učiněn pokus zdokonalit i tuto součást. Hlavním cílem bylo snížit hmotnost součásti, což se povedlo.

Druhá kapitola je zaměřena na konstrukci 3D modelu. Kromě originálu zde byly vytvořeny 3 varianty pro výrobu. Z těchto variant byla vybrána ta varianta, která nejlépe splňovala cíle, jež byly stanoveny. Vybrána byla proto varianta číslo 2, kde byla při použití nerezové oceli zjištěna hmotnost v konstrukčním softwaru Inventor o 11 gramů nižší oproti originálu. Dalšími podstatnými výhodami, kterých bylo touto metodou dosaženo, bylo zvýšení pevnosti součásti v namáhaném směru, zjednodušení tvaru, zjednodušení výroby, snížení objemu materiálu, a v konečném důsledku i snížení celkových výrobních nákladů.

Třetí kapitola je zaměřena na výrobu silikonové formy. Zde je popsána výroba matečného modelu vytištěného ve 3D tiskárně. Dále jsou zde uvedeny kroky, které je třeba provést pro výrobu silikonové formy dle matečného modelu.

Ve čtvrté kapitole je zaznamenán postup pro vakuové odlití voskového (plastového) modelu části rukojeti navijáku do silikonové formy v zařízení MK-mini od společnosti MK Technology GmbH. Pro porovnání vlastností byl tento model odlit z více druhů vosků a nakonec byl použit i plast. Nejvhodnějším se jevil odlitek z vosku s označením A7-TGG/09 od společnosti Blayson, který se používá zejména ve šperkařství z důvodu dobré zabíhavosti. Tento odlitek dopadl nejlépe jak po stránce zabíhavosti a pórovitosti, tak i po stránce celkové jakosti. Pro větší sérii výrobků by tedy bylo vhodné použít tento typ vosku.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BEELEY, P. R.; SMART, R. F. *Investment Casting*. London: The Institute of Materials, 1995, 486 s. ISBN 09-017-1666-9.
- [2] DOŠKÁŘ, J. *Výroba přesných odlitků*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1976, 315 s. ISBN DT 621.746.
- [3] HORÁČEK, M. *Slévárenská technologie I*. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1990, 166 s. ISBN 80-214-0217-2.
- [4] HORÁČEK, M. *Rozměrová přesnost odlitků vyráběných metodou vytavitelného modelu* [online]. 2009. Brno, 2009, 92 s. [vid. 2016-05-21]. ISBN 802142558X. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/technologie-vytavitelneho-modelu/technologie-vytavitelneho-modelu.pdf>. Habilitační práce. VUT.
- [5] Jednotlivé části procesu přesného lití. In: Nowak SA: *Process* [online]. Nowak [vid. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.nowak.fr/process-fabrication.php>.
- [6] SOUKUPOVÁ, L. *Technologie vytavitelného modelu v současnosti* [online]. Brno, 2011 [vid. 2016-05-21]. 56 s. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39058. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Milan Horáček.
- [7] HERMAN, A. *Lití na vytavitelný model* [online]. Praha, 2009, 30 s. [vid. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/419638-Ing-ales-herman-ph-d.html>. Dizertační práce. ČVUT.
- [8] Liti kovů - vytavitelný ABS model a odlitek. In: *MCAE 3D Digitální technologie: Vakuové lití* [online]. MCAE Systems [vid. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/data/imgs/00503l.jpg>.
- [9] WILLIAMS, R; HORÁČEK, M. a HIRST, R. *Přehled světové produkce odlitků vyráběných metodou vytavitelného modelu*. Slévárenství: Časopis pro slévárenský průmysl. 2012, LX(9-10), 319-322. ISSN 0037-6825.
- [10] DOŠKÁŘ, J. *New Ways of Metal Casting*. Praha, 1955.

