

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА»

Р.А. ВДОВИН, В.Г. СМЕЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ УСАДКИ ВОСКОВЫХ МОДЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЕЙ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» в качестве методических указаний к лабораторной работе для студентов, обучающихся по программам высшего образования укрупненных групп специальностей и направлений: 24.00.00 – Авиационная и ракетно-космическая техника и 15.00.00 - Машиностроение

САМАРА
Издательство Самарского университета
2017

УДК: 621.74.04

Авторы: Р.А. Вдовин, В.Г. Смелов

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. А.А. Макаров
канд. техн. наук, доц. Е.Г. Демьяненко

Вдовин Р.А.

Исследование усадки восковых моделей, полученных технологией быстрого прототипирования: методические указания к лабораторной работе / Р.А. Вдовин, В.Г. Смелов. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2017. - 43 с.

Методические указания к лабораторной работе направлены на формирование у студентов понимания технологического процесса изготовления восковых моделей с помощью технологии быстрого прототипирования. В лабораторной работе рассматриваются основы определения свободной литейной усадки, методы ее измерения и корректировки проектируемой технологической оснастки на данную величину усадки.

Методические указания к лабораторной работе предназначены для подготовки магистров по направлению 15.04.05 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», (магистерская программа «Инновационное высокотехнологическое производство в машиностроении») с ОАО «Металлист-Самара.

Подготовлены на кафедре технологий производства двигателей.

УДК: 621.74.04

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Цель и задачи работы.....	5
2 Последовательность выполнения работы.....	5
3 Программное обеспечение, оборудование, инструменты и средства измерений.....	6
Теоретическая часть	6
4 Введение. Усадочные свойства материалов	6
5 Физические свойства воскоподобных материалов	12
6 Определение физических свойств модельных составов (восков) ..	15
7 Модельные составы. исходные материалы	19
Практическая часть	31
8 Определение теплофизических свойств модельных составов	31
9 Содержание отчета	35
Контрольные вопросы	36
Заключение.....	37
Библиографический список	38
Приложение 1	39
Приложение 2	40
Приложение 3	41

ВВЕДЕНИЕ

Одна из первостепенных задач совместного взаимодействия конструктора и технолога – максимально приблизить форму и размеры отливки к готовой детали. Работа конструктора и технолога приносит наибольший эффект, если литая деталь проектируется и учитывает особенности конкретного способа литья. Это дает возможность уменьшить отходы металла в стружку, снизить затраты на механическую обработку и удешевить производство деталей и машин в целом.

Настоящее пособие преследует цель помочь студенту в его практике правильно оценивать возможности материалов и их физико-механические свойства при производстве литых деталей, а также усвоить основные элементы конструирования литых деталей.

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы – закрепление теоретических знаний и получение практических навыков по определению литейной усадки восковых деталей, полученных по технологии быстрого прототипирования.

Задачи:

- изучить технологию быстрого прототипирования при изготовлении деталей двигателестроения;
- изучить физико-механические характеристики восковых модельных масс;
- провести исследование по оценке усадочных свойств восковых деталей, полученных по технологии быстрого прототипирования.

2 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить теоретические сведения о физико-механических и усадочных свойств воскоподобных материалов. Рассмотреть классификацию воскоподобных материалов.

2. Изучить специфику технологического процесса изготовления деталей методом быстрого прототипирования.

3. Изучить перечень необходимого оборудования, его достоинства, недостатки и область использования.

4. Произвести изготовление восковых моделей деталей двигателестроения путем заливки расплавленной восковой модельной массы в силиконовую эластичную форму.

5. Произвести измерение геометрических параметров изготовленных восковых моделей с использованием штангенциркуля и координатной измерительной машины. Результаты измерения сопоставить с данными, представленными в приложении 2.

6. Произвести вычисление отклонений геометрических параметров относительно параметров, заданных конструкторской документацией, определить величину литейной усадки.

7. Оформить отчет в соответствии с Приложением 3, сделать выводы по итогам выполнения лабораторной работы.

3 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Программное обеспечение:

– Siemens NX 8.5, Objet Studio, Job Manager.

Оборудование:

– 3D принтер Objet Eden 350.

– Установка WaterJet.

