

Vliv procesních podmínek vstřikování vosku na jakost výrobku

Bc. Tomáš Mlýnek

Diplomová práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Tomáš Mlýnek
Osobní číslo:	T18314
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Vliv procesních podmínek vstřikování vosku na jakost výrobku

Zásady pro vypracování

- 1) Vypracujte literární rešerši na dané téma
- 2) Porovnání směsí a technologických parametrů procesu vstřikování
- 3) Návrh technologických podmínek pro vstřikování
- 4) Hodnocení výsledků

Forma zpracování diplomové práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- NĚMEC, Milan, Bohumír BEDNÁŘ a Barbora BRYKSÍ STUNOVÁ. *Teorie slévání*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06026-1.
- NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy strojírenské technologie I*. 3. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06056-8.
- STANĚK, Michal. *Vliv technologických parametrů na zatékavost polymerů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017, 54 s. Teze habilitační práce. ISBN 978-80-7454-674-7.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Řezníček, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Ve Zlíně dne 10. února 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové 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.

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na zkoušení nového typu vosku pro vstřikování voskových modelů u technologie přesného lití na vytavitelný model. Teoretická část se věnuje základním složkám, ze kterých se vosková směs skládá a také fyzikálním vlastnostem, které jsou velmi důležité pro výslednou kvalitu a rozměr voskového modelu. Poslední kapitolou je souhrn vad vznikajících při výrobě odlitků.

Praktická část se zabývá volbou nově dodané směsi, kterou bylo zapotřebí porovnat se současnou směsí, vyzkoušet ji v provozu a následně směs zařadit do výroby. Následuje stanovení technologických podmínek pro vstřikování nově vybrané směsi a vstřikování vybraných dílů.

Klíčová slova: Přesné lití, ztracený model, vstřikování vosku, voskový model, procesní parametry

ABSTRACT

The diploma thesis focused on testing of new type of wax for the injection of wax models in the technology of precise casting on a fusible model. The theoretical part deals with the basic components in which the wax mixture consist of and also with the physical properties which are very important for the resulting quality and size of the wax model. The last chapter is a summary of defects emerging in the production of casting.

The practical part deals with option of newly delivered mixture, which needed to be compared with the current mixture, tested in operation and the add the mixture into production. This is followed by a determination of technological conditions for injection of newly selected mixture and the injection of selected parts.

Keywords: Exactly cast, lost model, wax injection, wax model, process parameters

Tímto chci poděkovat Ing. Martinu Řezníčkovi, Ph.D. za konzultace, čas a trpělivost spojené s psáním diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat společnosti SPO Zlín s. r. o., pracovníkům slévárny a především panu Ing. Martinu Masaříkovi za cenné rady a informace poskytnuté k psaní diplomové práce.

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

Ve Zlíně

.....

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TECHNOLOGIE ZTRACENÉHO VOSKU	11
1.1 STRUČNÁ HISTORIE	11
1.2 PROCES TECHNOLOGIE ZTRACENÉHO VOSKU	12
1.2.1 Výroba voskového modelu	13
1.2.2 Sestavování modelů	15
2 VOSKOVÉ SMĚSI	17
2.1 ZÁKLADNÍ SLOŽKY	17
2.1.1 Parafínový vosk.....	18
2.1.2 Pryskyřice.....	18
2.1.3 Mikrokrystalický vosk	18
2.1.4 Polymery	18
2.1.5 Plniva.....	18
2.2 ROZDĚLENÍ VOSKOVÝCH SMĚSÍ DLE POUŽITÍ.....	19
2.2.1 Vosky na modely.....	19
2.2.2 Vosky na vtokové ústrojí	19
2.2.3 Vosk rozpustný ve vodě	20
2.2.4 Speciální vosky	20
2.2.5 Vosky regenerované a rekonstituované	20
3 ZKOUŠENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ VOSKOVÝCH SMĚSÍ	21
3.1 BOD SKÁPnutí	21
3.2 BOD TUHNUTÍ.....	21
3.3 OBSAH PLNIV	22
3.4 OBSAH POPELA.....	22
3.5 VIZKOZITA	23
3.6 PENETRACE	24
4 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ROZMĚR VOSKOVÝCH MODELŮ	25
4.1 PŘESNOST VOSKOVÝCH MODELŮ.....	26
4.1.1 Typ použitého vosku	27
4.1.2 Geometrie součástí	28
4.1.3 Technologie výroby voskového modelu	28
5 PŘEHLED VAD ODLITKŮ, JEJICH PŘÍČINA A ODSTRANĚNÍ	30
5.1 VADY TVAROVÉHO, ROZMĚROVÉHO A VÁHOVÉ CHARAKTERU	30
5.1.1 Nezaběhnutí.....	30
5.1.2 Vyboulení.....	31
5.1.3 Přesazení	31
5.1.4 Zatekliny	31
5.1.5 Zborcení	32
5.1.6 Mechanické poškození	32
5.1.7 Nedodržení rozměrů a hmotnosti	32
5.2 VADY POVRCHOVÉHO CHARAKTERU	33
5.2.1 Připečeniny.....	33

5.2.2	Zavaleniny	33
5.2.3	Zálupy	33
5.2.4	Strupy (nárůstky).....	33
5.2.5	Výronky.....	33
5.2.6	Kuličky	34
5.2.7	Omačkání, otlučení, pohmoždění.....	34
5.3	VADY TYPU PŘERUŠENÍ SOUVISLOSTI.....	34
5.3.1	Trhliny.....	34
5.3.2	Praskliny.....	35
5.4	VADY DUTINOVÉHO CHARAKTERU	35
5.4.1	Bubliny	35
5.4.2	Zadrogeniny	36
5.4.3	Struskovitost.....	36
5.4.4	Staženiny	36
II	PRAKTICKÁ ČÁST	37
6	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	38
7	SLÉVÁRNA PŘESNÝCH ODLITKŮ VE ZLÍNĚ	39
8	METODA VYTAVITELNÉHO MODELU VE SLÉVÁRNĚ SPO ZLÍN.....	40
8.1	VÝROBA MODELU.....	40
8.2	PŘIPOJOVÁNÍ VOSKOVÝCH MODELŮ DO STROMEČKŮ	40
8.3	VZNIK SKOŘEPINOVÝCH OBALŮ	41
8.4	VYTAVOVÁNÍ VOSKU A ŽIHÁNÍ SKOŘEPINY	42
8.5	LITÍ KOVU	42
8.6	ODSTRANĚNÍ SKOŘEPIN A ODLITKŮ OD VTKOVÉ SOUSTAVY	43
8.7	KONTROLA A EXPEDICE HOTOVÉHO ODLITKU	43
9	POPIS PŮVODNÍ VOSKOVÉ HMOTY	44
9.1	PŘÍPRAVA VÝROBY VOSKOVÉ HMOTY	44
9.2	REGENERACE VOSKOVÉ MODELOVÉ HMOTY	45
9.3	MÍCHÁNÍ A OCHLAZOVÁNÍ VOSKOVÉ HMOTY	47
9.4	PŘÍPRAVA MODELOVÉ HMOTY KE VSTRÍKOVÁNÍ	47
9.5	PROBLÉMY VOSKOVÉ HMOTY	48
10	POROVNÁNÍ VOSKOVÝCH SMĚSÍ.....	50
11	ZKOUŠKY NOVĚ DODANÝCH MATERIÁLŮ	52
11.1	MATERIÁL PW 3179	52
11.2	MATERIÁL PW 3205 A PW 3112.....	53
11.3	MATERIÁL PW 3082	55
11.4	MATERIÁL PW 3251	55
12	VYHODNOCENÍ ZKOUŠENÝCH VOSKŮ	57
12.1	VIZUÁLNÍ ZHODNOCENÍ VYBRANÉ SMĚSI	57
12.2	ÚPRAVA PROCESNÍCH PARAMETRŮ VYBRANÉ SMĚSI	59
13	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	68
	ZÁVĚR	70
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	71

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	74
SEZNAM OBRÁZKŮ	75
SEZNAM TABULEK.....	77
SEZNAM PŘÍLOH.....	78

ÚVOD

Technologie přesného lití neboli také proces ztraceného vosku patří k nejvšestrannějším technologiím, použitých při výrobě velmi přesných dílů, kdy jsou požadovány složité detaily, nebo díly nelze obrobit. Mezi důležité parametry procesu vstřikování vosku patří teplota vstřikování, tlak a doba vstřikování. Z výsledků lze určit, že vstřikovací tlak je nejvýznamnějším parametrem procesu, který nejvíce ovlivňuje kvalitu voskových modelů.

Jelikož dnešní moderní doba klade čím dál větší důraz na preciznost, přesnost a kvalitu, je zapotřebí, aby i společnost SPO Zlín s. r.o., využívající právě tuto technologii, dokázala držet krok s konkurencí.

Kvalitu vyrobených odlitků ovlivňuje celá řada faktorů a výrobní proces, kterým odlitek prochází, se skládá z několika fází. Prvotní fází tohoto výrobního procesu je namíchání voskové směsi a výroba voskového modelu, který se vyrábí vstřikováním do duralových forem. Voskový model, jenž je obrazem finálního odlitku, musí splňovat ty nejpřísnější stanovená kritéria. Proto vosková směs, ze které je voskový model vyroben, hraje nejdůležitější roli v kvalitě budoucího odlitku. Jestliže není vosková směs dokonale namíchána, rozpuštěna nebo vyhřáta, má voskový model plno vad a odchylek od stanovených požadavků. Z tohoto důvodu je zapotřebí voskovou směs nastavit tak, aby se zamezilo vzniku nevyhovujících modelů a tím pádem i časovým a finančním ztrátám v téhle prvotní fázi výroby.

Nastavení nových procesních podmínek vstřikování vosku spočívá v zhodnocení současných parametrů, navržení nových podmínek vstřikování pro novou směs a zdokonalení těchto návrhů tak, aby odlitky vyrobené z nové voskové směsi odpovídaly daným kritériím.

Výsledkem diplomové práce jsou vypracované procesní podmínky vstřikování vosku, které povedou k snížení zmetkovitosti ve firmě a k udržení konkurenceschopnosti slévárny v dnešním podnikatelském světě.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE ZTRACENÉHO VOSKU

Technologie ztraceného vosku neboli také „lost wax“ nebo „investment casting“ lze zařadit do technologií, které jsou schopny vytvořit, ať už hotové nebo produkty velmi blízké hotovým výrobkům [1].

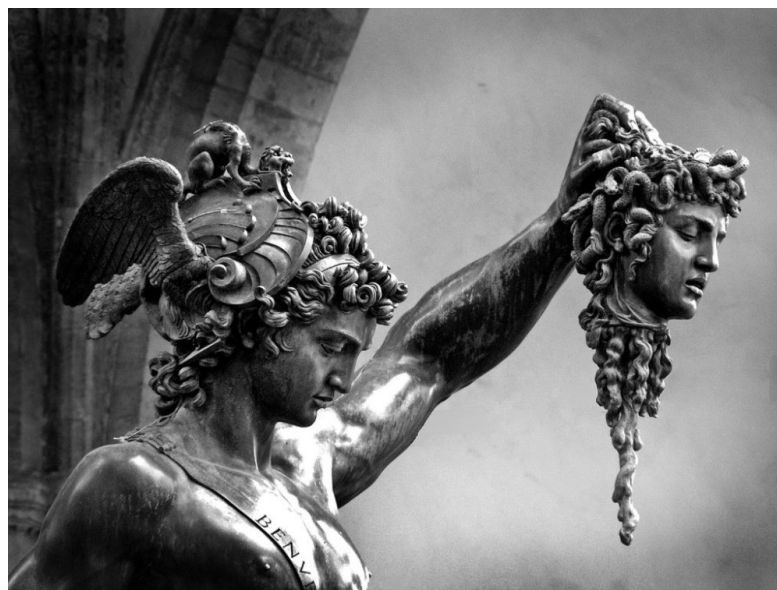
Tato technologie patří mezi progresivní metody, která umožňuje podstatnou úsporu materiálu a snižuje použití dokončovacích výrobních operací na zhotovení finálních odlitků.

Lze také tuto metodu charakterizovat jako metodu, jež dovoluje výrobu složitých součástí s malými rozměrovými tolerancemi a s takovou drsností povrchu, že dokončování ploch obráběním není zapotřebí [1].

1.1 Stručná historie

Historie technologie ztraceného vosku sahá tisíce let. Jeden z prvních materiálů pro výrobu ozdob a klenotů byl použit včelí vosk, který se odléval do jílových forem. První příklady této technologie byly nalezeny po celém světě, v Indii (2500 – 2000 let př. n. l.), egyptské hrobky Tutanchamona (1333 – 1324 př. n. l.), Mezopotámii a v Africe, kde tento proces umožnil vznik detailních uměleckých děl z mědi, bronzu a zlata [2].

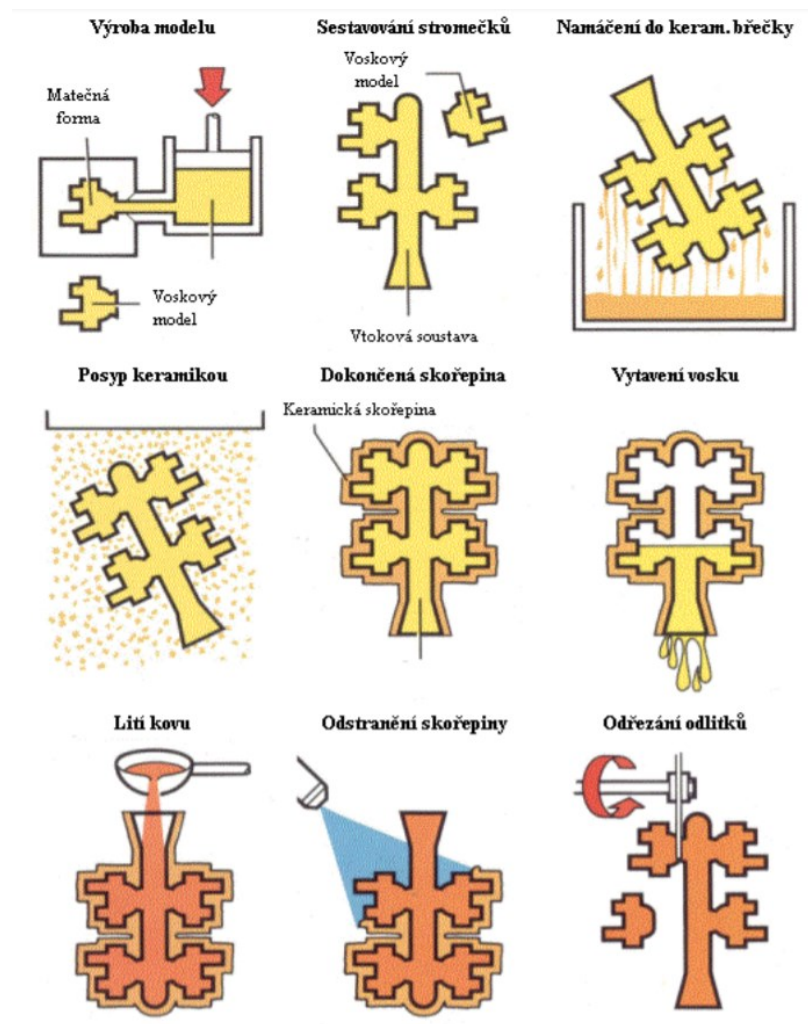
Nejstarší dochovanou dokumentací, která popisuje právě tuhle technologii, napsal okolo roku 1100 našeho letopočtu mnich Theophus Presbyter. Podrobněji tuto technologii popsal sochař a zlatník Benvenuto Cellini (1500 – 1571) a použil ji pro odlétí sochy Perseus a hlava medúzy, která stojí v Loggii v italské Florencii [2].



Obr. 1 Perseus a hlava medúzy [3]

1.2 Proces technologie ztraceného vosku

Výrobní proces je rozdělen do několika fází, viz Obr. 2 a jednotlivé fáze jsou rozepsány v následujících podkapitolách.