- [11] HORÁČEK, M. Investment Casting in Czech Republic. In: *INCAST: Časopis pro slévárenský průmysl*. 1997, (1-2).
- [12] HORÁČEK, M.; ROUS, S. *Investment Casting in Czech Republic*. Cambridge: 23rd BICTA Conference, 1997.
- [13] HORÁČEK, M. *Central and Eastern Europe*. Monte Carlo: 10th World Conference on Investment Casting, 2000.
- [14] HORÁČEK, M. *Technologie vytavitelného modelu v České republice*. Buletin: Czech Investment Casting Association, 1999.
- [15] CAMPBELL, J. *Casting*. UK: Butterworth – Heinemann, 1991.
- [16] HORÁČEK, M. Technologie vytavitelného modelu - technologie pro nové tisíciletí. *Slévárenství*. 2001, (10), 570 - 580. ISSN 0037-6825.
- [17] Proces odlití. In: *Mesit foundry: Výroba odlitků* [online]. Mesit [vid. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.fimes.mesit.cz/cs/cat/228-vyroba-odlitku/1>.
- [18] Proces oddělování odlitků. In: KDYNÍUM: *Oddělování odlitků* [online]. KDYNÍUM [vid. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.kdynium.cz/oddelovani-odlitku.aspx>.
- [19] Měřidla. In: *Slévárna Anah: Systém kvality* [online]. Slévárna Anah Prostějov [vid. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.slevarna-anah.cz/Data/img/systemkvality/Rozm%C4%9Brov%C3%A1%20kontrola%201640.jpg>.
- [20] 3D tiskárna uPrint. In: *Stratasys: 3D tiskárny* [online]. Stratasys [vid. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/3d-printers>.
- [21] Tabulka vlastností. In: *Evektor: Vývojové aktivity - 3D tisk metodou FDM - Specifikace použitých materiálů* [online]. Evektor [vid. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.evektor.cz/sites/default/files/pdf/ms-pc-abs-fortus.pdf>.
- [22] PÍŠKA, M. *Speciální technologie obrábění*. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [23] Princip nanášení materiálu metodou FDM. In: *Periferie tiskárny: Fused deposition modeling* [online]. [vid. 2016-05-22]. Dostupné z: http://talmar.masteride.cz/Modul_EP_pf/EP-vyuka12.html.

- [24] Ultrazvuková čistička. In: *Kanclservis: Zdravotnické vybavení - ultrazvukové čističky* [online]. [vid. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.kanclservis.cz/cz-detail-665182-vgt-ultrazvukova-cisticka-6l-s-ohrevem-vgt-1860qt-180w.html>.
- [25] Silikon Silastic T-4. In: *Ebalta: Katalog produktů - silikony* [online]. Ebalta [vid. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.ebalta.cz/cz/katalog-produktu/silikony//silastic-t-4>.
- [26] Virtuální prohlídka společnosti Blayson. In: *Blayson – vlastnosti vosků* [online]. Blayson [vid. 2016-05-19]. Dostupné z: <https://www.blayson.com/>.
- [27] Tekutá rychleschnoucí lící pryskyřice In: *Ebalta Katalog produktů – Rychleschnoucí pryskyřice* [online]. Ebalta [vid. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.ebalta.cz/cz/katalog-produktu/rychleschnouci-lici-pryskyrice/pryskyrice-neobsahujici-plniva/sg-2000-komp-a%C2%A0-b>.
- [28] JAROŠ, A. *Nové frézovací nástroje z rychlořezných ocelí pro hrubovací operace* [online]. Brno, 2015. [vid. 2016-05-21]. 147 s. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=105539. Dizertační práce. VUT. Vedoucí práce Miroslav Píška.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
ABS	[-]	Akrylonitril Butadien Styren
CAD	[-]	Computer Aided Design
CLA	[-]	Counter-gravity & Low-pressure casting in Air
CLV	[-]	Counter-gravity & Low-pressure casting in Vakuum
FDM	[-]	Fused Deposition Modelling
ISO	[-]	International Organization for Standardization
SiO₂	[-]	Oxid křemičitý
STL	[-]	Standard Triangulation Language or STereoLitography