– Установка для вакуумного литья полиуретанов и восковых модельных масс МТТ С4/05.

Инструменты и средства измерений:

– Штангенциркуль цифровой Stainless Hardened (0 – 150 мм).

– Штангенциркуль ШЦ-II (0 – 300 мм).

– Микрометры гладкие МК с диапазоном измерений 0-25, 0-50 и 0-75.

– Координатно-измерительная машина Global Perfomance.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4 ВВЕДЕНИЕ. УСАДОЧНЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Усадкой называется уменьшение объема и линейных размеров объема в процессе ее формирования, а также охлаждения с температуры заливки до температуры окружающей среды. Усадка является одним из важнейших литейных свойств сплавов.

Виды усадки. Для оценки усадки используют понятия: относительная усадка и коэффициент усадки в интервале температур. В зависимости от агрегатного состояния материала различают усадку в жидком, твердо-жидком и твердом состояниях. Полная усадка является суммой этих трех слагаемых. *Основу усадки*

составляет термическое сжатие, которое увеличивается или уменьшается в результате фазовых превращений и изменения растворимости газов. У ряда материалов вблизи от температуры ликвидуса наблюдается увеличение объема, называемое предусадочным расширением.

Для характеристики усадки на различных этапах формирования геометрии детали используют следующие способы ее оценки. *Объемная усадка* – относительное изменение объема материала – используется для характеристики изменения в жидком или твердожидком состоянии, а также для полного изменения объема. *Линейная усадка* оценивает относительное изменение размеров материала с момента перехода ее в твердое или твердожидкое состояние с разрозненными включениями жидкой фазы и твердой наружной коркой. *Литейная усадка* – относительная (в процентах) разность линейных размеров модели и отливки. Она оценивает полное изменение размеров и поэтому наиболее удобна для использования в технологических расчетах и операциях. Литейная усадка зависит не только от свойств и состояния материала, но также от конструкции детали и формы, от технологических условий литья и других факторов. В связи с торможением усадочного процесса формой необходимо различать *свободную* и *затрудненную усадку*, которые численно не совпадают.

Общее уменьшение объема материала в процессе усадки модели дают три составляющие - наружная усадка, усадочная раковина и пористость. *Наружная усадка* - изменение наружных размеров и объема. *Усадочная раковина* - полость в теле модели или прибыльной части, образующаяся вследствие некомпенсированной объемной усадки при затвердевании. Различают внутренние раковины; образующиеся обычно в тепловых узлах, и наружную раковину, которая может быть открытой или закрытой (т.е. под коркой металла). Размер усадочной раковины зависит от усадочных

свойств материала, условий формирования модели и технологических условий литья. *Усадочная пористость* – скопление мелких пустот, возникающих в изолированных микрообъемах модели, обычно в междоузльных пространствах дендритов, в условиях отсутствия питания жидким материалом. Различают *рассеянную пористость*, распределенную более или менее равномерно по всему объему модели и *зональную пористость, сосредоточенную* в осевых частях, в тепловых узлах и других частях отливки.

Формирование пористости при затвердевании материала идет параллельно с процессом выделения газов, которые заполняют поры и могут создавать в них значительное давление. В связи с этим в реальных условиях пористость в большинстве случаев имеет газоусадочный характер. Развитие усадочных дефектов и их, распределение в модели зависит от взаимодействия факторов, отражающих усадочные свойства материала, а также тепловые и кинетические условия формирования геометрии модели.

Склонность материала к образованию усадочных дефектов определяется на технологических пробах, имеющих форму усеченного конуса или шара. Конфигурация и размеры проб ГОСТом не регламентируются.

Если говорить об отливках, то линейная усадка цветных металлов и сплавов определяется согласно [1, 6, 7] путем отливки пробы в сухую песчаную или металлическую (полукокильную) форму. Проба представляет собой призматический образец сечением 25 x 25 мм и длиной 130 мм с выемками с обоих концов. В результате усадки при затвердевании образец перемещает подвижную часть формы, что фиксируется стрелочным индикатором.

Линейная усадка большинства сплавов колеблется в пределах 0,7 – 2,2 % (углеродистой стали 1,2 – 2,2 %, серого чугуна 0,7 – 1,3 %, силумина 1 – 1,2 %, магниевых сплавов 1 – 1,6%, бронзы 1 – 1,5 %).