Obr. 2 Princip technologie ztraceného vosku [4]

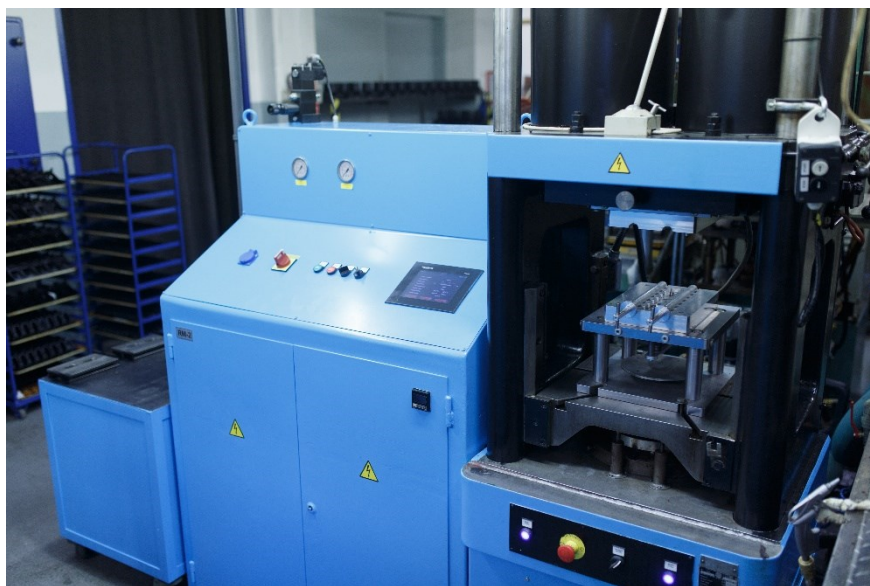
Na Obr. 3 jsou zobrazeny produkty slévárny SPO Zlín spol. s r.o., vyrobené technologií ztraceného vosku.



Obr. 3 Odlitky vyrobené technologií ztraceného vosku [5]

1.2.1 Výroba voskového modelu

Výroba voskového modelu závisí na mnoha důležitých faktorech, mezi které patří kvalita povrchu matečné formy, druh voskové směsi a také dopravení roztaveného vosku do formy. Jakékoliv pochybení v těchto parametrech, se projeví i na voskovém modelu a tudíž i na finálním odlitku [6, 7].



Obr. 4 Vstřikovací stroj pro výrobu voskových modelů [5]

Vosk pro výrobu voskových modelů by měl splňovat následující parametry:

- dostatečnou pevnost, tvrdost a rozměrovou stabilitu,
- vyhovující pružnost pro manipulaci,
- minimální smrštění během tuhnutí ve formě,
- vhodnou viskozitu,
- nesmí se lepit na stěny formy,
- brzké zatuhnutí po vstříknutí [6, 7].

Mezi nejobtížnější zásady patří dodržení přesného geometrického tvaru, protože vosk při tuhnutí mění svůj rozměr. Tento jev se nepříznivě projevuje u modelů s rozdílnými tloušťkami stěn a u velmi hmotných modelů. Předejít těmhle komplikacím jde použitím voskových jader do formy před vstřikováním nebo zvýšením vstřikovacího tlaku [6, 7].

Samotnou výrobu voskových modelů lze provádět vstřikováním nebo litím do forem. Druhý z uvedených případů se používá už jen ojediněle a to jen pro kusovou výrobu nebo pro výrobu pomocných modelů, kde patří například výroba distančních kroužků, vtokových kanálů apod. [6, 7].

Vstřikovací stroje na výrobu voskových modelů, které vstříkují roztavený vosk do dutiny formy, lze rozdělit na stroje s nízkým (0,5 až 1 MPa) a vysokým vstřikovacím tlakem (2,5 až 5 MPa). Avšak neliší se pouze tlakem, ale také podle stavu vosku, který vstříkují. Stroje s nízkým vstřikovacím tlakem obvykle vstříkují vosk v tekutém stavu, který se vykazuje hladším povrchem, na druhou stranu nejsou tak přesné. Vstřikování s vysokým tlakem využívá vosk v těstovitém stavu, který má méně kvalitní povrch, ale oproti vosku tekutém je rozměrově přesnější [6, 7].

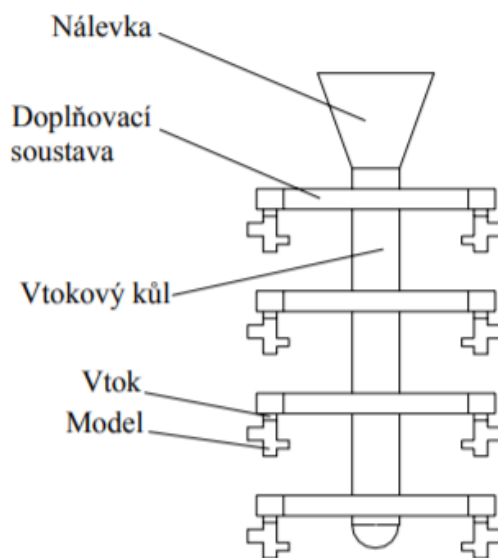
Obecně vstřikování pod tlakem je mnohem složitější a to zejména u modelů s větší tloušťkou stěn. Při samotném vstřikování pak musí být sladěno a dodrženo několik činitelů jako je teplota vosku, vstřikovací tlak, vstřikovací doba, teplota formy [6, 7].

Tab. 1 Závady při vstřikování a jejich odstranění [6]

Závada					Odstranění závady
Forma se neplní	Smršťování, staženiny, propadliny	Povrchové vady	Vzduchové bubliny	Deformace	
+		+	+		Zvýšit teplotu vosku
	+			+	Snížit teplotu vosku
+	+	+			Zvýšit tlak
+	+	+			Vytemperovat formu
		+			Méně mazat formu
	+		+	+	Prodloužit dobu tuhnutí
+	+	+	+	+	Zvýšit vtok ve formě
			+	+	Zvýšit chlazení formy

1.2.2 Sestavování modelů

Vyrobené modely je zapotřebí připojit na vtokovou, popřípadě náliťkovou soustavu. Modely větší váhy se vyrábí jednotlivě (lopatky spalovacích turbín), kdežto modely drobných součástí vyráběných ve skupinách se sestavují do tzv. stromečků.



Obr. 5 Jednotlivé části stromečku [6]

Model na vtokovou soustavu lze připojit dvěma způsoby:

- pájením,
- lepením.

U pájení dochází k připojení modelu na vtokovou soustavu pomocí pájedla, které se vloží na určené místo vtokového systému, kde bude model připojen. Pájedlo nataví dosedací plochu a dojde k přitisknutí modelu s vtokovým systémem [6, 7].

Lepení patří k jednoduššímu způsobu sestavení stromečku. Využívá se pistole, která nanáší roztavené lepidlo na dosedací plochy.

Zásady pro navrhování tvarů stromečků:

- dobrý přístup k připojení modelů, tak aby nedocházelo k poškození již přilepených modelů,
- model stromečku by měl být přilepen dutinou dolů,
- stromeček musí umožňovat dobré stékání obalové hmoty,
- dostatečná vzdálenost mezi modely i po nanesení posledního obalu,
- výborné vytékání vosku ze stromečku při vytavování modelu [6, 7].



Obr. 6 Voskové modely sestaveny do stromečku

2 VOSKOVÉ SMĚSI

Vosky, které se používají při vstřikování v odlévacím průmyslu, jsou komplexní směsi přírodních vosků, pryskyřic a plniva. Složení vosku při zpracování závisí na jeho chování, neboť jeho vlastnosti se vyvíjejí s teplotou. Proto při měření a charakterizování vosku, by měly být všechny parametry zkoumány při několika různých teplotních oblastech, tak aby bylo možné určit teplotní závislost těchto parametrů [2].

Aby bylo dosaženo správného plnění formy během procesu vstřikování vosku, musí být zvažena řada fyzikálních jevů, jako jsou:

- viskozita vosku (přenos hmoty),
- povrchové napětí (přenos hmoty),
- stlačitelnost vosku (přenos hmoty),
- tepelná kapacita vosku (přenos tepla),
- vosková pevná frakce (přenos hmoty/ změna fáze),
- tepelná vodivost vosku (přenos tepla),
- součinitel přenosu tepla mezi voskem a zápustkou (přenos tepla),
- tepelná vodivost matrice (přenos tepla) [2].



Obr. 7 Ukázky vosků [9]

2.1 Základní složky

Vosky jsou komplexní směsi a jejich volba má zásadní vliv na konečný stav voskového modelu. Pokud je nesprávně zvolený vosk, bude nesprávný i model a tudíž i celý proces lití.

Vosky pro výrobu voskových modelů se používají v rozmezí teplot mezi tuhou a tekutou fází, pokud možno s minimálním tepelným smrštěním. Smrštivost lze dále určit vstříkovací teplotou, tlakem, ale i mikrostrukturou modelové hmoty [2].

Formulace voskových směsí:

2.1.1 Parafinový vosk

Parafín je použit pro výrobu měkkých vosků, je křehký s relativně nízkou pevností. Má vysoký obsah popela a teplota tavení je okolo 64 °C [8].

2.1.2 Pryskyřice

Pryskyřice se do voskové směsi přidávají pro ztekutění a také chrání směs před degradací oxidací. Jsou tvořeny složitými, ať už přímými, rozvětvenými či kruhovými řetězci [8].

Existují 3 druhy pryskyřic:

- uhlovodíkové (bod tuhnutí v rozmezí teplot 18 – 176 °C),
- syntetické (bod tuhnutí v rozmezí teplot 25 – 190 °C),
- přírodní (bod tuhnutí v rozmezí teplot 80 – 180 °C) [8].

2.1.3 Mikrokrystalický vosk

Struktura mikrokrystalického vosku je tvořena mikrokrystalami s delšími uhlovodíkovými řetězci než parafín. Vykazuje se vyšší pevností a ohebností a teplota tuhnutí se pohybuje v rozmezí teplot 60 – 93 °C [8].

2.1.4 Polymery

Polymery tvoří interní složku voskových směsí. Zvyšují viskozitu a houževnatost a bod tavení se pohybuje v rozmezí teplot 50 – 200 °C [8].

2.1.5 Plniva

Plniva mají za úkol snížit smrštění voskové směsi při zpracování a zabránit praskání skořepin při vytavování. Použitá plniva ve voskové směsi jsou interní a zvyšují viskozitu. Mezi často používaná plniva patří: bisfenol A (BPA), zesítený polystyren (XLPS), voda a kyselá plniva (kyselina tereftalová a isoftalová) [8].

2.2 Rozdělení voskových směsí dle použití

Slévárenské vosky lze rozdělit dle spousty hledisek, ale nejčastěji jde o jeho použití ve výrobě. Podle tohoto hlediska se vosky dělí do následujících kategorií:

2.2.1 Vosky na modely

Zde patří vosky s nejvyšší kvalitou, protože výroba voskového modelu má zásadní vliv na finální výrobek [10].

- **Neplněné (rovné/ přímé) vosky**

Ve slévárnách patří mezi nejdéle používané a to z důvodu vstřikování s velkým rozsahem teplot, pro snadnou regeneraci a rekonstituci. Tyhle vosky se vykazují nízkým obsahem popela s velmi vysokou kvalitou povrchu. Nevýhodou použití neplněných vosků je náchylnost na tepelné smrštění a při vstřikování může docházet k tvorbě propadlin a ředin [11, 14].

- **Emulgované vosky**

Svémi vlastnosti se téměř shoduje s vosky neplněnými s tím rozdílem, že vosky emulgované obsahují 7 – 12 % plniv. Jako plnivo může být voda nebo vzduch a má za příčinu snižování smrštění během plnění, čímž zlepšuje rozměrovou přesnost. Modely vyrobené z těchto vosků se dobře vyjímají z formy a jako vosky neplněné obsahují málo popela [12].

- **Plněné vosky**

V současnosti se jedná o nejpoužívanější vosky pro výrobu voskových modelů, které řadíme mezi vosky tvrdé s možností použití u všech typů vstřikolisů. Jako plnivo je zpravidla 20 – 40 % prášková organická látka, která je nerozpustná ve vosku. Přídáním plniv se ovlivňují všechny kvalitativní vlastnosti jako je smrštění důsledkem tepla, zvýšení pevnosti a také určité zlepšení jakosti povrchu. Mezi nevýhody lze zařadit přípravu plněných vosků, neboť vosk v tekutém stavu je potřeba neustále míchat, jinak dochází k usazování plniv na dně zásobníku [13, 14].

2.2.2 Vosky na vtokové ústrojí

Svým složením a stavbou jsou blízké voskům neplněným. Ovšem na vtokovou soustavu nejsou kladeny takové kvalitativní požadavky jako na předchozí vosky, za to je zde požadavek pevnostní, neboť vtoková soustava nese celou váhu odlitku [10].

2.2.3 Vosk rozpustný ve vodě

Využití tohoto typu vosku je při tvorbě složitých dutin v odlitku. Tyhle vosky se vyrábí stejnými technologiemi jako ostatní voskové modely, akorát po vystříknutí se znovu založí do formy k dalšímu obstríknutí už klasickým voskem. Jakmile dojde k obstríknutí a zatuhnutí, vloží se jak voskový model, tak i rozpustný model do vody, kde dojde k jeho rozpuštění [10].

2.2.4 Speciální vosky

Svémi vlastnostmi se podobají neplněným voskovým směsím. Lze je rozdělit na vosky namáčecí, vosky na opravy a vosky na lepení [10].

2.2.5 Vosky regenerované a rekonstituované

Pomocí regenerace a rekonstituce lze obnovit většinu užitých vlastností vosku, které vosk ztratil při vytavování, tím pádem nevzniká tolik odpadních produktů. Dochází také k ušetření financí slévárny, ale především ochraně životního prostředí.

- **Regenerace**

Regenerací získáváme vosk pro výrobu vtokového systému, který byl dříve použit jako vosk modelový. V regenerovaném vosku se může objevit určité množství plniv, které zlepšují jeho vlastnosti [15].

- **Rekonstituce**

Rekonstitucí se získávají původní vlastnosti modelového vosku a to důkladnou filtrací a čištěním. Po rekonstituci by neměl být poznán rozdíl mezi nepoužitým a rekonstituovaným voskem [16].

3 ZKOUŠENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ VOSKOVÝCH SMĚSÍ

Výsledky ze zkoušení vlastností voskových směsí jsou pro slévárnu extrémně důležité. Volba správné směsi pak závisí na mnoha aspektech, jako je obsah popela, tvrdost, elasticitu, apod., tak aby se zabránilo nežádoucím jevům následujícího zpracování voskového vzoru [8].

Dle doporučení Britské obchodní asociace (BICTA) se provádí testování těchto parametrů:

- bod skápnutí,
- bod tuhnutí,
- obsah plniv,
- obsah popela,
- viskozita,
- penetrace.

3.1 Bod skápnutí

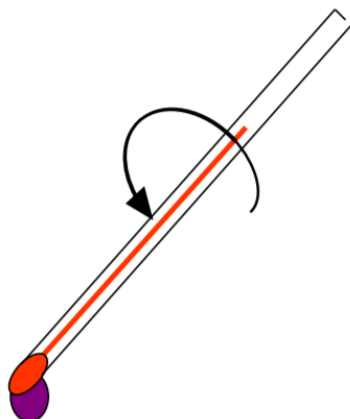
Bod skápnutí je teplota, při které vosk taje (změna pevného skupenství v kapalném). Tahle zkouška se provádí nejčastěji kvůli vytavování vosku ze skořepiny. Vosky, které mají nižší teplotu skápnutí, se taví jako první, záleží však na složení směsi a především na obsahu popela, které může tuto teplotu negativně ovlivnit [8].

Pro určení bodu skápnutí se využívá metoda podle Ubbelohde. Zkoušený vosk se v prvním kroku nataví a nalije do misky. Natavený vosk se nechá zchladnout na teplotu okolí a následně se miska s voskem vloží do komory přístroje, ve které pozvolna narůstá teplota. Tím se vosk znovu nataví a po dosažení teploty skápnutí, začne vosk prokapávat malým otvorem v misce. Natavený vosk skapává na sběrací pouzdro, kterým prochází paprsek světla. Dochází k přerušení paprsku a teplota, při které dochází ke skápnutí je zaznamenávána na přístroji [8].

3.2 Bod tuhnutí

Bod tuhnutí je definován jako teplota, při které vosk přestane samovolně proudit působením gravitace. Důležitost tohoto bodu je v první řadě kvůli vstřikování vosku do matečné formy. Z tohoto hlediska je doporučováno nastavit teplotu vstřikování o 4 °C vyšší než je samotná hodnota bodu tuhnutí [10].

Zkouška spočívá v nabrání kapky roztaveného vosku na špičku speciálního vytemperovaného teploměru. Takhle nachystaný vzorek je vložen do vytemperované zkumavky ve vodorovné poloze. Následuje otáčení teploměru, tak aby kapka začala pozvolna po teploměru vlivem gravitace klouzat. Jakmile kapka zatuhne, je z teploměru odečtena teplota tuhnutí. Temperace zkumavky má za úkol zabránit rychlému poklesu teploty a zpřesnění samotné zkoušky [10].