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Silikonová směs SILASTIC ® T-4 [25]
Příloha 2	Vosk A7/RT 27 [26]
Příloha 3	Vosk A7/RT 26 [26]
Příloha 4	Vosk A7-TGG/09 [26]
Příloha 5	Rychleschnoucí pryskyřice SG 200 A+B [27]

PŘÍLOHA 1: Silikonová směs SILASTIC® T-4



Silikonový kaučuk – základní hmota a tužidlo T-4/T-4

Použití:

Silastic T-4 je vysoce pevný silikonový kaučuk k výrobě forem pro prototypy a malé série. Byla vyrobena zejména pro rychlou výrobu prototypů.

Silastic T-4 je dvousložkový silikonový kaučuk s možností volby tužidla a to mezi **T-4 S** (standard) nebo **T-4 O** (olejové). Po smíchání s tužidlem v poměru 10 : 1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na průhledný (transparentní) kaučuk.

Tužidlo T-4 O vyvolává samomazný efekt, čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Vlastnosti:

- vynikající samoseparační vlastnosti,
- vytvrzení je možno urychlit teplem,
- velmi nepatrné smrštění a dobrá dimenzní odolnost,
- Velmi tvrdý, ale flexibilní a tuhý,
- Vhodný zejména pro použití při vyšších teplotách,
- Dvě silikonová tužidla:
 - ☐ T-4 S (standard) nebo,
 - ☐ T-4 O (olejové).

Popis:

Silastic T-4 je dvousložkový silikonový kaučuk s možností volby tužidla a to mezi **T-4 S** (standard) nebo **T-4 O** (olejové). Po smíchání s tužidlem v poměru 10 : 1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na průhledný (transparentní) kaučuk.

Tužidlo T-4 O vyvolává samomazný efekt, čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Informace pro zpracování

		Směs SILASTIC S	Hmota	Tužidlo
Barva		průsvitná	-	-
poměr míchání	Hmot. díly	-	100	10
viskozita	mPas	cca 35 000	cca 70 000	cca 300
čas zpracování	minut	90	-	-
vytvrzení při pokojové teplotě	Hod.	8	-	-

Vlastnosti

	Typ zkoušky	Jednotka	Hodnota
Tvrdost Shore	DIN 53505	Shore A	cca 40
Pevnost v tahu	EN ISO 527	MPa	6,7
Protažení	EN ISO 527	%	400
Odolnost proti přetržení	DIN ISO 34-1	kN/m	-
Hustota při 23°C	-	g/cm ³	-
Lineární smrštění	Interní pokyny	%	<0,1

Zpracování a použití:

Po smíchání s tužidlem v poměru 10:1 se vytvrzuje při pokojové teplotě na transparentní (průhledný) kaučuk. Tužidlo T-4 O vyvolává "samomazný efekt", čímž vylepšuje separační vlastnosti materiálu.

Hlavní znaky:

- rychlé vytvrzení za 6-8 hodin při pokojové teplotě,
- nízká viskozita - snadné míchání a odplynění,
- dobré separační vlastnosti.

Povrch originálu musí být čistý bez zbytků staré hmoty. Při porézním povrchu používáme separátor voskový, anebo PTFE sprej. Mícháme v poměru 100:10 v čisté nádobě, důkladně až k úplnému spojení obou složek. Mícháme ručně nebo pomocí míchadla, plynule v menších dávkách a dbáme, aby teplota během míchání nestoupla nad 35°C. Doporučujeme směs podrobit vakuování pro odstranění vzduchu (1 - 2 min.). Během vakuování nabude směs až 5-ti násobku výchozího stavu, s čímž je třeba počítat při volbě velikosti mísící nádoby. Když vakuování neprovádíme, nanese vlasovým štětcem malou vrstvu (1-2 mm). Po jejím vytvrzení pak pokračujeme dále.