Образование усадки. Исследованиями А.А. Бочвара установлено, что в материалах, кристаллизующихся в интервале температур, *линейная усадка проявляется после образования в отливке твердого кристаллического скелета* когда, несмотря на наличие остаточного количества жидкости, в целом модель ведет себя как твердое тело. В зависимости от формы первичных кристаллов, степени развития и разветвленности дендритов количество твердой фазы, при котором формируется твердый скелет, колеблется в очень широких пределах – от 20 до 80 % от общего объема материала. Соответственно на диаграмме состояния может быть нанесена *линия образования твердого скелета* (ЛОТС), которая располагается возле границы выливаемости, несколько ниже ее (рисунок 1). При достижении температуры образования твердого скелета материал с технологической точки зрения переходит в твердое состояние и в нем может оцениваться линейная усадка; при температуре выше $T_{ск}$ усадочные процессы возможно оценивать только объемной усадкой. Температура $T_{ск}$ делит температурный интервал кристаллизации на две области: эффективный интервал кристаллизации и эффективный интервал затвердевания.

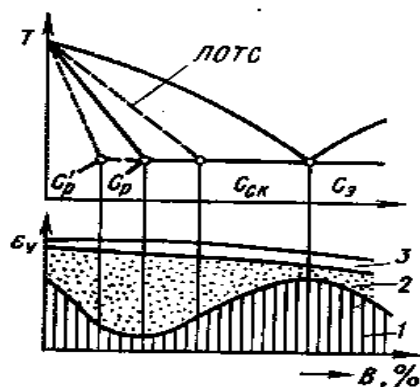


Рисунок 1 – Распределение объемной усадки между усадочной раковиной (1), пористостью (2) и наружной усадкой (3) в материалах эвтектической системы (по данным А. А. Бочвара)

Формирование усадочной раковины происходит главным образом в интервале температур после образования сплошной твердой корки на поверхности модели, а формирование усадочной пористости – большей частью в интервале при затрудненности питания междуосных пространств дендритов. Таким образом, развитие усадочных дефектов того или иного типа оказывается непосредственно связанным с положением фигуративной точки материала на диаграмме состояния относительно точек S_r , S'_r и S_α а также S_{sk} .

Впервые общая схема распределения усадочных пустот между раковинной и порами, в зависимости от $T_{кр}$ была приведена в работах А.А. Бочвара. Последующие исследования уточнили зависимость с учетом положения ЛОТС (или точки S_{sk}) и неравновесного солидуса. *Максимум развития пористости фиксируется при концентрациях вблизи точек S_r или S'_r (см. рисунок 1).*

В целом картина аналогична изменению положения минимума жидкотекучести в зависимости от концентрации S_r . Общий вывод заключается в следующем: *широкоинтервальные материалы склонны к образованию усадочной пористости, в узкоинтервальных материалах усадочные изменения объема сосредоточены в усадочной раковине.*

По наблюдениям Б. Б. Гуляева, при смещении технологических границ сплава (ЛОТС и расположенной ниже ее границы питания) к ликвидусу, зона осевой пористости в моделях сужается, но рассеянная пористость может увеличиваться. При смещении технологических границ к солидусу зона осевой пористости может расширяться, но общий объем всех видов пористости должен уменьшаться.

В сложных многокомпонентных материалах распределение усадочных пустот и изменение, в общем, подчиняется рассмотренным выше зависимостям.

Влияние технологических факторов на усадку. *Перегрев материала перед заливкой* влияет на все виды усадки вследствие увеличения разности объемов жидкого (при Тзал.) и твердого металлов и изменения кинетики роста первичных выделений дендритов. Обычно отмечают увеличение объема усадочной раковины при одновременном возрастании пористости и грубозернистости (в этом заключается одна из причин, заставляющих ограничивать перегрев материала перед заливкой).

Скорость охлаждения материала изменяет его кристаллическое строение – форму, размеры и разветвленность дендритов, а также размер структурных составляющих. Вследствие этого с увеличением скорости охлаждения возрастает плотность материала, увеличивается объем усадочной раковины (за счёт сокращения пористости), несколько возрастает линейная усадка. большое значение имеет также направленность затвердевания отливки. При правильном построении этого процесса практически все усадочное изменение объема может быть сведено к наружной усадке или усадочной раковине.