Obr. 8 Podstata zkoušky tuhnutí [8]

3.3 Obsah plniv

Obsah plniv má rozhodující vliv na vlastnosti voskové směsi. S rostoucím obsahem plniv, stejně jako u polymerů, všeobecně narůstá i tuhost, viskozita, tvrdost, rozměrová stálost a lehce klesá kvalita povrchu. Obsah plniv vzato neovlivňují jak bod skápnutí, tak ani bod tuhnutí [10].

Pro zjištění obsahu pevného plniva ve voskové směsi je potřeba použít gravimetrickou metodu, která spočívá v rozpuštění voskové směsi v rozpouštědle, plnivo odfiltrovat a zvážit. Z vážení je zjištěno procentuální zastoupení pevného plniva ve směsi.

Plnivo jako je voda, která snižuje tvrdost, pevnost, je testována z rozdílu váhy voskové směsi s vodou a váhy voskové směsi bez vody [10].

3.4 Obsah popela

Obsah popela představuje procento nehořlavých pevných látek obsažených ve směsi. Zejména u vosků s nízkým a nepříznivým obsahem popela je dán limit, který stanovuje používání a údržbu právě tohoto typu vosku. Limit doporučený Britskou obchodní společností

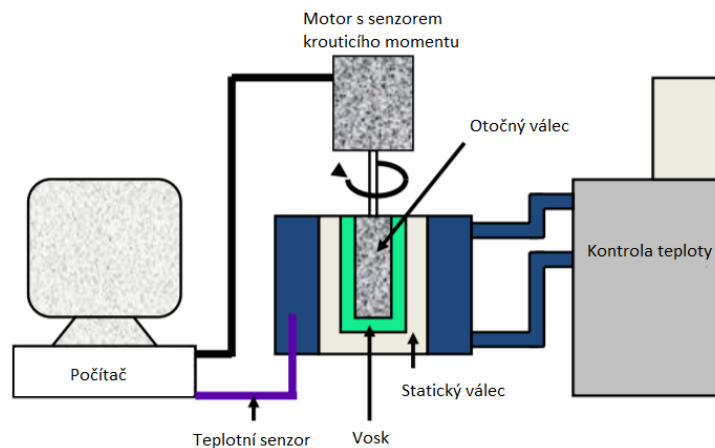
(BICTA) je nejvýše 0,05 %. Obsahy popela u různých typů vosků jsou zmíněny v kapitole 2.2.1 [10].

Pokud je vysoké procento obsahu popela ve voskové směsi, může docházet k přilnutí vosku na stěnu skořepiny. Čistý obsah popela se pak stanovuje gravimetrickou metodou a to výpočtem z váhy voskového modelu před a po spálení v peci [10].

3.5 Viskozita

Viskózní (tokové) vlastnosti mohou být charakterizovány viskozitou, která je mírou vnitřního odporu při toku. Viskozita se zjišťuje při teplotě v blízkosti bodu tuhnutí. Při výrobě tenkostěnných výrobků je vhodnější použít méně viskózní směs, která umožňuje lepší zatečení do úzkých částí formy. Naopak pro modely s většími průřezy je lepší použít více viskózní směs, z důvodu nevířivého pohybu taveniny při vstřikování. U některých typů směsí může docházet k nezátékavosti vosku, proto pro výrobu kvalitních voskových modelů je zapotřebí viskozitu zkoumat [10].

Měření viskozity u většiny případů probíhá na rotačních viskozimetrech, které měří dynamickou viskozitu v závislosti na teplotě. Voskové směsi jsou vystaveny smykovému napětí, které ovlivňuje její vlastnosti. Viskozimetry se skládají ze dvou ploch (jedna statická, druhá osciluje), většinou kužel-deska nebo válec-válec, mezi které je nalit roztavený vosk o dané teplotě [10].



Obr. 9 Schéma rotačního viskozimetru [8]

3.6 Penetrace

Penetrace je definována jako vzdálenost v desetinách milimetru, kterou pronikne standartní jehla svisle do voskového modelu při pevném stavu zatížení, dané teplotě a času zatížení. Průnik pak dává hodnotu o tvrdosti vosku. Pokud je hodnota penetrace malá, tím je vosk tvrdší a naopak. Tvrdší vosky vykazují lepší rozměrovou stálost a lepší tuhost [10].

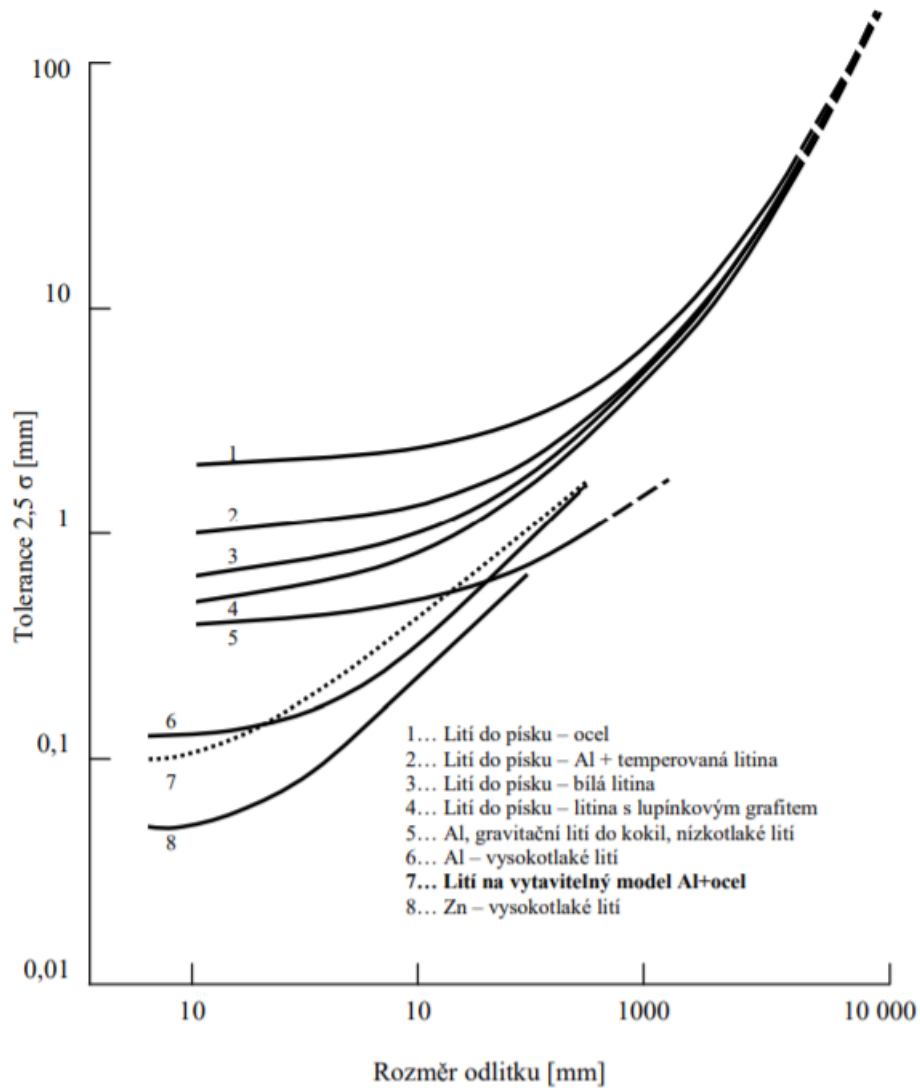
Měření penetrace probíhá na penetrometrech, které jsou opatřeny jehlou, stupnicí a závažím. Zkouška začíná vložením voskového modelu o dané teplotě na stůl penetrometru. Jehla se přiblíží k povrchu voskového modelu a obsluha na definovanou dobu spustí mechanismus, který uvolní závaží a začne vtlačovat špičku jehly do modelu a zároveň ručička na stupnici odečítá hodnotu penetrace [10].



Obr. 10 Penetrometr [8]

4 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ROZMĚR VOSKOVÝCH MODELŮ

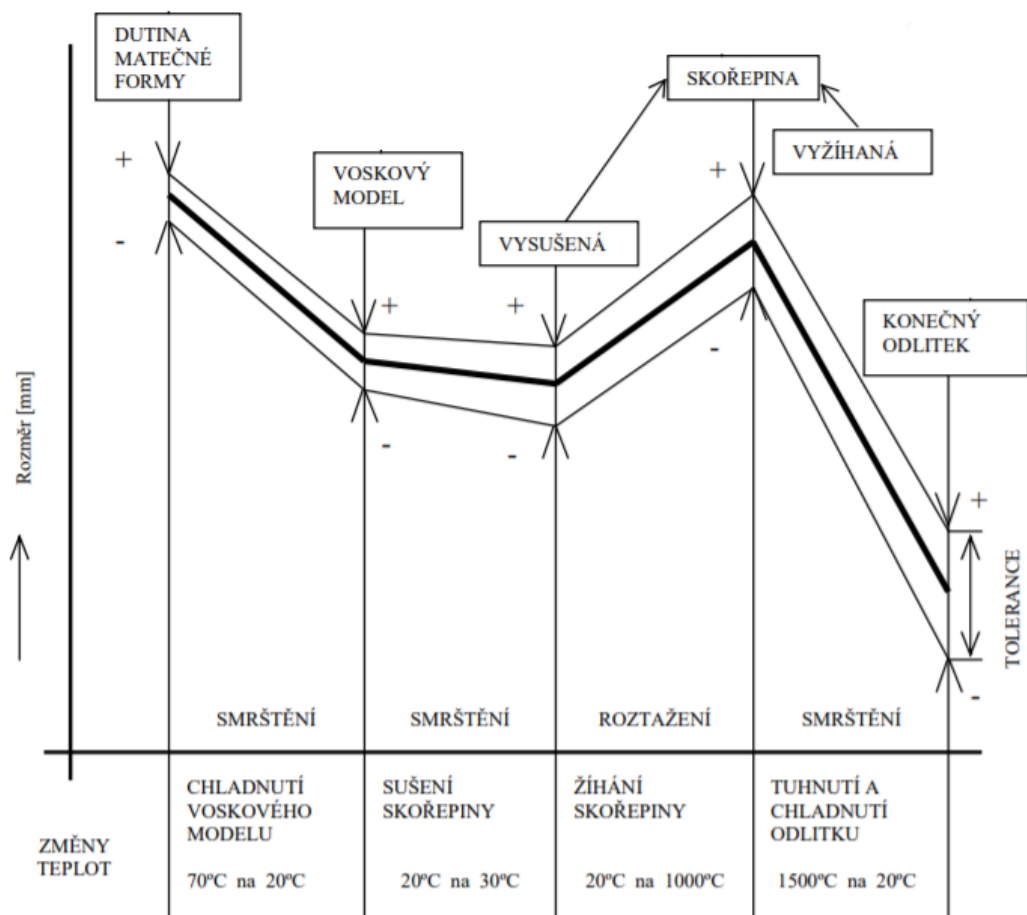
Žádná z doposud existujících technologií nepracuje absolutně bez chyb a z tohoto důvodu se v praxi používá toleranční pole. Toleranční pole se určuje dle funkčnosti součásti a podle toho se také určuje vhodná technologie pro její výrobu. Všeobecné tolerance u vybraných metod odlévání jsou zobrazeny na Obr. 11 [17].



Obr. 11 Tolerance u vybraných metod odévání [17].

Pro perfektní chod slévárny je nutno zajistit nejen zvládnutí každé operace výroby zvlášť, ale především nahlížet na ně jako na celek a využití těchto poznatků při návrhu technologického postupu výroby. Rozměr výrobku se mění téměř v každé části jeho výroby. Změny během celého procesu výroby jsou pak znázorněny na Obr. 12 [18].

Výroba voskového modelu, zhotovení skořepiny a chladnutí odlité slitiny patří mezi nejdůležitější faktory, které ovlivňují právě finální rozměr odlitku. Proto je důležité, již při navrhování odlitku, přesně stanovit rozměry formy a výroba samotné formy musí být o určité procento vyšší. Tím dojde k předejití všem rozměrovým změnám a na konci výroby zůstane odlitek v předepsaných rozměrech [18].



Obr. 12 Rozměrové změny během výroby odlitku [18]

4.1 Přesnost voskových modelů

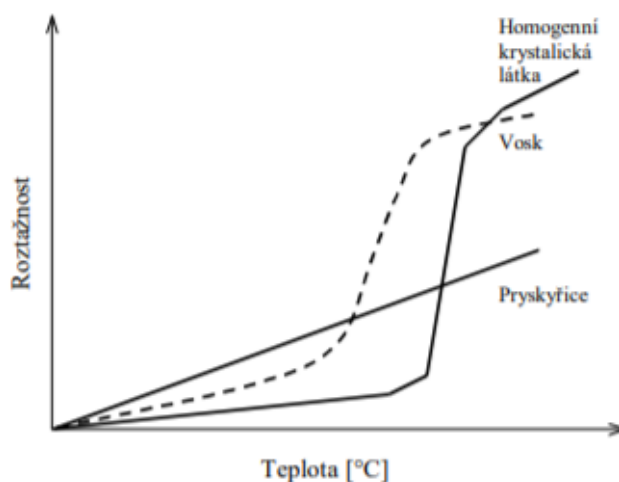
Jak již bylo zmíněno, rozměrová přesnost voskových modelů, tedy schopnost udržet výrobu voskových modelů v rozměrových tolerancích, je základním faktorem pro výrobu finálních odlitků s přesnými rozměry [17].

Na dosažení přesných rozměrů voskových modelů má vliv:

- typ použitého vosku,
- geometrie součásti,
- technologie výroby voskového modelu.

4.1.1 Typ použitého vosku

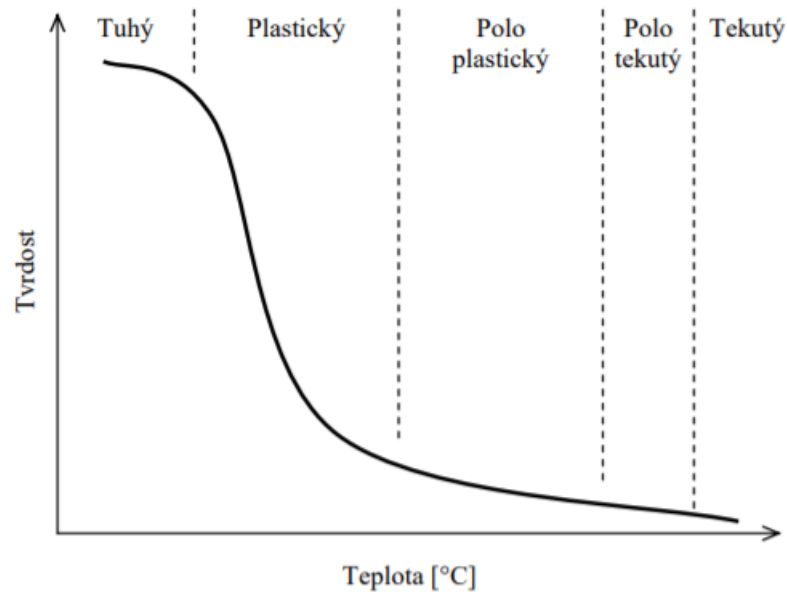
Složení a struktura voskových směsí mají vliv při ohřevu na její roztažnost a při chladnutí na její smrštění. Průběhy roztažnosti a smrštitivosti vosků při jejich tavení nejsou lineární, nýbrž se mění v závislosti na teplotě podle jejich struktury. Průběhy roztažnosti pro vybrané materiály jsou zobrazeny na Obr. 13 [18].



Obr. 13 Ovlivnění typu vosku na rozměr [18]

K výrobě vytavitelných modelů se tedy používají voskové směsi, které jsou tvořeny celou řadou vosků s proměnlivými délkami uhlíkových řetězců, a proto se směs netaví při jedné teplotě, nýbrž v určitém teplotním rozsahu, během kterého směs přechází postupně z plastického, polo-plastického, polo-kapalného až do kapalného stavu [18].

Z Obr. 14 lze vyčíst pozvolný přechod mezi tuhou a kapalnou fází. Právě tenhle přechod, zvaný také jako přechodová oblast, je důležitý, a to proto, že většina voskových směsí se používá v těchto konzistencích. Tahle oblast nám mění základní vlastnosti směsi jako je viskozita, tepelná kapacita, apod. [18].



Obr. 14 Závislost tvrdosti vosku na teplotě [18]

4.1.2 Geometrie součástí

Hodnota lineárního smrštění vosku uvedená v procentech se má brát jako orientační a bývá uvedena na jednoduchých tělesech, kde se měří pouze v jedné ose. Skutečné smrštění, tedy v každé ose, pak závisí na tvaru a velikosti součásti. Lze říci, že se odlitek v prostoru stahuje v každé ose jinak, což je způsobeno rozdílnými tloušťkami stěn, velikostí a rozložením teplotního pole [10].