Odléváme co nejdříve, abychom snížili možnost pohlcení vzduchu. Vytvrzení do stavu flexibilní gumy nastane při teplotě 22-24°C za 6-8 hodin, pak můžeme rozebírat. Zkrácení vytvrzovací doby dosáhneme ohřevem, ale jen za cenu větší smrštivosti.

UPOZORNĚNÍ:

Všechny elastomery vytvrzované tužidly, jsou při styku s určitými materiály náchylné k nedokonalému vytvrzení, a to do 24 hod. Dojde jen k částečnému vytvrzení, anebo kontaktní plocha s druhým materiálem zůstává lepkavá. Materiály, které obsahují aminy, organické sloučeniny cínu, nebo látky složené ze sloučenin kyselin, působí mimořádně silně proti vytvrzování. Proto doporučujeme přezkoušet míchací nádoby, formy, vlastní modely a separátory, zda nebrání vytvrzování.

Použití:

Formy ze SILASTIC T-4 mají i při vysokých teplotách dlouhou životnost. Stálé používání nad 200°C však po delší době způsobuje snížení elasticity. Použití pro teploty nad 250°C se nedoporučuje.

Po úplném vytvrzení je SILASTIC T-4 velmi odolný chemikáliím. Dlouhodobý styk s pryskyřicemi a dalšími agresivními hmotami může mít vliv na fyzikální vlastnosti, dělitelnost, eventuálně na přesnost rozměrů formy. Doporučuje se proto pravidelně rozměry forem přezkoušet.

PŘÍLOHA 2: VOSK A7-RT/26

VÝROBCE BLAYSON

Charakteristika:

- rychle tuhnoucí vosk,
- minimální přilnavost,
- dobrá tekutost,
- dobrá rozměrová stabilita,
- bez náklonnosti ke vzniku dutin,
- maximální doporučená teplota tavení 100 °C,
- při zpracování doporučeno stálé míchání.

Vlastnosti:

- dodávání ve formě: pelet,
- bod tuhnutí 63 - 68 °C,
- bod skápnutí 64 - 69 °C,
- doporučená teplota vstřikování v tekutém stavu 68 - 72 °C,
- doporučená teplota vstřikování v pastovitém stavu 60 - 64 °C,
- obsah plniva 30 - 33 %,
- typ plniva XLPS 40 - 100 µm,
- obsah popela max 0,03 %,
- viskozita při 70 °C 0,8 - 1,2 Pa·s,
- střední tekutost,
- volná lineární kontrakce 0,6 - 0,8 %,
- barva: zelená.

PŘÍLOHA 3: VOSK A7/RT 27

VÝROBCE BLAYSON

Charakteristika:

- rychle tuhnoucí vosk,
- minimální přilnavost,
- dobrá tekutost,
- dobrá rozměrová stabilita,
- bez náklonnosti ke vzniku dutin,
- maximální doporučená teplota tavení 100 °C,
- při zpracování doporučeno stálé míchání.

Vlastnosti:

- dodáván ve formě: pelet,
- bod tuhnutí: 62 - 66 °C,
- bod skápnutí: 66 - 70 °C,
- doporučená teplota vstřikování v tekutém stavu: 68 - 72 °C,
- doporučená teplota vstřikování v pastovitém stavu: 60 - 64 °C,
- obsah plniva: 33 - 37 %,
- typ plniva: XLPS 40 - 100 µm,
- obsah popela: max 0,03 %,
- viskozita při 70 °C: 0,8 - 1,3 Pa·s,
- střední tekutost,
- volná lineární kontrakce: 0,8 - 1 %,
- barva: zelená.

PŘÍLOHA 4: VOSK A7-TGG/09



Technical Data Sheet

A7-TGG/09 Jewellery Wax

Provisional

N.B. This TDS will be subject to review after 12 supplied batches.