Внешнее давление оказывает сильное влияния на перераспределение, усадочных пустот между порами и раковинной. Кристаллизация при повышенном давлении используется как технологический прием для снижения пористости и повышении плотности и герметичности моделей; наружная усадка при этом несколько возрастает.

Газонасыщенность материала (в основном металла) обычно приводит к резкому увеличению пористости (газовой и газосадочной) при одновременном уменьшении размеров усадочной раковины снижается также линейная усадка. Повышенное газосодержание резко ухудшает комплекс свойств материала и модели и поэтому недопустимо.

5 ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОСКОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ

К группе воскоподобных материалов среди прочих относятся парафин и восковые модельные массы. Воск — смесь сложных жиров, у которых нет четкой кристаллической структуры и, соответственно, многие физико-химические свойства такого материала не поддаются строгой взаимосвязи с внутренним строением [6, 8]. Парафин — это продукт, представляющий собой массу, состоящую из углеводородов предельного ряда и имеющий белый или желтоватый цвет, в зависимости от наличия в ней масел и смол [7, 9, 10]. В отличие от восковой массы, парафин относят к минеральным воскам. В связи с этим важным является изучение физических свойств воскоподобных материалов. Для этого необходимо решить следующие задачи: определить температурные характеристики парафина и модельного воска (скорость охлаждения, точка затвердевания); определить температуру плавления воскоподобных веществ; исследовать структуру поверхности методом микроскопии и определить параметры шероховатости образцов; проанализировать полученные данные и определить взаимосвязи «структура поверхности-свойства». Для определения скорости охлаждения воскоподобных материалов и точки их твердения использовался прибор Vernier Lab Quest с датчиком температуры (точность измерения 0,1 °C). Полученные данные экспортировались в Microsoft Office Excel (рисунок 2).

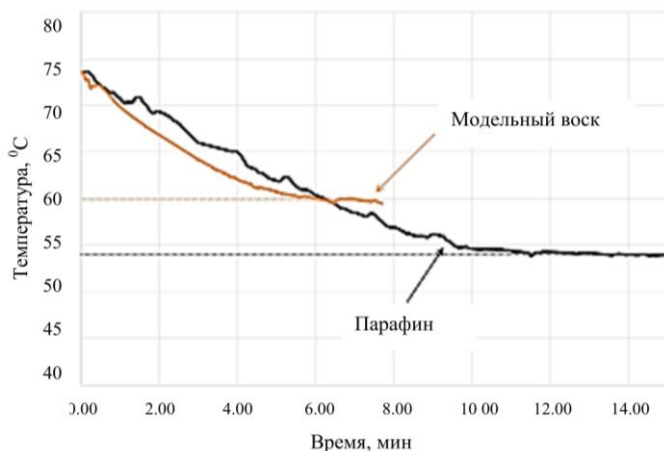


Рисунок 2 – Кривые охлаждения воска и парафина

Для исследования образцов в микроскопе Nanoeducator-II использовались две методики: на стекло помещался небольшой кусочек воска или парафина и с помощью пламени стекло подогревалось снизу до полного расплавления, затем пламя убиралось и воскоподобный материал застывал. Второй способ заключался в предварительном нагреве воска или парафина и помещении горячей капли на стекло. Как показали дальнейшие исследования оба способа дают практически идентичные результаты. Определение параметров шероховатости по результатам проводилось в программе NT-MDT Image Analysis 3.5 по среднеарифметическому отклонению профиля Sa.

Полученные данные по затвердеванию образцов показали (рисунок 3), что парафин имеет точку твердения примерно 53–54 °C, а модельный воск несколько выше — около 59–60 °C. При этом скорость охлаждения у парафина ниже (1,9 град/мин), чем у воска — 2,2 град/мин.