4.1.3 Technologie výroby voskového modelu

V absolutní většině se dnes výroba voskových modelů provádí na vstříkolisech, které se od sebe liší jednak v přivedení vosku do dutiny formy, ale hlavně v parametrech vstříkování.

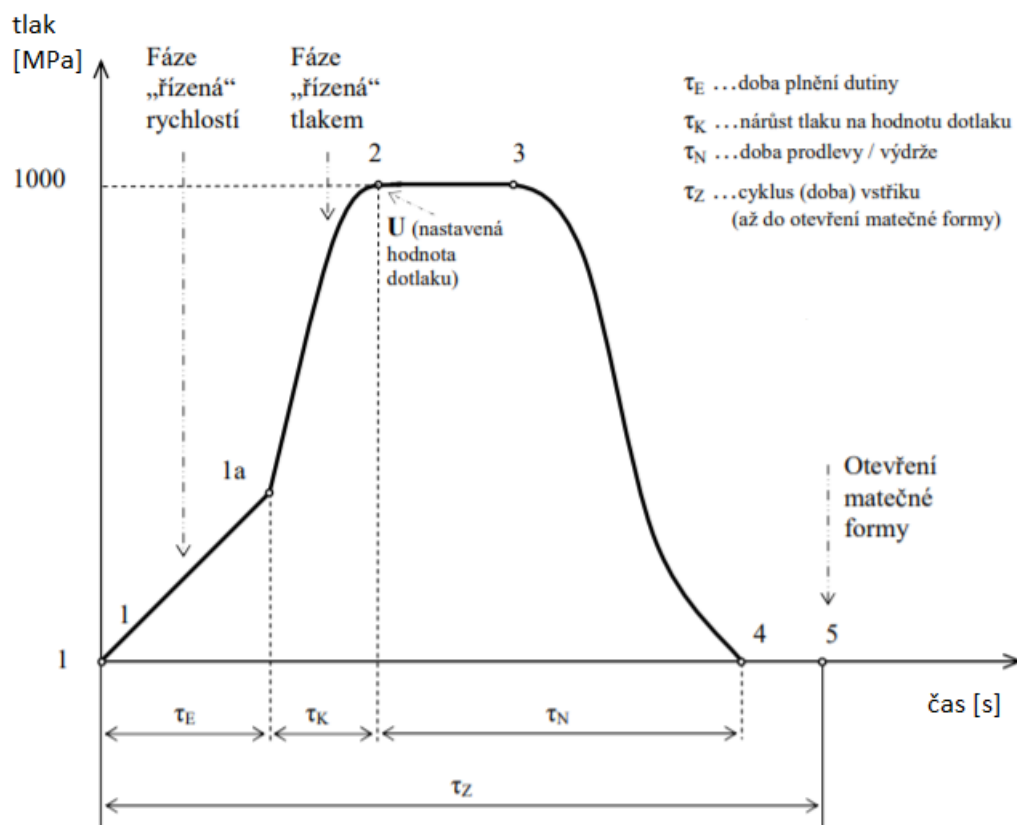
Mezi základní parametry se řadí:

- teplota vosku,
- teplota formy,
- vstříkovací tlak,
- vstříkovací rychlost,
- velikost a čas dotlaku,
- čas prodlevy [10].

Teploty, jak vosku, tak formy, jsou nejdůležitějšími parametry vstřikování. Čím větší budou tyto teploty, tím bude voskový model déle chladnout a taky se smršťovat. V opačném případě, při nízkých teplotách vosku a formy vzniká nedokonalý povrch a může dojít k nedotečení vosku do rohů formy. Při naleznutí ideálních teplot, by měla mít vosková směs pasovitý charakter a měla by dovolit zaplnění celé formy [18].

Vstřikovací tlak lze odhadnout dle velikosti modelu. Čím větší je voskový model, tím by měl být vstřikovací tlak větší, aby došlo k úplnému vyplnění dutiny formy. Tlak však nesmí být moc velký, protože hrozí otevření formy a zatečení vosku do dělicí roviny [18].

Dotlak se do vstřikovacího cyklu dává z hlediska smršťování, kdy se vstřikovací tlak mění (zvyšuje) na hodnotu dotlaku a na této hodnotě setrvává určitou dobu, tak aby došlo k zaplnění formy ve všech koutech [18].



Obr. 15 Průběh tlaku v dutině formy [18]

5 PŘEHLED VAD ODLITKŮ, JEJICH PŘÍČINA A ODSTRANĚNÍ

Aby se citelně snížil výskyt zmetků a zvýšila kvalita přesných odlitků, je zapotřebí provádět důslednou kontrolu ve všech krocích výroby, počínaje vstupní kontrolou suroviny, tedy materiálu a výrobu voskových modelů a surovin na výrobu formy.

Vzniklé vady se poté rozdělují na zjevné a skryté. Jak říká samotný název, zjevné vady lze zjistit vizuálně pouhým okem nebo pomocí jednoduchých prostředků jako je lupa. Skryté vady už pouhým okem nelze zjistit, a takové vady lze zjistit až po obrobení nebo vhodnými přístroji či laboratorními zkouškami [18].

Tyhle vady pak vznikají zejména v těchto fázích výroby:

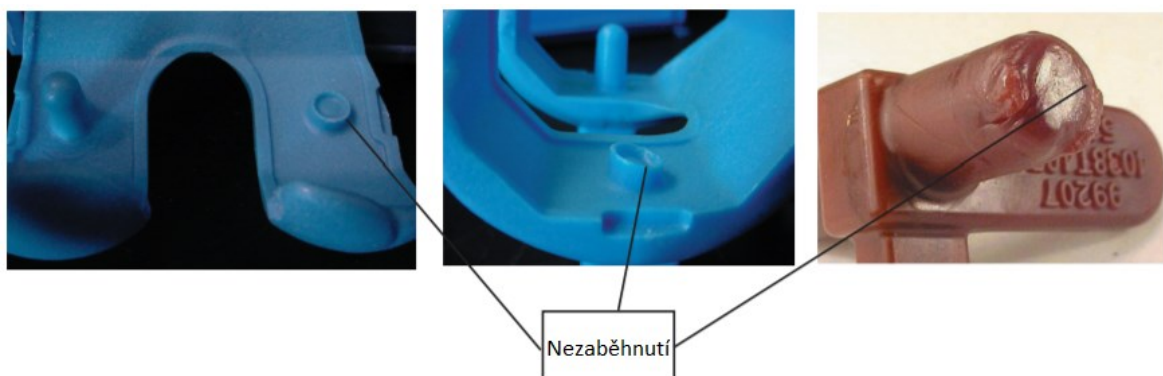
- při výrobě voskového modelu,
- při sestavování voskových modelů do stromečku,
- při výrobě skořepiny,
- při odlévání kovů do skořepiny [19].

5.1 Vady tvarového, rozměrového a váhového charakteru

5.1.1 Nezaběhnutí

Nezaběhnutí vzniká nedostatečným vyplněním dutiny formy. Příčinou může být málo prodyšná forma, nízká teplota kovu při odlévání, nevhodný vtokový systém nebo dodržení správného poměru tloušťky stěny k velikosti plochy.

Odstranit tuhle vadu lze zvýšením licí teploty kovu a teploty formy, prodloužením doby vypalování skořepiny, použitím materiálu s lepší slévatelností nebo úpravou vtokového systému [19].



Obr. 16 Vada typu nezaběhnutí [19]

5.1.2 Vyboulení

Vyboulení je místo s nežádoucí deformací na povrchu odlitku, které zvětšuje dané místo. Může vzniknout tím, že voskový model nebyl zbaven mastného dělicího prostředku nebo nevysušením prvního obalu skořepiny [19].

Vadu lze odstranit odmaštěním voskového modelu nebo prodloužením doby sušení u prvního obalu [19].

5.1.3 Přesazení

Vzniká nepřesným umístěním otvorů dutin formy vůči sobě. To má za následek nestejnou tloušťku stěn odlitků a deformací tvarů jeho obrysů.

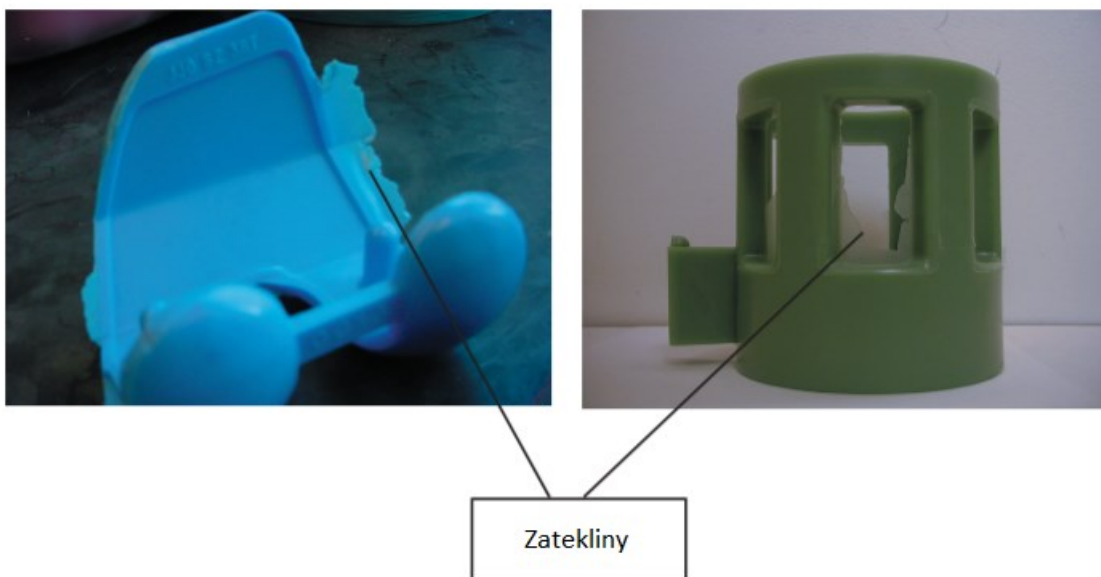
Jelikož se u přesného lití využívají keramické formy nedělené, tak tyto vady vznikají jen u vadných vytavitelných modelů.

Příčinou může být nesprávné zajištění sousostí dutin formy nebo poškození vodících kolíků [19].

5.1.4 Zatekliny

Zatekliny jsou nepřesnosti (žebra, výronky, výčnělky) různého tvaru a velikosti v dělicí rovině formy nebo poblíž jader, které nejsou předepsané výkresem.

Tyhle vady mohou vzniknout poškozením dělicí roviny formy, nedokonalým uzavřením formy při vstřikování nebo neodstraněním přetoků z vytavitelného modelu [19].

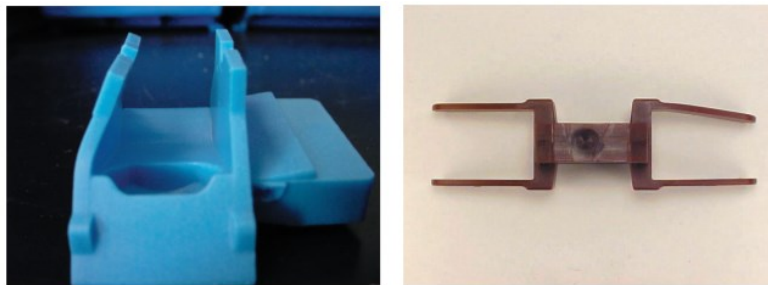


Obr. 17 Vada typu zatekliny [19]

5.1.5 Zborcení

Zborcením se rozumí jakákoliv změna, ať už celková nebo částečná, rozměru a tvaru modelů při nanášení keramického obalu nebo vlastního keramického obalu po vytavení modelu vlivem pnutí. Je to tedy porušení geometrického tvaru odlitku [19].

Příčinou může být špatná manipulace při vyjmutí modelu z formy, zborcením odlitku při chlazení, nevhodná lící teplota nebo neopatrné oddělování odlitků od vtokové soustavy.



Obr. 18 Vada typu zborcení [19]

5.1.6 Mechanické poškození

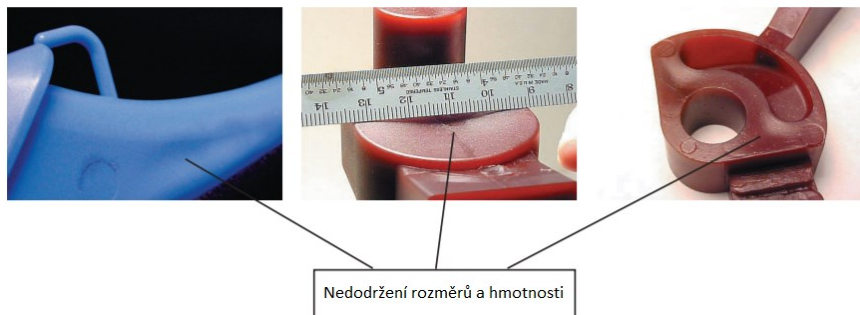
Mechanickým poškozením se rozumí porucha celistvosti a dochází k němu nevhodným zacházením s odlitkem při oddělování od vtokové soustavy. Tyhle vady se pak projevují vnějším vzhledem v podobě prasklin, uražených částí či poškozených hran.

Příčinou mohou být ostré hrany, rohy nebo výčnělky na odlitcích z tvrdých materiálů, poškození při oddělování, čištění či dopravě [19].

5.1.7 Nedodržení rozměrů a hmotnosti

Obě vady vznikají nedodržením povolených úchylek, kde u rozměrové vady jde o odchylku rozměrovou, kdežto u hmotnosti jde o nedodržení úchylek od směrné kusové hmotnosti.

Příčinou mohou být nesprávné rozměry voskového modelu nebo příliš měkká forma [19].



Obr. 19 Vada typu nedodržení rozměrů a hmotnosti [19]

5.2 Vady povrchového charakteru

5.2.1 Připečeniny

Připečeniny nebo také zapečeniny se projevují jako hrubý, drsný povrch odlitku, který vznikl spečením formovací hmoty s kovem. Výsledek téhle vady je zhoršení vzhledu odlitku a jeho čištění.

Připečeniny mohou vznikat nevhodnou konstrukcí odlitku, nesprávnými technologickými vlastnostmi skořepinových obalů, nesprávným přívodem taveniny vosku do formy nebo nevhodným chemickým složením oceli s příliš vysokou smáčivostí [19].

5.2.2 Zavaleniny

Rýhy nebo prohlubně, které mají zaoblený okraj a vyskytují se na povrchu nebo procházejí celou stěnou odlitku. Vznikají nespojením předčasně zatuhlých proudů kovu.

Za vznik zavalenin může být považováno nedostatečné odvzdušnění, příliš tenké a rozlehlé stěny odlitku, malý tlak, nevhodný přívod taveniny, neohřátá licí pánev nebo pomalá licí rychlost [19].

5.2.3 Zálupy

Zálupy jsou mělké, úzké rýhy nebo prohlubeniny na povrchu, které jsou zakryté vrstvou kovu spojenou s odlitkem. Vznikají především odloupením nebo odchlípnutím části skořepiny, do které zateče tekutý kov.

Příčinou vzniku zálup může být vysoká licí teplota a pomalé nebo přerušované lití, špatná obalová směs nebo příliš velké vodorovné plochy [19].

5.2.4 Strupy (nárůstky)

Strupy jsou nerovnoměrné výstupky různého tvaru a rozměru, které jsou vytvořené z obalovací hmoty a kovu. Nepříznivě ovlivňují tloušťku stěn a zhoršují vzhled odlitku.

Příčinou může být nesprávné zvolení formovací hmoty, vlhká a špatně vysušená skořepina nebo poškozená forma [19].

5.2.5 Výronky

Vystouplé výrostky na povrchu odlitku žebrovitého nebo žilkovitého charakteru vzniklé tím, že roztavený kov zatekl do trhlin skořepinové formy.

Vznikají nedokonalým vysušením skořepiny nebo nesprávným postupem při vytavování voskového modelu [19].

5.2.6 Kuličky

Kuličky jsou nárůstky kulovitého charakteru, které se vyskytují na hranách povrchu odlitků.

Vznikají uzavřením vzduchu při obalování voskových modelů [19].

5.2.7 Omačkání, otlučení, pohmoždění

Jedná se o mechanické poškození odlitků nebo deformace tlakem při vysokých, ale i normálních teplotách. Projevují se prohlubněmi různého tvaru a velikostí na povrchu odlitku.