Description

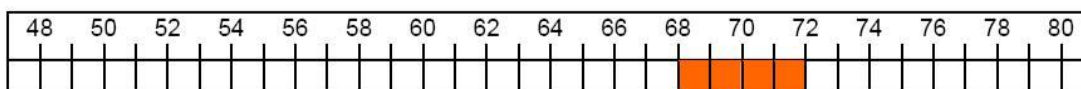
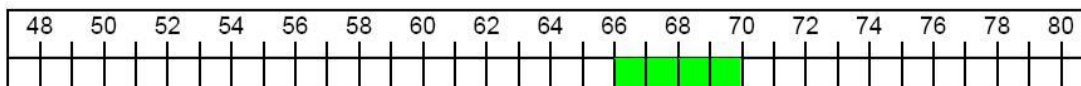
- A rigid jewellery wax
- Suitable for carving and hand forming
- Designed to be a very strong, tough wax
- Dimensionally very stable
- Non-sticky requiring very little release agent for removal from dies
- Resists cracking

Recommended Usage

- Maximum melting temperature of 100°C.
- The use of a suitable pattern wash, such as Trisol 60 Plus is suggested to aid in prime coat adhesion.

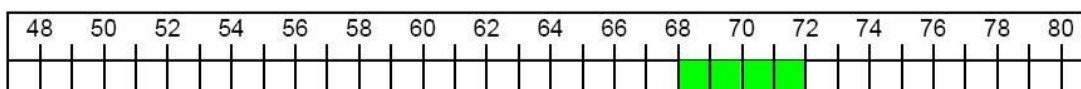
Typical Properties

Congeaing Point/°C



Drop Melt Point/°C

Recommended Injection Temperature/°C: Paste/Liquid

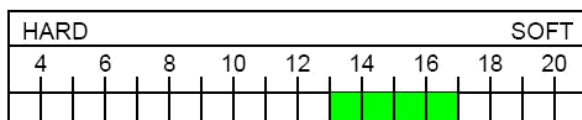


Mechanical Strength

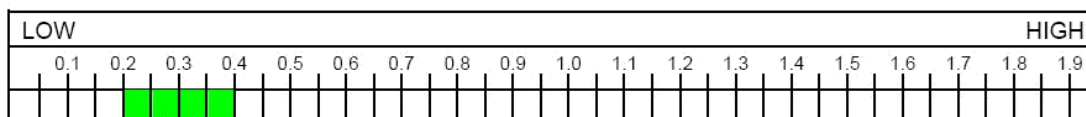
FLEXIBLE				RIGID
----------	--	--	--	-------

Provisional

N.B. This TDS will be subject to review after 12 supplied batches.

Penetration/ 10^{-1} mm

Viscosity/Pa s @ 70°C



Fluidity



Type of Filler:	NONE
Ash Content:	0.05% Max
Free Linear Contraction:	1.0 – 1.2% ESTIMATED

PŘÍLOHA 5: RYCHLESCHNOUCÍ PRYSKYŘICE SG 200 / KOMP. A+B



SG 2000 / Komp. A + B

Označení: vysoce jakostní, velmi tekutá rychletvrdnoucí licí hmota

Pryskyřice: SG 2000 Komp. A

Tužidlo: SG 2000 Komp. B

Barva: slonová kost

Použití - slévárenské modely

- jaderníky
- formovací desky
- negativy
- prototypy
- vakuové hlubokotažné formy
- kopírovací modely

Vlastnosti materiálu - neplněná

- velmi tekutá
- vysoká možnost plnění
- dokonalé celkové vytvrzení
- velmi vysoká pevnost
- vysoká tepelná odolnost