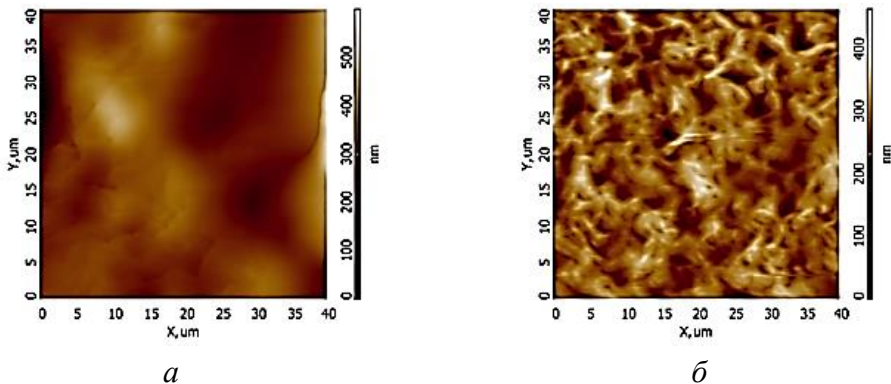
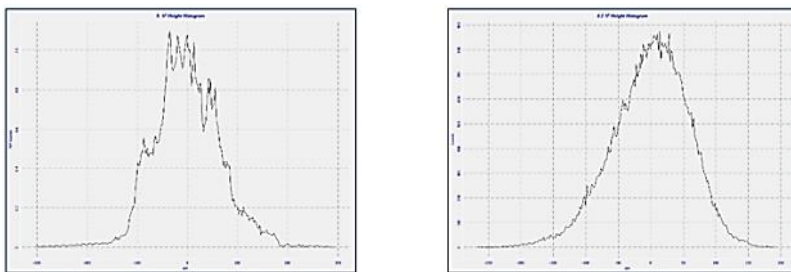


Рисунок 3 – Изображения поверхности парафина (*а*) и модельного воска (*б*)

Анализ данных по топографии поверхности показал, что структура поверхности воскоподобных материалов заметно отличается. Парафин (рисунок 3, *а*) твердеет с образованием характерных «ступеней» по краям относительно больших образований (примерно 20–30 мкм в поперечном сечении). Структура модельного воска более мелкая (рисунок 3, *б*), с плавными перепадами. Возможно, это указывает на более быстрое охлаждение (твердение) данного типа воска, что согласуется с данными температурных зависимостей. Иными словами, модельный воск быстрее застывает на поверхности, не успевая образовать относительно крупные части. В тоже время парафин застывает медленнее до более низкой температуры твердения, образуя крупные скопления ступенчатой формы по краям [4, 5].

Расчет средней шероховатости поверхности показал (рисунок 4), что на микроуровне различить поверхность воскоподобных материалов практически невозможно, необходимо учитывать наномасштаб. Таким образом, установлено, что для минерального (парафина) и модельного воска характерные температуры твердения отличаются примерно на 5–7 °С. При этом также различны скорости

охлаждения до этих температур: 1,9 град/мин для парафина и 2,2 град/мин для модельного воска. А также структура поверхности затвердевшего парафина имеет характерные «ступеньки» твердения, что согласуется с более низкой температурой твердения и скоростью охлаждения. Модельный воск имеет на своей поверхности более развитую структуру с большим количеством перепадов.



a

б

Рисунок 4 – Гистограммы шероховатости поверхности:

a – парафин ($R_a = 51,6$ нм), *б* – воск ($R_a = 46,3$ нм)

6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ (ВОСКОВ)

Для определения свободной линейной усадки из испытуемого модельного состава (воска) необходимо изготовить образцы путем запрессовки модельного состава в металлическую (алюминиевую) пресс-форму. Образец имеет форму бруса квадратного сечения с размерами 10x10x150 мм (рисунок 5).

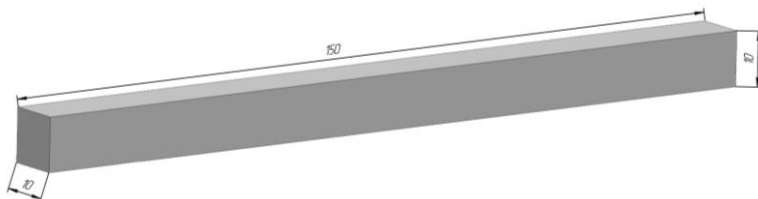


Рисунок 5 – Модель образца для исследований

Температура пресс-формы в момент запрессовки модельных составов необходимо поддерживать в пределах 26...28 °С. Расплавление модельного состава производят на водяной бане. Запрессовку восковых модельных составов производят на пневмопрессе. Давление прессования составляло 3,5-4,0 атм. Время выдержки под давлением 1-2 мин. Затем производили изготовление 4-5 образцов из восковых модельных составов.