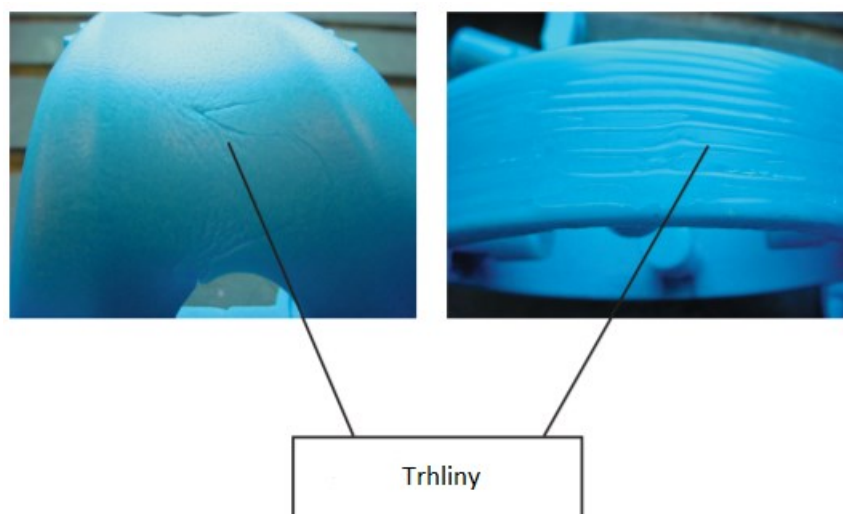
Příčinou může být neopatrné čištění při odstraňování keramiky, nesprávná manipulace s odlitky při nakládání a skladování nebo poškození voskových modelů [19].

5.3 Vady typu přerušení souvislosti

5.3.1 Trhliny

Trhliny jsou charakterizovány jako roztržení, jdoucí celou stěnou nebo jen povrchem ve stěně odlitku, které vznikají jen při vyšších teplotách. Vznikají z důsledku špatného smršťování tuhnoucího kovu [19].

Příčinou vzniku trhlin je nevhodný tvar odlitku (velké rozdíly v tloušťkách stěn a přechody mezi nimi), příliš vysoká pevnost skořepiny, nevhodná lící teplota kovu nebo nesprávná teplota formy [19].

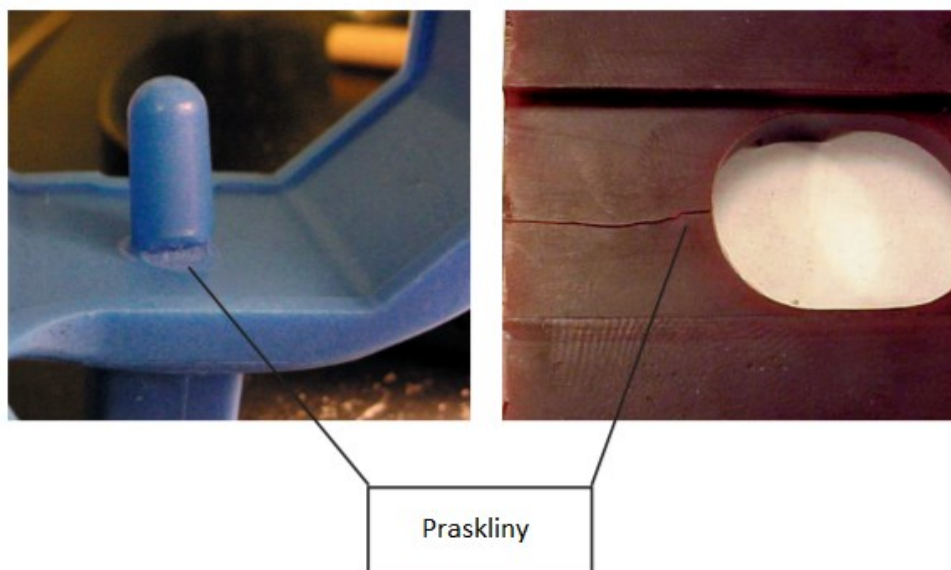


Obr. 20 Vada typu trhliny [19]

5.3.2 Praskliny

Jedná se o vnitřní nebo povrchová prasknutí stěn odlitku, která vznikají za studena. Povrch vytvořené praskliny bývá zpravidla čistě zrnitý, občas barevně naběhlý, podle toho, při jaké teplotě prasklina vznikla [19].

Vznikají špatnou konstrukcí odlitku (velké rozdíly v tloušťce stěn), nerovnoměrnou tloušťkou skořepinové formy, nerovnoměrným chladnutím odlitku nebo vysokým smrštěním ličího kovu [19].



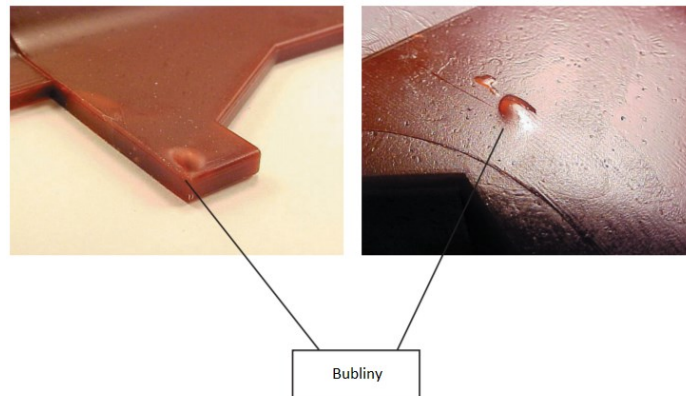
Obr. 21 Vada typu praskliny [19]

5.4 Vady dutinového charakteru

5.4.1 Bubliny

Bubliny otevřené (povrchové) nebo uzavřené (vnitřní) jsou dutiny ve stěně odlitku, obvykle s hladkým a čistým povrchem [19].

Příčinou jsou páry a plyny, které se tvoří nedostatečným vypálením skořepinových forem, nesprávným umístěním voskových modelů do stromečku nebo ostrými hranami, které dovolují pronikání plynu do staženin [19].



Obr. 22 Vada typu bubliny [19]

5.4.2 Zadrogeniny

Zadrogeniny se u metody vytavitelného modelu vyskytují jen ojediněle a vznikají především vymíláním stěn skořepinové formy proudem tekutého kovu. Vyskytuje se v případech, kdy dutina formy má buď ostré rohy a hrany nebo roztavený kov vymílá částičky z prasklin skořepinové formy [19].

Příčinami mohou být nedostatečné technologické vlastnosti skořepinových obalů, špatné vysušení těchto obalů, nesprávný přívod taveniny nebo špatné podmínky lití kovu či nesprávná licí teplota [19].

5.4.3 Struskovitost

Jedná se o dutiny, otevřené (povrchové) nebo uzavřené (vnitřní), ve stěně odlitku, které jsou zcela nebo jen částečně vyplněné struskou vlivem:

- a) Nesprávné deoxydace taveniny při zpracování v tavicí peci,
- b) Nedokonalé odstranění strusky z povrchu kovu v licí pánvi před litím [19].

Za vznik struskovitosti může být považována nevhodná konstrukce modelu s ostrými vnitřními hranami, nevhodný materiál při výrobě skořepin, nesprávné uspořádání modelů ve stromečku nebo špatná volba vtokové soustavy a tím i špatný přívod taveniny do dutiny formy

5.4.4 Staženiny

Staženiny jsou, buď uzavřené v odlitcích, nebo vystupují na povrch odlitku v místech, která zatuhla jako poslední. Projevují se drsným povrchem nebo ve tvaru propadlin.

Příčinami může být nevhodná poloha a velikost vtoku, špatný tvar modelu nebo použití modelů s propadlými stěnami [19].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Druhá část diplomové práce se zaměřuje na zavedení nově dodané voskové směsi do výroby ve slévárně SPO Zlín, kde se vyrábí přesné odlitky technologií ztraceného vosku. Nově dodaná směs má za cíl dlouhodobě zlepšit prvotní fázi výrobního cyklu a také stálost výrobních voskových modelů.

Jako cíle praktické části byly stanoveny:

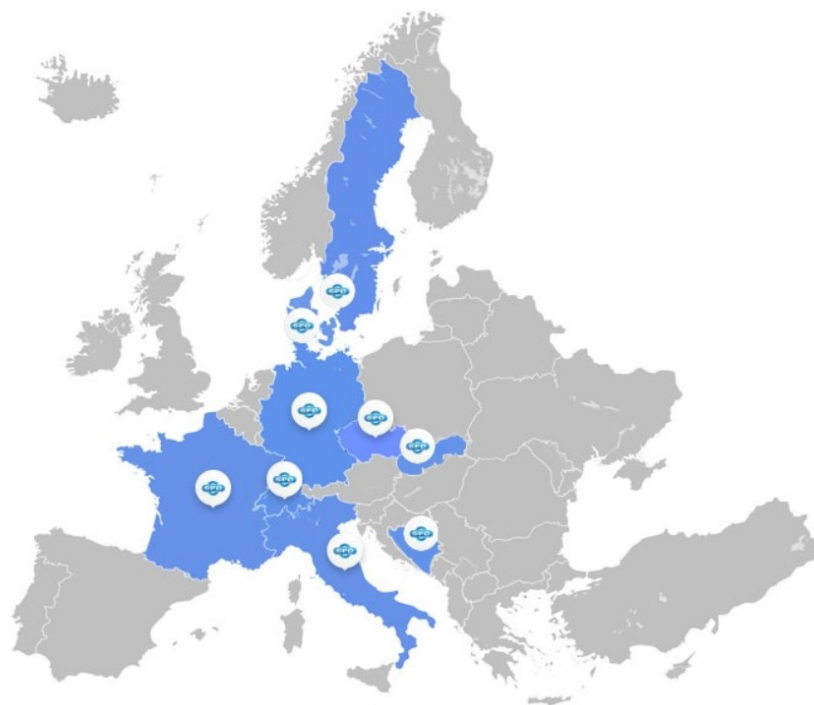
- porovnání pěti nově dodaných směsí se současnou a výběr nejvhodnější směsi pro zařazení do výroby,
- navržení a úprava nových parametrů vstřikování pro nově zvolenou voskovou směs, která se zkouší na dvou vstřikovacích lisech JENNY a PVJ,
- vstřikování zvolené voskové směsi s nově zvolenými parametry vstřikování,
- zhodnocení voskových modelů po změně směsi a parametrů.

7 SLÉVÁRNA PŘESNÝCH ODLITKŮ VE ZLÍNĚ

Společnost SPO Zlín s. r.o. sídlí na Nábřeží 674, 760 01, Zlín-Prštne, a pyšní se více než padesáti letou tradicí a je tak první soukromou slévárnou v České republice. Zaměření slévárny je na výrobu geometricky složitých odlitků, které se vyrábí metodou vytavitelného voskového modelu gravitačním litím do tepelně připravených vyžíhaných keramických skořepin [20].

Specializací slévárny je výroba odlitků z austenitických ocelí, avšak dle požadavků zákazníka lze dodávat odlitky z uhlíkové, nízko a středně legované, nástrojové, korozivzdorné austenitické a martenzitické, žáruvzdorné oceli, či otěruvzdorné bílé litiny, vhodné pro tažení v otevřených pecích [20].

Na Obr. 23 jsou znázorněny země, do kterých jsou dodávány odlitky vyrobené ve slévárně SPO Zlín [20].



Obr. 23 Vývoz odlitků [20]

Parametry odlitků pak dosahují hmotnosti od 0,001 až po 5 kg o velikosti od 2 do 250 mm při zachování velmi složitých tvarů s drsností povrchu $R_a = 6,3 \mu\text{m}$.

Ukázky odlitků vyrobené slévárnou SPO jsou znázorněny na Obr. 3 [20].

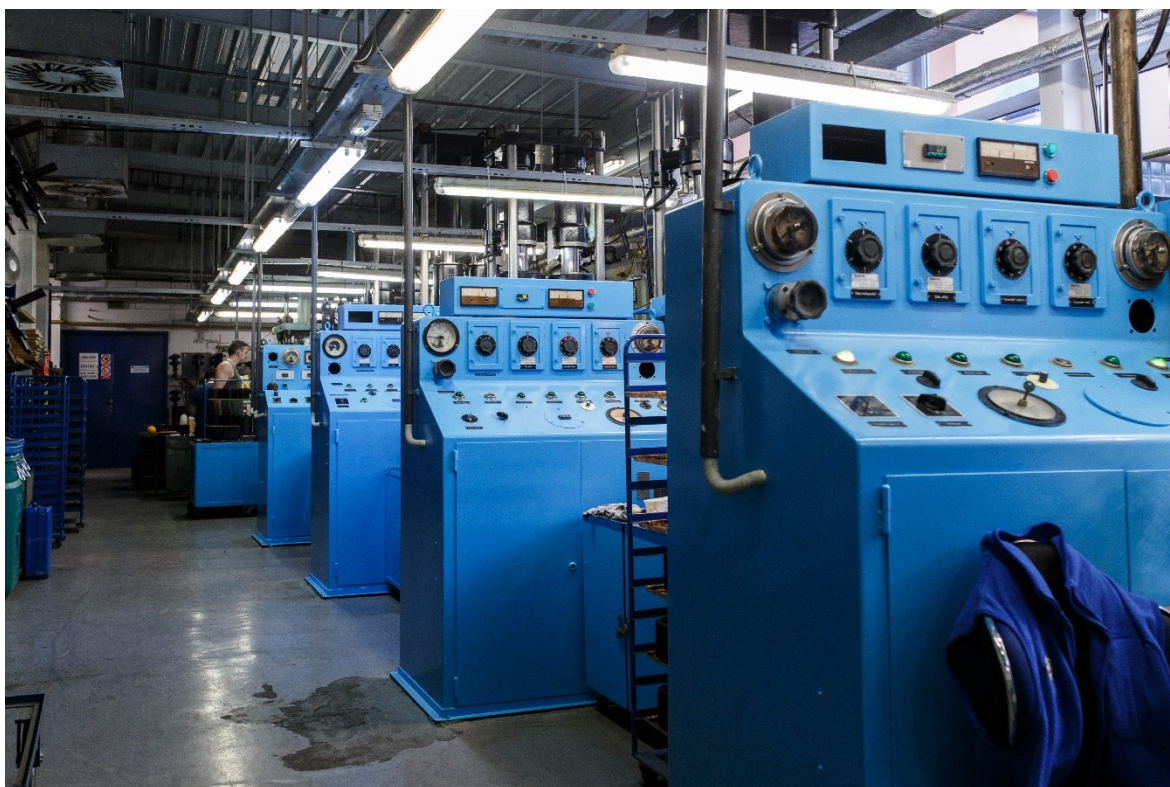
8 METODA VYTAVITELNÉHO MODELU VE SLÉVÁRNĚ SPO ZLÍN

Metoda vytavitelného modelu neboli také přesné lití umožňuje výrobu velmi přesných součástí, které nevyžadují žádnou nebo jen minimální potřebu další úpravy.

Popis technologie výroby odlitku ve slévárně SPO je znázorněn v následujících podkapitolách.

8.1 Výroba modelu

Voskové modely se vyrábí na voskovně, kdy namíchaná vosková směs je pomocí tlaku vstříkována do duralových forem. Tvar dutiny formy odpovídá tvaru voskového modelu a tedy i budoucího odlitku [20].



Obr. 24 Voskovna ve slévárně SPO Zlín

8.2 Připojování voskových modelů do stromečků

Jednotlivé voskové modely se po výrobě očistí od přetoků, které z největší části vznikají v dělicí rovině formy a připojují se na vtokovou soustavu pomocí lepení a vzniká licí sestava, tzv. stromeček [20].



Obr. 25 Voskové modely připojeny na vtokovou soustavu (stromečky)

8.3 Vznik skořepinových obalů

Skořepinové obaly vznikají v klimatizované místnosti nazvané obalovna. Vytvořené stromečky se nejprve namáčí do obalové směsi a následně jsou posypávány křemičitým pískem fluidním způsobem. Tenhle proces se opakuje 5 – 7x, záleží na požadované tloušťce obalu [20].



Obr. 26 Stromečky po obalení

8.4 Vytavování vosku a žíhání skořepiny

Vytavení vosku ze skořepiny probíhá pomocí páry v autoklávu. Jakmile je skořepina zcela zbavena vosku následuje její žíhání neboli vytvrzení v elektrických pecích při teplotách 980 °C [20].



Obr. 27 Vyžíhané skořepiny

8.5 Lití kovu

Tavenina kovu se připravuje v elektrických indukčních pecích. Následuje proces gravitačního lití do tepelně vyžíhaných skořepin. Po odlití se nechá kov i skořepina zchladnout v chladících tunelech [20].