Informace pro zpracování

Výrobek		Směs SG 2000 / Komp. A + B	Pryskyřice SG 2000 Komp.A	Tužidlo SG 2000 Komp. B
Barva		slonová kost	bílá	žlutavá
Poměr míchání	hm. díly		100	100
Viskozita při 25°C	mPas	50 ± 5	80 ± 10	25 ± 5
Hustota při 20°C	g/cm ³	1,10 ± 0,02	1,02 ± 0,02	1,14 ± 0,02
Čas zprac. 200g/20°C	minut	4	-	-
Vytvrzení při pokojové tep.	hod.	0,5 - 1	-	-

Fyzikální informace

Vlastnosti	Typ zkoušky	Jednotka	Hodnota
Pevnost v ohybu	EN ISO 178	MPa	57 ± 5
E-Modul (v ohybu)	EN ISO 178	MPa	1500 ± 100
Deformace ohybem v okamžiku lomu	EN ISO 178	%	7,5 ± 0,4
Pevnost v tlaku	EN ISO 604	MPa	45 ± 5
Rázová houževnatost (Charpy)	EN ISO 179	kJ/m ²	24 ± 4

Tepelná odolnost tvaru dle Martense	DIN 53458	°C	66 ± 3
Tvrdost Shoreho	DIN 53505	Shore D	72 ± 2
Koeficient délkové roztažnosti	DIN 53752	10 ⁻⁶ K ⁻¹	-
Lineární smrštění	interní	%	-

Forma dodání:

Karton:

Jednotlivé balení: Pryskyřice SG 2000 Komp.A 1 kg; 5 kg; 25 kg
Tužidlo SG 2000 Komp.B 1 kg; 5 kg; 25 kg

Poznámky ke zpracování

Plniva by se měla do jednotlivých komponent vmíchat tak, aby měli asi stejnou viskozitu. Poté se dají obě komponenty velmi dobře společně promíchat.

Při malém množství a při dostatečných zkušenostech, je také možné nejdříve smíchat nenaplněné komponenty a teprve poté vmíchat plnivo, aniž by byla doba zpracování pro lití příliš krátká.

Odlévat na suchý a čistý povrch, který byl předem ošetřen vhodným separátorem.

Všeobecně

U řady SG 2000 se jedná o vysoce hodnotné, téměř bez zápachové, dvou komponentní polyuretanové licí hmoty bez vmíchaného plniva. Toto plnivo se vmíchá teprve při promíchání obou komponent. K výběru jsou různé pryskyřičné komponenty, které se zpracovávají se stejným tužidlem. Jednotlivé typy se liší v době zpracování a vytvrzení. Rychlé vytvrzení těchto materiálů způsobuje krátkou dobu doformování. Velmi nízká viskozita nám umožňuje vysoký stupeň plnění. Přidáním různých druhů plniv ovlivníme výsledné vlastnosti a pevnosti.

Nádoby s komponenty by se měli před použitím pečlivě promíchat (protřepat).

Stupeň plnění a způsob dodání plniv jsou uvedeny ve zvláštní tabulce.

Použitím surovin se mohou u výrobku vyskytnout barevné rozdíly, které nemají vliv na kvalitu a vlastnosti pryskyřice.

Skladování

V temperovaných místnostech (18 – 25°C) v neotevřeném originálním balení lze skladovat 6 měsíců.

Rozdělaná balení vždy uzavřít a co nejdříve zpracovat.

Ochranná opatření

Při zpracování tohoto produktu by se mělo dbát ochranných opatření odborového svazu chemického průmyslu. Řídit se bezpečnostními radami.

Likvidace

Vytvrzené materiály lze po domluvě s příslušným úřadem likvidovat jako domovní odpad.

Nevytvrzené výrobky se musí dle domluvy s příslušným úřadem náležitě zlikvidovat.

K upozornění

Tyto údaje a doporučení byly stanoveny s největší starostlivostí na základě důkladných pokusů a dlouholetých, praktických zkušeností. Protože není možné kontrolovat zpracování přímo u spotřebitele, možnosti použití a pracovní metody jsou velice různorodé, není možné přebírat záruku za jednotlivé případy.