Изготовление образца из МОН-ЮК производят свободным заливом. Извлеченные из пресс-формы образцы охлаждали на воздухе, температура хранения образцов составляла 17...19 °С. Замер длин образцов проводится с помощью штангенциркуля.

Расчет величины свободной линейной усадки α_l проводили по формуле (1):

$$\alpha_l = (l_n - l_{\text{ОБ}}) / l_n; \quad (1)$$

где l_n – размер (длина) рабочей полости пресс-формы, мм;

$l_{\text{ОБ}}$ – длина образца после его охлаждения, мм.

С целью установления времени полной полимеризации модельных составов замер длины образцов производили через 1, 24, 48, 72 часа после запрессовки. Было установлено, что время полимеризации модельных составов (восков) составляет 24 часа – прекращается изменение длины образцов. На основании изложенного, замер длины образцов производили через 1 час после запрессовки и через 24 часа. Общий вид образцов представлен на рисунке 6.

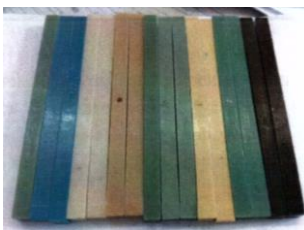


Рисунок 6 – Общий вид образцов для определения свободной линейной усадки

Значения свободной линейной усадки через 1 час и через 24 часа после запрессовки представлены в таблице1.

Таблица 1 – Свободная линейная усадка модельных составов (восков)

Модельный состав (воск)	Свободная линейная усадка ам, %	
	через 1 ч после запрессовки min-max (среди.)	через 24 ч после запрессовки min-max (среди.)
КПЦ-1Б	0,67-0,87 (0,77)	0,8-1,0 (0,92)
ППК	0,87-1,07 (0,96)	1,0-1,2 (1,13)
ЗГВ-101	1,5-2,1 (1,9)	1,87-2,13 (2,0)
ЗГВ-101М (60/40)	1,0-1,24 (1,12)	1,0-1,27 (1,17)
МОН-ЮК	0,13-0,2 (0,19)	0,13-0,4 (0,21)
Blayson A7- LMP/215/М (синяя)	0,73-0,80 (0,77)	1,07-1,3 (1,18)
Blayson A7-FRD /15/Т (зеленая)	1,27-1,3 (1,29)	1,4-1,6 (1,5)
Remet GTS	0,67-1,33 (1,1)	0,93-1,3 (1,2)
Remet GTW	1,2-1,33 (1,28)	1,27-1,47 (1,39)
Kindt Collins F28	0,60-1,0 (0,75)	0,6-1,13 (0,83)
Салют-1	1,8-2,0 (1,9)	1,9-2,33 (2,10)
Салют-3	1,33-1,7 (1,46)	1,47-1,87 (1,67)
Салют-4	1,33-1,47 (1,37)	1,47-1,67 (1,6)

Затем необходимо определить температуру каплепадения согласно [2, 3] - минимальную температуру, выше которой наблюдается наиболее полное удаление модельного состава из

керамической оболочки.

Значения линейной усадки модельных составов через 24 часа после запрессовки и температуры каплепадения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физические свойства модельных составов (восков)

М-1Б модельный состав (воск)	Физические свойства	
	Свободная линейная усадка a_m , % min-max (среди.)	Температура каплепадения, °С
КПЦ	0,8-1,0 (0,92)	85,8
ППК	1,0-1,2 (М3)	88
ЗГВ-101	1,87-2,13 (2,0)	85,3
ЗГВ-101М (60/40)	1,0-1,27 (М7)	91
МОН-ЮК	0,13-0,4 (0,21)	-
Blayson A7-LMP/215/М (синяя)	1,07-1,3 (1,18)	62
Blayson A7-FRD /15/Г (зеленая)	1,4-1,6 (1,5)	84
Remet GTS	0,93-1,3 (1,2)	73
Remet GTW	1,27-1,47 (1,39)	78
Kindt Collins F28	0,6-1,13 (0,83)	64,8
Салют-1	1,9-2,33 (2,10)	63
Салют-3	1,47-1,87 (1,67)	89
Салют-4	1,47-1,67 (1,6)	87,5

Выводы:

1. Для моделей с размерами до 150 мм рекомендуется применять средние значения усадки; для моделей с размерами свыше 150 мм - максимальные значения усадки.