Obr. 28 Gravitační lití do vyžíhaných skořepin

8.6 Odstranění skořepin a odlitků od vtokové soustavy

Pro odstranění skořepin od odlitku je používáno pneumatické kladivo a komorový tryskač, na kterém jsou odlitky dočišťovány od posledních kousků zbylé keramiky.

Oddělování odlitků od vtokové soustavy probíhá řezáním, lámáním nebo oklepáváním.

V dalších krocích může být odlitek tepelně zpracován, obráběn, broušen, leštěn, případně může probíhat různá povrchová úprava [20].

8.7 Kontrola a expedice hotového odlitku

Předposlední operací celého výrobního cyklu je 100% vizuální kontrola každého odlitku a evidence nevyhovujících odlitků, to vše na pracovišti vizuální kontroly odlitků.

Kontrola rozměrů a měření tvrdosti poté probíhá na pracovišti technické kontroly.

Posledním krokem procesu je balení a expedice výrobků dle požadavků zákazníka a včasné doručení zásilky [20].



Obr. 29 Balení a expedice výrobků

9 POPIS PŮVODNÍ VOSKOVÉ HMOTY

Současná modelová směs byla použita pro tlakové odstříky voskových modelů z pastovitého stavu a skládá se z několika surovin uvedených v Tab. 2, kdy základní složení modelové hmoty je určeno pro 800 kilogramovou vsázku.

Tab. 2 Základní složení modelové hmoty pro vsázku 800 kg

Základní složky	Procentuální vyjádření [%]	Hmotnost [kg]
Montánní vosk Romonta Y	56,2	450
Kalafuna	12,5	100
Microcér IMP II	15	120
Parafin (ve formě desek)	12,5	100
Stearin tech. III	3,8	30

Jak už vyplývá z Tab. 2, procentuální rozložení surovin a jejich kilogramové vyjádření je platné pro vsázku o hmotnosti 800 kilogramů. Nastal-li by požadavek pro vyrobení menší či větší dávky muselo by se vycházet z procentuálního poměru daných složek a jejího přepočtu na kilogramy.

9.1 Příprava výroby voskové hmoty

Jakmile se naváží potřebné voskové suroviny, dochází k jejich rozpuštění v autoklávu a odpařovací vaně. V autoklávu se nechá rozpustit vosk Romonta, microcér a parafin. Následuje přepuštění do odpařovací vany, kde dochází k odpaření vody z těchto zmíněných složek a přečerpání pomocí zubového čerpadla do duplikátoru, který je předem vytopen na teplotu 135 °C.

V odpařovací vaně se rozpouštějí zbylé složky, jako je kalafuna a stearin, a to sytou parou o velikosti tlaku 0,8 MPa a následuje opět přečerpání pomocí zubového čerpadla do duplikátoru o velikosti 800 kg k vosku Romonta, microcéru a parafinu.

Všech 5 složek, připravených touto metodou, se míchá v duplikátoru a to minimálně 1 hodinu při teplotě 135 °C, tak aby došlo k dokonalému promíchání všech složek. Po uplynutí stanovené doby následuje sedimentace po dobu 8 hodin při zmíněné teplotě 135 °C.

Jakmile je směs dokonale promíchána a po sedimentaci, dochází k vypuštění voskové hmoty z duplikátoru do vany. Horní výpustí duplikátoru se vypouští směs zhruba při teplotě 135 °C

a poté dochází k vypouštění sedimentu skrz spodní výpušť do bečky. Pozn.: hmotnost sedimentu po zvážení byla cca 70 kg z celkové směsi.

Po přepuštění voskové hmoty z duplikátoru do zásobní vany se z vany odebere vzorek pro stanovení:

- bodu tuhnutí [$^{\circ}\text{C}$],
- bodu skápnutí [$^{\circ}\text{C}$],
- % obsah vody,
- % obsah popele,
- hustota [g/cm^3].

9.2 Regenerace voskové modelové hmoty

Regenerace voskové hmoty se provádí přidáním složek nových surovin, po předchozím odstranění vody ze směsi připravené k regeneraci.

Samotná regenerace pak probíhá ve dvou regeneračních duplikátorech (kotlích), které jsou vytápěny opět sytou parou o velikosti tlaku 0,6 MPa z centrálního rozvodu a jako topné médium slouží olej. Teplota se reguluje ručním ovládáním ventilů a měří se dle potřeby ručním teploměrem.

V obou duplikátorech je zabudováno míchadlo pro homogenizaci objemu regenerované modelové hmoty. Na dně duplikátoru (kotle) jsou dva výpustné ventily, z čehož jeden je umístěn ve středu dna, druhý mimo střed dna. Ventil umístěn ve středu dna, tzv. spodní výpušť, slouží pro odpuštění sedimentu a různých nečistot. Ventil umístěn mimo střed dna, tzv. horní výpušť, se používá pro přepuštění modelové hmoty do zásobníkové vany pod duplikátorem.

Duplikátory jsou označeny čísly I a II o účinném objemu 800 kg. Duplikátor je napuštěn voskem z odpařovací jímky u autoklávu z 90 %.

Regenerace ve slévárně

Tekutá vosková hmota se přečerpává z odpařovací zásobníkové jímky z autoklávu pomocí zubového čerpadla do duplikátoru, který je vyhříván na teplotu 135 $^{\circ}\text{C}$.

Pro kontrolu se měří procentuální obsah vody přečerpávané voskové hmoty, která nesmí překročit hranici 3 %. K odstranění vody z voskové hmoty se využívá sytá pára z centrálního rozvodu o velikosti tlaku 0,8 MPa. Samotné přečerpávání však nesmí být zahájeno dříve,

než je hladina vosku v odpařovací jímce v klidu a obvykle je možné zahájit přečerpávání před zahájením dalšího cyklu vytavování.

Jakmile je duplikátor napuštěn z devadesáti procent, začne se přidávat 5 základních komponentů v daném poměru a lze je průběžně dávkovat v předepsaném poměru tuhou modelovou hmotou.

Po naplnění duplikátoru (kotle) probíhá další regenerace dle časového rozpisu:

- naplnění duplikátoru a přidání nových surovin,
- rozpuštění nových surovin cca 17 hodin při teplotě 135 °C,
- míchání 1 hodinu při teplotě 135 °C,
- sedimentace 8 hodin při teplotě 135 °C.

Po ukončení sedimentace se provede opět odpuštění, prvně do vany bočním ventilem a poté vypuštění sedimentu (cca 70 kg) ventilem ve středu dna duplikátoru při teplotě 135 °C. Sediment se vypouští do předem připravených prázdných sudů a po ztuhnutí se vyváží na skládku za budovu.

Druhou možností je odstranění zhruba 40 % spodní části sedimentu do odpadu a zbylou část lze použít jako tuhou směs při další regeneraci. Odpuštěním tohoto množství sedimentu se vytvoří prostor pro dávkování nových surovin.

Dávkováním se rozumí postupné přidávání jednotlivých složek voskové hmoty za stálého míchání v přesném pořadí, viz Tab. 3.

Tab. 3 Pořadí dávkování jednotlivých složek

Složka	Množství [kg]
Vosk Romonta	56
Kalafuna	12
Microcér IMP II	15
Parafin (ve formě desek)	13
Stearin tech. III	4
Regenerát	Cca 700
Celkem	790 – 800

Dávkování, uvedené v Tab. 3, odpovídá základnímu složení voskové hmoty. Po nadávkování všech nových surovin a regenerátu se vosková směs přepouští do zásobníku van I a II, kde se udržuje na teplotě 95 °C. K udržování stálé teploty je využíváno cirkulace oleje v plášti vany pomocí zubového čerpadla. Z takhle připravené voskové směsi se ze zásobníkové vany odebere zkušební vzorek ke kontrole v laboratoři.

Jakmile směs projde rozbořem a je odsouhlasená, tak se ze zásobníkových van I a II průběžně doplňuje cirkulační vana III, která je udržována taktéž na teplotě 95 °C včetně cirkulačního potrubí.

9.3 Míchání a ochlazování voskové hmoty

Míchání a ochlazování se provádí v cirkulační (zásobní) vaně III. Vana je vyhřívána olejovou lázní o velikosti tlaku 0,6 MPa sytou parou a má zavedenou regulaci teploty. Díky zavedené regulaci se udržuje a současně temperuje vosková hmota na stanovenou teplotu za stálé cirkulace vosku přes zubové čerpadlo. Zpětný proud voskové hmoty proudí na hladinu tekutého vosku a objem napuštěné voskové hmoty nesmí být větší než zmíněných 90 % vany.

Samotné míchání a ochlazování pak probíhá tak, že z duplikátoru se vosková hmota vypouští při teplotě minimálně 95 °C a nucenou cirkulací zubovým čerpadlem se ochladí na optimální teplotu 95 °C, kterou je nutno udržet.

9.4 Příprava modelové hmoty ke vstříkování

Připravená směs se vstříkuje pod tlakem do duralových forem v kašovitém stavu, pokud možno při co nejmenší teplotě tak, aby se co nejvíce vyloučilo smrštění, které má za následek vznik staženin – propadlin. Z tohoto důvodu musí mít voskový model přídavek, který se pohybuje okolo 3 %, aby po smrštění měl finální model požadovaný tvar a velikost. Modelová hmota je však při nižší teplotě velmi viskózní a také povrchová kvalita modelu není optimální a proto se musí vstříkovat při vyšších tlacích.

Samotné zkoušky vstříkování pak probíhají na dvou vstříkovacích lisech za optimální vstříkovací teploty. Vstříkovací teplota pro lis JENNY je 58 ± 2 °C a pro lis PVJ 64 ± 2 °C.

Temperování modelové hmoty

K temperaci na teplotu vstřikování slouží pec ESO, kam se modelová hmota přepraví potrubním vedením z vany III. Modelová směs se v peci ponechá až do důkladného vytemperování na požadovanou teplotu, což trvá dle stanovených podmínek cca 15 hodin.

Vytemperovanou hmotu ve formě pasty pak pracovník přenese do vstřikovacího lisu. Hmota se temperuje na ± 58 °C, což je vstřikovací teplota pro lis JENNY.

9.5 Problémy voskové hmoty

Při výrobě voskové hmoty může dojít hned k několika pochybením, což se projevuje na voskovém modelu a tedy i na finálním odlitku. Konkrétní problémy ve slévárně SPO Zlín jsou popsány v následujících bodech a z těchto důvodů se slévárna rozhodla přejít na nový typ vosku, který by měl splňovat požadavky dané slévárnou nebo zákazníkem a také by neměl mít velké odchylky od stanovených mezí.

Problémy se současnou voskovou směsí:

- Možnost lidského pochybení při míchání směsi, jelikož voskovou směs je potřeba dávkovat v přesném pořadí a množství, je zde určitá pravděpodobnost, kdy se zaměstnanec může splést a opomenout nebo chybně navážit některou ze základních surovin.
- Dalším bodem je nestálost vosku, kdy se na voskových modelech často objevovaly vady typu propadlin, bublin, studených spojů a prasklin. Finální voskové modely po vystříknutí měly nestálé rozměry a bylo zapotřebí je zatěžovat nebo dávat do vody.
- Potřebné základní suroviny pro výroby vosku je zapotřebí někde nakupovat a skladovat. Jelikož zásobní prostory jsou ve slévárně omezené, vzniká zde problém se skladovatelností potřebných surovin.
- Ceny vstupních surovin od dodavatelů se stále zvyšují a také není dobře vyřešena logistika dopravy těchto surovin.
- Současný vosk používaný ve slévárně je přírodního charakteru a získává se těžením v dolech. Z tohoto důvodu lze usuzovat, že vosk v budoucnu dojde a musela by se hledat alternativa, která by současný vosk nahradila.

Tohle je pět skutečných problémů, které se ve slévárně vyskytují a které by bylo zapotřebí eliminovat na tolik, aby pokud možno byla první fáze výroby, a to výroba voskového modelu, co nejpřesnější bez výraznějších problémů.

Prvotním krokem pro zdokonalení těchto problémů je spolupráce s německým dodavatelem Romonta, který voskovou směs dodává ve formě kuliček zabalených v pytlích s přesně stanoveným množstvím základních surovin, které jsou strojově namíchány a zaslány na paletách slévárně.

Odpadá tedy faktor lidského pochybení při míchání voskové směsi a problémy se skladováním, kdy je možnost voskovou směs objednávat každý týden a dodání je následující týden po objednávce. Také logistika dopravy se ujasnila a usnadnila, protože nyní je spolupráce pouze s jedním dodavatelem, který zajišťuje kompletní voskovou směs se všemi surovinami.

10 POROVNÁNÍ VOSKOVÝCH SMĚSÍ

Základem každé úspěšné společnosti či firmy je dobře zvolená strategie a politika. Z tohoto hlediska musí i slévárna SPO Zlín pečlivě zvažovat své možnosti a kroky, které povedou ke zlepšení a zdokonalení samotné výroby.

Prvotním krokem výroby ve slévárně je výroba voskových modelů, od kterých se odvíjí kvalita výsledného odlitku a tudíž i ekonomika celé firmy. Proto je důležité, aby voskový model byl co nejkvalitnější, pokud možno bez chyb a slévárna si tak udržela svou konkurenceschopnost na trhu. Vosková směs je tedy základem kvalitního voskového modelu a budoucího odlitku.

V Tab. 4 jsou znázorněny směsi a jejich parametry pro vstřikování, které dodavatel uvádí v materiálovém listu. Druhý sloupec (Vosk SPO Zlín) reprezentuje směs, která se doposud používala ve slévárně. Tahle směs časem bohužel vykazovala časté odchylky od stanovených mezí, a proto muselo docházet k častým korekcím, ať už ve směsi nebo na vstřikovacích strojích. Z tohoto důvodu se vedení společnosti rozhodlo tenhle prvotní krok zdokonalit tak, aby nedocházelo k časovým ani finančním ztrátám.

Další sloupce (Materiál PW 3179, materiál PW 3205, materiál PW 3112, materiál PW 3082 a materiál PW 3251) v Tab. 4, charakterizují nové směsi od společnosti Romonta, které společnost dodala slévárně v právě zmíněných pěti verzích. Tyhle nové směsi jsou namíchány na míru tak, aby se co nejlépe parametry podobaly současné směsi (Vosk SPO Zlín) a slévárna tak měla snazší způsob jednu z těchto směsí co nejdříve zařadit do výroby.

Všechny nově dodané voskové směsi jsou ve formě kuliček baleny v pytlích. V První fázi výroby bylo zapotřebí granulát rozpustit, což proběhlo v elektrických pecích ESA, a následně se už rozpuštěná vosková směs vstřikovala na vstřikovacích lisech.

Tab. 4 Porovnání směsí SPO Zlín s novými materiály

Charakteristická data	Vosk SPO Zlín	Materiál PW 3179	Materiál PW 3205	Materiál PW 3112	Materiál PW 3082	Materiál PW 3251
Bod tuhnutí [°C]	69	69	70	73	67	69
Bod skápnutí [°C]	80,4	80,3	83,3	84,6	78,2	80,7
Pronikání jehlou 25 °C/ 45 °C [*10 – 1 mm] (100g/5s)	6,5/ 25,8	3,9/ 17,2	2,9/ 12,2	4,3/ 10,9	2,8/ 7,7	4,6/ 20,9
Pronikání jehlou 25 °C/ 45 °C [*10 – 1 mm] (500g/30s)	23,6/ >50	22,7/ >50	21,4/ >50	22/ 42	17/ 29,1	20,3/ >50
Viskozita 90 °C [mPas]	27	26	33	41	348	21
Viskozita 100 °C [mPas]	20	20	26	34	225	17
Zbytky po spálení [%]	0,17	0,02	0,04	0,02	0,02	0,03

Z pěti zmíněných nově dodaných materiálů se vybral jeden, a to ten, který se jevil jako nejjednodušší z optického a rozměrového hlediska a vyrobené modely se blížili požadovaným tvarům. Ostatní čtyři verze materiálů byly zavrhnuty z důvodů velkých odchylek od standardů a výměna starého vosku za jednu z těchto verzí by nebyl firmě ku prospěchu.

11 ZKOUŠKY NOVĚ DODANÝCH MATERIÁLŮ

Po dodání nových materiálů následovalo jejich zkoušení na vstřikovacích lisech JENNY a PVJ, kdy optimální vstřikovací teplota pro lis JENNY se pohybuje v rozmezí 58 ± 2 °C a pro lis PVJ 64 ± 2 °C. Teplota stolice u vstřikovacího lisu je nastavena na 30 ± 2 °C. Mezi další důležité vstřikovací parametry se řadí čas, který je velmi důležitý z hlediska množství vyrobených modelů v určitém časovém rozmezí. Celkový čas se pak dělí na čas vstřikovací a dobu tuhnutí a je ovlivněn velikostí vstřikovaných dílů. Celkový čas se pohybuje od 2,5 do 6 minut a záleží na složitosti a velikosti dílce. Třetím parametrem je tlak, který se také dělí na dva typy, a to na tlak vstřikovací a tlak svírací, kdy vstřikovací tlak se pohybuje v rozmezí 6 – 12 MPa a tlak svírací v rozmezí 16 – 20 MPa.

Firmou byly vybrány 3 voskové modely, pod názvy Klapka, Rameno a Carello, které se vstřikovaly po pěti kusech a následně vyhodnocovaly. U některých materiálů byly už po prvních výstřicích zjevné povrchové vady, které by se těžko odstraňovaly, a proto byla směs zamítnuta. Jako nejvíce vyhovující se jevila směs PW 3251, která jevila pouze drobné odchylky od požadovaných standardů a upravením některých vstřikovacích parametrů, by směs splňovala všechna daná kritéria.

11.1 Materiál PW 3179

Prvním zkoušeným materiálem je materiál PW 3179, který již od pohledu vykazoval řadu nevyhovujících faktorů. I přes téměř podobné vstřikovací parametry s původní směsí se nepodařilo vyhnout některým problémům. Mezi nejvíce viditelné patřily hlavně bubliny, praskliny a studené spoje, které měly za následek špatnou kvalitu povrchu a nedodržení požadovaných rozměrů. Na Obr. 30 je zobrazen největší díl Klapka, který se vykazuje největší plochou a také hmotností. I tyto faktory mohou hrát roli na konečném výstřiku voskového modelu.



Obr. 30 Voskový model Klapka po vystříknutí

Na dalším obrázku, Obr. 31, jsou zobrazeny detaily dalších dvou zvolených voskových modelů, kde byly zpozorovány stejné problémy jako v případě prvním a to nevyhovující, drsný a vrásčitý povrch, bubliny a přetoky.



Obr. 31 Voskové modely Carello a Rameno po vystříknutí

Z těchto vzniklých a zpozorovaných poznatků bylo usouzeno směs zamítnout a zaobírat se tak další, která by nejevila tak velké problémy jako směs PW 3179.

11.2 Materiál PW 3205 a PW 3112

Oba materiály, i přes některé odlišné parametry, jevily stejné vady, a tak jako v prvním případě nebyly vedením společnosti odsouhlaseny. Největším problémem na voskových modelech

bylo vytváření bublin, přetoků a tím pádem i nedodržení požadovaných rozměrů. Na Obr. 32 jsou jasně viditelné vzniklé bubliny po celé délce voskového modelu.



Obr. 32 Bubliny vzniklé na voskovém modelu Rameno

Na Obr. 33 jsou další dvě ukázky vybraných voskových modelů, které byly vystříknuty z materiálů PW 3205, PW 3112 a vykazovaly stejné problémy jako model Rameno.

Vady typu bublin vznikají příliš nízkým vstřikovacím tlakem nebo špatným odvědušením formy. Přetoky pak mohou být způsobeny příliš vysokou teplotou materiálu při zpracování, nízkou uzavírací silou nebo vysokým vstřikovacím tlakem.

Odstranění těchto vad a hlavně vybalancování všech parametrů by slévárnu stálo určité úsilí jak časové, tak finanční a proto se vedení rozhodlo zaobírat dalšími typy nově dodaných materiálů.



Obr. 33 Vady na voskových modelech Carello a Klapka

11.3 Materiál PW 3082

Z Tab. 4 Porovnání směsí SPO Zlín s novými materiály v kapitole 10, lze vyčíst údaje o dodaných materiálech, které by se měly blížit parametrům směsi SPO Zlín. Ovšem materiál PW 3082 vykazoval příliš velké odchylky od současné směsi a to hlavně v oblasti viskozity při 90 °C a 100 °C. Tyhle údaje zcela nezapadají do podmínek dané slévárnou a odlišné parametry se ihned projeví jako nežádoucí při prvních nástřicích.

Na Obr. 34 lze okem zpozorovat zcela nevyhovující povrch plný bublin, studených spojů, je zde viditelná dráha toku vosku při plnění, a to vše má za následek jak rozměrové, tak kvalitativní odchylky od standardů.

Z tohoto hlediska nebylo zapotřebí provádět zkoušky na dalších dvou typech voskových modelů a jako vzor nesprávně namíchané směsi postačil model Klapka.



Obr. 34 Nevyhovující voskový model Klapka

11.4 Materiál PW 3251

Materiál pod názvem PW 3251 s obdobnými parametry jako směs SPO Zlín nebo směs PW 3179, vykazoval pouze drobné známky bublin a puchýřů. Naopak rozměrová přesnost byla vyhovující a povrch modelu po vystříknutí byl pěkný. V případě, že se modely ihned po odstříknutí daly do vody, tak intenzita bublin a puchýřů rapidně klesla a tím se ještě víc

zlepšil povrch modelu. Tenhle způsob zamezení vzniku určitých vad bohužel u některých směsí nezabral, a proto byly směsi odsouhlaseny jako nevyhovující. V tomhle případě metoda ponoření do vody pomohla, a jelikož povrch a rozměrová přesnost byla vyhovující, tak se směs PW 3251 jevila jako nejlepší alternativa za původní směs SPO Zlín.

Na Obr. 35 jsou zobrazeny voskové modely Klapka, Rameno a Carello vystříkнутé z materiálu PW 3251, který se jevil jako nejideálnější jak z pohledového, tak rozměrového hlediska. Tenhle prvotní krok směřoval k tomu, aby vedení slévárny začalo zkoušet i další typy voskových modelů a případně zvažovalo další úpravy, ať už ve směsi nebo v procesních parametrech.



Obr. 35 Vyhovující modely Klapka, Rameno a Carello

12 VYHODNOCENÍ ZKOUŠENÝCH VOSKŮ

Vyhodnocení zkoušených směsí spočívá ve zhodnocení vizuální a rozměrové stránky vstříknutých voskových modelů. Po prvotních testech nových voskových směsí, které se prováděly na zmíněných třech voskových modelech, se vybrala jedna, a to ta, která se jevila jako nejlepší alternativa za vosk současný.

12.1 Vizuální zhodnocení vybrané směsi

Z vizuálního zhodnocení lze konstatovat, že nejlepší vzhled a povrch, až na některá místa, vykazovala směs PW 3251.

Z převážné části byly zhotovené modely na pohled pěkné, povrch modelů byl vyhovující. Ale objevovala se místa, která byla zdrojem vad, a tyhle vady by se následně projevíly na finálním odlitku. Z tohoto pohledu je potřeba udělat ještě korekci vstřikovacích parametrů, tak, aby celý povrch voskového modelu byl pokud možno bez vad.

Jelikož hodnocení vizuální stránky vybrané směsi dopadlo z 85 % kladně, následovalo zkoušení vybrané směsi na dalších typech modelů, které si vedení slévárny vybralo a úprava potřebných procesních parametrů bude řešena až ve druhé fázi.

Vybrané typy voskových modelů jsou zobrazeny na Obr. 36, požadované množství výstříků společně s názvy modelů jsou vyznačeny v Tab. 5. Vedením byly vybrány modely všech velikostí, rozměrů a složitostí, tak aby zkouškami bylo zjištěno, jak se směs projevuje při náhlých přechodech v tloušťkách stěn, při vstřikování velkoobjemových dílů, ba naopak při vstřikování i těch nejmenších součástí. Ukázky modelů, s rozdíly hlavně objemového a rozměrového charakteru, jsou zobrazeny na Obr. 37.



Obr. 36 Vybrané modely pro vstřikování ze směsi PW 3251

Krom již zmíněných třech modelů (Klapka, Rameno, Carello) přibylo dalších 6, které se lišily jak tvarově, tak i objemově. Lze zhodnotit na obrázcích Obr. 36 a na Obr. 37.



Obr. 37 Porovnání voskových modelů Sperrscheibe a Ključ

Zkoušky probíhaly tak jako v prvním případě na vstřikovacích lisech JENNY a PVJ po domluveném množství, které je zobrazeno v Tab. 5. Vstřikovací teplota pro lis JENNY se pohybuje v rozmezí 58 ± 2 °C a pro lis PVJ 64 ± 2 °C. Teplota stolice u vstřikovacího lisu je opět konstantně nastavena na 30 °C. Tlak vstřikovací se pohybuje v rozmezí 6 – 12 MPa a tlak svírací v rozmezí 16 – 20 MPa.

Tab. 5 Seznam modelů na zkoušku nového vosku

IČO	Voskový model	Množství
11703	Ključ	10
11562	Klinkenrad	10
11711	Pant horní levý	10
10893	Klíč 502	10
11480	Carello	10
11673	Klapka	5
11698	Rameno	10
11177	Sperrscheibe 004	5
11570	Trdlo 2	10

12.2 Úprava procesních parametrů vybrané směsi

U většiny vybraných modelů docházelo k problémům, které nejdou zamezit pouze ponořením voskového modelu do vody nebo jejich zatížením, ale je potřeba už výraznějšího zásahu a to především úpravou některých z procesních parametrů.

Mezi nejčastěji vyskytující se vady byly vady typu bublin, propadlin, spálených míst a deformací. Každá vzniklá vada má svá specifika a její odstranění vyžaduje úpravu jednotlivých vstřikovacích parametrů. V následujících tabulkách je řešeno 6 vstřikovacích parametrů, které se nastavují a upravují tak, aby finální model měl dokonalý povrch s dodrženími rozměrovými parametry.

Tab. 6 Nastavení prvotních procesních parametrů

Voskový model	Teplota lisu PVJ [°C]	Teplota lisu JENNY [°C]	Teplota stolice [°C]	Doba tuhnutí [min]	Vstřikovací tlak [MPa]	Dotlak [MPa]	Vady
Ključ	64	58	30	2,5	8	16	OK
Klinkenrad	64	58	30	3	8	16	Propadliny
Pant horní levý	64	58	30	3	8	16	OK
Klíč 502	64	58	30	3,5	8	16	Bubliny, spálená místa
Carello	64	58	30	3	8	16	Propadliny
Trdlo 2	64	58	30	3,5	8	16	Deformace
Rameno	64	58	30	3,5	8	16	Bubliny
Sper-scheibe 004	64	58	30	4	8	16	Deformace
Klapka	64	58	30	3,5	8	16	Bubliny, spálená místa

Jako první procesní parametry byly zvoleny střední hodnoty teplot, jak u lisu PVJ, tak u lisu JENNY a také se zachovala konstantní teplota stolice. Doba tuhnutí byla zvolena s ohledem na velikost dílce. Vstřikovací tlak i dotlak byl pro prvotní vstřikování nastaven na minimum.

Většina modelů po vystříknutí neměla pěkný povrch, povrch obsahoval spálené místa, bubliny, propadliny a model Sperrscheibe a Trdlo 2 byl i z části zdeformovaný. Ovšem voskový model Ključ a Pant horní levý, nejevil téměř žádné povrchové vady a po změření důležitých rozměrů byly voskové modely odsouhlaseny jako vyhovující. Bohužel zbytek voskových modelů muselo projít další úpravou různých parametrů, tak aby i tyhle modely mohly být odsouhlaseny.



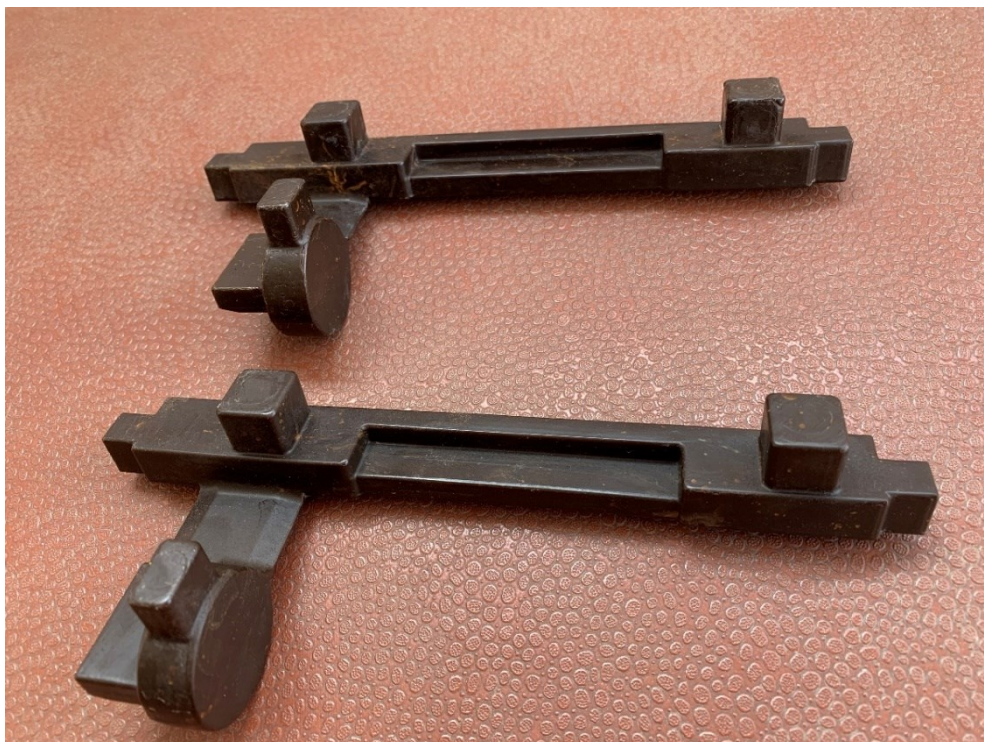
Obr. 38 Voskové modely Ključ a Pant horní levý po prvním vystříknutí

Vady typu bublin jsou zapříčiněny příliš nízkým vstřikovacím tlakem, nízkou teplotou formy nebo naopak příliš přehřátou formou. Propadliny pak mohou být odstraněny snížením teploty formy nebo zvýšením vstřikovacího tlaku. Spálená místa jsou ovlivněna vysokou teplotou taveniny, vysokou vstřikovací rychlostí nebo poškozením vstřikovacího zařízení. A poslední vyskytující se vada a její odstranění je vada typu deformace, která je zapříčiněna nedostatečnou dobou chlazení nebo příliš vysokou teplotou formy. Tohle je souhrn nejčastěji se vyskytujících vad na voskových modelech a jejich odstranění.

Tab. 7 Úprava procesních parametrů 1

Voskový model	Teplota lisu PVJ [°C]	Teplota lisu JENNY [°C]	Teplota stolice [°C]	Doba tuhnutí [min]	Vstřikovací tlak [MPa]	Dotlak [MPa]	Vady
Klinkenrad	64	58	28	3	9	17	Propadliny
Klíč 502	62	56	32	3,5	9	17	Bubliny
Carello	64	58	30	3,5	9	17	OK
Trdlo 2	64	58	28	4	10	18	Deformace
Rameno	64	58	30	4	10	18	OK
Sper-scheibe 004	64	58	30	5	10	18	Deformace
Klapka	62	56	32	3,5	9	17	Bubliny

U druhého měření a první změně procesních podmínek se podařilo optimalizovat pouze dva druhy voskových modelů a to voskový model Carello a Rameno. U modelu Carello, došlo ke korekci v době tuhnutí a také se zvýšil vstřikovací tlak. U modelu Rameno došlo také ke zvýšení vstřikovacího tlaku, dotlaku a prodloužení doby tuhnutí. Tyhle korekce pomohly k tomu, aby výsledné voskové modely odpovídaly jak vzhledově, tak rozměrově, viz. Obr. 39, 40. Bohužel ostatní modely se nejevily jak po vizuální, tak některé ani po rozměrové stránce jako vyhovující a musely projít další úpravou některého z procesních parametrů.



Obr. 39 Voskový model Carello před (nahore) a po úpravě parametrů

Na Obr. 39, 40 jsou vyfoceny dva modely, které byly vystříknuty před a po úpravě parametrů. Po úpravě parametrů se modely jeví jako vyhovující, jak z pohledového, tak rozměrové hlediska.



Obr. 40 Voskový model Rameno před (nahore) a po úpravě parametrů

Tab. 8 Úprava procesních parametrů 2

Voskový model	Teplota lisu PVJ [°C]	Teplota lisu JENNY [°C]	Teplota stolice [°C]	Doba tuhnutí [min]	Vstříkovací tlak [MPa]	Dotlak [MPa]	Vady
Klinkenrad	62	56	28	3	10	18	OK
Klíč 502	62	56	32	3,5	10	18	OK
Trdlo 2	64	58	28	4	10	18	Deformace
Sper-scheibe 004	64	58	30	5,5	10	18	Deformace
Klapka	62	56	32	3,5	10	18	OK

Po druhé úpravě a korekci některých procesních parametrů se podařilo hned 3 voskové modely zhotovit bez podstatných vizuálních a tvarových vad. Korekce spočívaly ve zvýšení vstříkovacího tlaku u modelu Klíč 502 a Klapka a pro odstranění propadlin u modelu Klinkenrad došlo ke snížení teplot lisu. Tyhle korekce pomohly k tomu, aby tyto vyznačené modely byly odsouhlaseny jako vyhovující.



Obr. 41 Voskový model Klinkenrad před a po úpravě parametrů



Obr. 42 Voskový model Klíč 502

Na Obr. 42 a Obr. 43 jsou vyfoceny modely, kde model vlevo je model před úpravou parametrů a již z pohledového hlediska je takový model nevyhovující. Model vpravo je po úpravě parametrů a je buď zcela vyhovující, nebo nese pouze minimální známky vad, které lze odstranit například ponořením modelu do vody a tím rapidně klesne výskyt bublin na vystříknutém modelu.



Obr. 43 Voskový model Klapka

Tab. 9 Úprava procesních parametrů 3

Voskový model	Teplota lisu PVJ [°C]	Teplota lisu JENNY [°C]	Teplota stolice [°C]	Doba tuhnutí [min]	Vstříkovací tlak [MPa]	Dotlak [MPa]	Vady
Trdlo 2	64	58	28	4,5	11	18	OK
Sperrscheibe 004	64	58	28	6	12	20	OK

Největší problémy, co se týče optimalizací procesních parametrů, dělaly voskové modely Trdlo 2 a Sperrscheibe 004, které se vykazovaly velkou různorodostí povrchu a také většími objemy. Tyhle dva modely proto potřebovaly nejdelší dobu tuhnutí a také nejvyšší vstříkovací tlaky, což způsobuje prodloužení výrobního cyklu a také větší energetickou náročnost. I přesto se podařilo tyhle modely nastříknout tak, aby vizuální a rozměrová stránka odpovídala požadovaným kritériím.



Obr. 44 Voskový model Trdlo 2 před a po úpravě parametrů



Obr. 45 Voskový model Sperrscheibe 004 před a po úpravě parametrů

Obsahoval-li jakýkoliv voskový model drobné vady na povrchu typu bublin, bylo zapotřebí model ponořit do vody nebo zatížit, což výrazně ovlivnilo nárůst tohoto typu vad a povrch modelu se tak jevil ještě více hladký. Platí to však pouze u modelů, u kterých se taková vada vyskytovala.

13 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Jeden z hlavních problémů, které chtěla společnost SPO Zlín vyřešit, byla náhrada současného vosku za vosk, jež bude splňovat požadované technologické a ekonomické podmínky. Řešením tohoto problému je spolupráce s německou společností Romonta, odkud pochází i současný vosk. Ostatní přísady, které se do voskové směsi přimíchávají, pochází od různých dodavatelů, což značně prodlužuje termíny objednávek a dodávek a hlavně doprava těchto materiálů z různých míst do slévárny nese značnou ekonomickou a skladovatelnou náročnost.

Proto se společnost SPO Zlín dohodla se společností Romonta tyto kroky spojit a jak přípravu, tak i dopravu voskové směsi bude zajišťovat již jeden dodavatel a to právě zmíněná společnost Romonta. Tuhle spoluprací odpadá hned několik bodů, které slévárnu stály nemalý čas ve výrobě a značnou ekonomickou zátěž. Vyřešily se problémy s mícháním a skladováním voskové směsi, kdy nyní společnost Romonta strojově připravuje a dováží směs zabalenou v pytlích po 25 kilogramech na paletách. Dále odpadl krok s nákupem a dopravou vstupních surovin, kdy všechen potřebný materiál zajišťuje již zmíněný dodavatel. A v neposlední řadě odpadla starost se současným voskem, který je přírodního charakteru a je vysoká pravděpodobnost, že vosk v budoucnu dojde.

A jelikož je vosková směs již hotová (strojově namíchaná) a není potřeba ji připravovat ručně ve slévárně, došlo k úspoře času při přípravě voskové směsi (7500 Kč/měsíc) a také došlo k úspoře místa ve skladu materiálu (16 palet= 16 m³).

Tab. 10 Náklady na 1 kilogram současného vosku

Surovina	Množství [kg]	Cena [Kč]
Montánní vosk Romonta Y	0,56	80,5
Kalafuna	0,12	12,2
Microcér IMP II	0,15	14,5
Parafin (ve formě desek)	0,13	6,5
Stearin tech. III	0,04	3,2
Celkem	1	116,9

Cena 1 kilogramu současného vosku činí 116,9 Kč/kg. Cena již nového namíchaného vosku PW 3251, dodávaného v pytlích na paletách, je 3,1 eur/kg. Při dnešním kurzu k datu 29. 4. 2020 se 1 euro rovná 27,13 Kč, tedy cena nového vosku je 84,1 Kč/kg a rozdíl mezi stávající a novou směsí je 32,8 Kč/kg.

Při současné roční spotřebě vosku cca 3 tuny/rok dojde k roční úspoře 98 400 Kč.

ZÁVĚR

Teoretická část diplomové práce zahrnuje částečný popis technologie přesného lití na vytavitelný model a její stručnou historii. Následuje popis voskových směsí, jejich rozdělení a zkoušení, a také jsou zde zmíněny faktory ovlivňující rozměry výsledných voskových modelů.

Cílem diplomové práce bylo optimalizovat procesní parametry vstřikování vybrané voskové směsi na zvolených voskových modelech. Nejprve však bylo nutné zjistit problémy se stávající směsí a poté vybrat nejlepší alternativu, pomocí zkoušek na vybraných modelech, která by stávající vosk nahradila. Po nalezení vyhovující voskové směsi, následovalo její vstřikování pro vybrané voskové modely, tak aby směs prošla kompletním zatížením, jak na velkoobjemových, tak maloobjemových dílech. Velmi důležitým faktorem bylo nalezení optimální náhrady a procesních parametrů za současnou voskovou směs a její rychlé zavedení do výroby.

Po nalezení vyhovující směsi a odzkoušení na vybraných modelech, následovalo upravení procesních parametrů do té doby, než všechny zhotovené modely odpovídaly, jak po vizuální, tak po rozměrové stránce. Takhle zhotovené modely, které prošly všemi měřeními, jsem shledal jako vyhovující a směs PW 3251 jsem doporučil jako vhodnou alternativu za směs současnou, která vyhovuje nejenom po vizuální a rozměrové stránce, ale také slouží k úspoře času, při přípravě téhle směsi, a místa pro skladování surovin.

Rozdíl mezi přípravou současné směsi ve slévárně a již připravené směsi (PW 3251) od dodavatele činí 90 000 Kč/rok, a rozdíl mezi cenami vosků, při současné spotřebě 3 tuny/rok je 98 400 Kč, což lze považovat za značnou finanční úlevu a taky dva z hlavních důvodů proč tuhle výměnu vosků zavést co nejdříve.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GEBELIN, Jean-Christophe, JOLLY, Mark R., CENDROWICZ, Aleksander M., BLACKBURN, Simon, a CIRRE, Javier. Simulation of die filling for the wax injection process: Part I. Models for material behavior. *Metallurgical and Materials Transactions B* [online]. 2004, 35(4), 755-759 [cit. 2019-10-28]. DOI: 10.1007/s11663-004-0015-7. ISSN 1073-5615. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11663-004-0015-7>
- [2] History of Investment Casting. *Dal-Air Investment Casting* [online]. 2016 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://dalaircasting.com/investment-casting/history-of-investment-casting/>
- [3] CELLINI, Benvenuto. Perseus with the Head of Medusa. In: *DailyArtmagazine* [online]. 2019 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://www.dailyartmagazine.com/perseus-and-the-head-of-medusa/>
- [4] Mesit foundry. *Výroba přesných hliníkových odlitků* [online]. 2019 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://www.mesitfoundry.cz/vyroba-odlitku>
- [5] Slévárna přesných odlitků. *SPO Zlín s.r.o.: Parametry odlitků* [online]. 2017 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <https://www.spo-zlin.cz/>
- [6] GEBELIN, Jean-Christophe, CENDROWICZ, Aleksander a JOLLY, Mark R. *Wax injection in the investment casting industry* [online]. 2011, 385-394 [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=D1zJm5Q9bHbORXM Aw6A&page=1&doc=3
- [7] GEBELIN, Jean-Christophe a JOLLY, Mark R. *Modelling of the investment casting process* [online]. Univ Birmingham, ENGLAND, 2001, 135(2-3), 291-300 [cit. 2019-11-03]. DOI: 10.1016/S0924-0136(02)00860-9. Dostupné z: <https://www.sciencedirect-com.proxy.k.utb.cz/science/article/pii/S0924013602008609?via%3Dihub>
- [8] BOND, David, NISHIKAWA, Koji. *Investment Casting Wax Technology* [online]. 2006 [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <http://www.investmentcastingwax.com/downloads/tl5.pdf>
- [9] Blayson Wax Products. *Blayson* [online]. 2019 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <http://www.blayson.com/blayson-products/wax>

- [10] WILLIAMS, R. B. Update on Investment Casting Wax. In: *Blayson* [online]. 1991 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <http://investmentcastingwax.com/downloads/tl10.pdf>
- [11] Product Information – Straight (Unfilled) Wax. In: *Blayson* [online]. 2019 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: http://www.blayson.com/downloads/straight_wax.pdf
- [12] Product Information – Emulsified Wax. In: *Blayson* [online]. 2019 [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <http://www.blayson.com/documents/technicaladvice/Emulsified%20Wax.pdf>
- [13] Product Information – Filled Wax. In: *Blayson* [online]. 2019 [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: [http://www.blayson.com/documents/technicaladvice/Product%20 Information%20-%20Filled%20Wax.pdf](http://www.blayson.com/documents/technicaladvice/Product%20Information%20-%20Filled%20Wax.pdf)
- [14] TEWO, Robert K., RUTTO, Hillary L., FOCKE, Walter, SEODIGENG, Tumisang a KOECH, Lawrence K. *Formulations, development and characterization techniques of investment casting patterns* [online]. 2019, April, 35(3), 335-349 [cit. 2019-11-28]. DOI: 10.1515/revce-2017-0068. Dostupné z: <https://www-degruyter-com.proxy.k.utb.cz/view/j/revce.2019.35.issue-3/revce-2017-0068/revce-2017-0068.xml>
- [15] Product Information – Recycled Wax. In: *Blayson* [online]. 2019 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <http://www.blayson.com/documents/technicaladvice/Product%20Information%20-%20Recycled%20Wax.pdf>
- [16] HIRST, Richard. *Cost Reduction Through Wax Reclamation: Investment Casting Wax* [online]. [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <http://investment-castingwax.com/downloads/tl3.pdf>

- [27] CAMPBELL, John. *Castings* [online]. 2003. Butterworth - Heinemann [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=8yqaLGr-bIgC&pg=PR4&lpg=PR4&dq=CAMPBELL,+John.+Castings+%5Bonline%5D.+2003.+Butterworth+-+Heinemann&source=bl&ots=CkU-UjZGZ2R&sig=ACfU3U0DExwKxZVPGILe-12XIzc77JC0Qg&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwicvN3hpYjnAhVEPVAKHee6Cm0Q6AEwCHoECAsQAQ#v=one-page&q=CAMPBELL%2C%20John.%20Castings%20%5Bonline%5D.%201991.%20Butterworth%20-%20Heinemann&f=false>
- [38] HORÁČEK, Milan. *Rozměrová přesnost odlitků vyráběných metodou vytavitelného modelu* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009 [cit. 2019-12-20]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/technologie-vytavitelneho-modelu/technologie-vytavitelneho-modelu.pdf>
- [19] Atlas of Wax Pattern Defects. In: *Investment Casting Institute* [online]. [cit. 2019-12-21]. Dostupné z: https://www.investmentcasting.org/uploads/8/1/9/8/81988734/atlas_of_wax_pattern_defects.pdf
- [20] Slévárna přesných odlitků ve Zlíně: *SPO Zlín* [online]. Zlín, 2017 [cit. 2020-02-12]. Dostupné z: <https://www.spo-zlin.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SPO Slévárna přesných odlitků

s. r. o. společnost s ručením omezeným

př. n. l. před naším letopočtem

Obr. Obrázek

MPa Megapascal

apod. a podobně

Tab. Tabulka

tzv. takzvaně

°C stupeň Celsia

% procento

kg kilogram

mm milimetr

g/cm^3 gram na centimetr krychlový

cm centimetr

g gram

s sekunda

Kč Koruna česká

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Perseus a hlava medúzy [3]</i>	11
<i>Obr. 2 Princip technologie ztraceného vosku [4]</i>	12
<i>Obr. 3 Odlitky vyrobené technologií ztraceného vosku [5]</i>	13
<i>Obr. 4 Vstříkovací stroj pro výrobu voskových modelů [5]</i>	13
<i>Obr. 5 Jednotlivé části stromečku [6]</i>	15
<i>Obr. 6 Voskové modely sestaveny do stromečku</i>	16
<i>Obr. 7 Ukázky vosků [9]</i>	17
<i>Obr. 8 Podstata zkoušky tuhnutí [8]</i>	22
<i>Obr. 9 Schéma rotačního viskozimetru [8]</i>	23
<i>Obr. 10 Penetrometr [8]</i>	24
<i>Obr. 11 Tolerance u vybraných metod odévání [17]</i>	25
<i>Obr. 12 Rozměrové změny během výroby odlitku [18]</i>	26
<i>Obr. 13 Ovlivnění typu vosku na rozměr [18]</i>	27
<i>Obr. 14 Závislost tvrdosti vosku na teplotě [18]</i>	28
<i>Obr. 15 Průběh tlaku v dutině formy [18]</i>	29
<i>Obr. 16 Vada typu nezaběhnutí [19]</i>	30
<i>Obr. 17 Vada typu zatekliny [19]</i>	31
<i>Obr. 18 Vada typu zborcení [19]</i>	32
<i>Obr. 19 Vada typu nedodržení rozměrů a hmotnosti [19]</i>	32
<i>Obr. 20 Vada typu trhliny [19]</i>	34
<i>Obr. 21 Vada typu praskliny [19]</i>	35
<i>Obr. 22 Vada typu bubliny [19]</i>	36
<i>Obr. 23 Vývoz odlitků [20]</i>	39
<i>Obr. 24 Voskovna ve slévárně SPO Zlín</i>	40
<i>Obr. 25 Voskové modely připojeny na vtokovou soustavu (stromečky)</i>	41
<i>Obr. 26 Stromečky po obalení</i>	41
<i>Obr. 27 Vyžíhané skořepiny</i>	42
<i>Obr. 28 Gravitační lití do vyžíhaných skořepin</i>	42
<i>Obr. 29 Balení a expedice výrobků</i>	43
<i>Obr. 30 Voskový model Klapka po vystříknutí</i>	53
<i>Obr. 31 Voskové modely Carello a Rameno po vystříknutí</i>	53
<i>Obr. 32 Bubliny vzniklé na voskovém modelu Rameno</i>	54

<i>Obr. 33 Vady na voskových modelech Carello a Klapka</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 34 Nevyhovující voskový model Klapka</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 35 Vyhovující modely Klapka, Rameno a Carello</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 36 Vybrané modely pro vstřikování ze směsi PW 3251</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 37 Porovnání voskových modelů Sperrscheibe a Ključ</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 38 Voskové modely Ključ a Pant horní levý po prvním vystříknutí.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 39 Voskový model Carello před (nahore) a po úpravě parametrů</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 40 Voskový model Rameno před (nahore) a po úpravě parametrů</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 41 Voskový model Klinkenrad před a po úpravě parametrů.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 42 Voskový model Klíč 502</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 43 Voskový model Klapka</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 44 Voskový model Trdlo 2 před a po úpravě parametrů.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 45 Voskový model Sperrscheibe 004 před a po úpravě parametrů.....</i>	<i>67</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Závady při vstřikování a jejich odstranění [6]</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 2 Základní složení modelové hmoty pro vsázku 800 kg.....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 3 Pořadí dávkování jednotlivých složek</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 4 Porovnání směsí SPO Zlín s novými materiály</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 5 Seznam modelů na zkoušku nového vosku</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 6 Nastavení prvotních procesních parametrů</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 7 Úprava procesních parametrů 1</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 8 Úprava procesních parametrů 2.....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 9 Úprava procesních parametrů 3.....</i>	<i>66</i>
<i>Tab. 10 Náklady na 1 kilogram současného vosku.....</i>	<i>68</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P1 CD obsahující diplomovou práci