2. С целью определения способа выплавления модельного состава, а также более полного удаления из керамической оболочки, необходимо что бы модельный состав обладал температурой каплепадения более низкой по сравнению с температурой выплавки данного состава выбранным способом удаления (удаление в бойлерклаве, «масса в массе», выплавка в воде).

Заключение:

Значениями свободной линейной усадки модельных составов (таблица 2) руководствоваться при выдаче заказа на проектирование пресс-форм.

7 МОДЕЛЬНЫЕ СОСТАВЫ. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Парафин - смесь углеводородов предельного ряда с общей формулой $C_nH_{(2n+2)}$, продукт возгонки нефти, бурого угля и горючих сланцев. Предоставляет собой белую массу с кристаллической структурой. Парафин придает моделям пластичность и устойчивость к образованию трещин. Он наиболее дешевый и недефицитный компонент модельного состава. К недостаткам парафина относятся: невысокая прочность, превышающих 28 °С, вспениваемости в расплавленном состоянии. Парафин хорошо сплавляется со стеарином при температуре 70-80 °С и буроугольным воском - при 100-110 °С.

Стеарин - смесь жирных кислот, продукт переработки растительных и животных жиров. Представляет собой аморфную беловато-желтую массу. Стеарин повышает теплостойкость и прочность моделей. Это дефицитный и дорогой материал (в 8 раз

дороже парафина). Недостатками стеарина являются взаимодействие с этилсиликатом и омыление в воде.

Буроугольный воск - смесь воска, смолы и асфальтоподобных веществ, продукт переработки битумного бурого угля. Представляет собой однородную массу темно-бурого цвета. Служит основным заменителем стеарина. Буроугольный воск обладает высокой прочностью и твердостью, значительной хрупкостью, способствует образованию твердой блестящей поверхности модели. Недостатком буроугольного воска является его коксующесть в процессе выжигания в керамической форме при недостатке кислорода.

Церезин - смесь твердых высокомолекулярных углеводородов метанового ряда, получаемая в результате переработки и очистки озокерита или петролатума. Это - амфорная светло-желтого цвета. Недефицитный материал. Церезин обладает более высокой пластичностью и теплостойкостью, чем парафин и стеарин. Недостатки церезина - значительная линейная усадка, невысокие прочность и твердость. Церезин хорошо сплавляется с парафином и стеарином при температуре 70-80 °С, с буроугольным воском - при 100-110 °С, с канифолью - при 140 °С.

Кубовый остаток крекинга парафина - смесь высокомолекулярных предельных и непредельных углеводородов. Используется как пластификатор (повышает пластичность и упругость). При введении в модельный состав более 8% кубового остатка уменьшает теплостойкость и прочность.

Этилцеллюлоза - разновидность простых эфиров целлюлозы. Это мелкокристаллический белый или светло-желтый порошок. Этилцеллюлоза применяется как пластификатор и упрочнитель парафиностеариновых составов, а также составов с канифолью и церезином. Содержание этилцеллюлозы в модельном составе не должно превышать 5 %, иначе модельный состав будет прилипать к

оснастке. Этилцеллюлоза хорошо смешивается с жидким стеарином, но не сплавляется с парафином.

Торфяной воск - смесь высокомолекулярных углеводородов, продукт обработки торфа различными растворителями. По сравнению со стеарином и парафином торфяной воск обладает более высокой прочностью и теплостойкостью. К недостаткам торфяного воска относятся хрупкость, повышенная вязкость в расплавленном состоянии.

Полиэтилен - синтетическое высокомолекулярное соединение, получаемое полимеризацией этилена $(\text{CH}_2 - \text{CH}_2)_n$ под давлением (120-250 Мпа). Полиэтилен увеличивает термостойкость и прочность парафина в 1,5-2 раза. Недостатки полиэтилена - значительная усадка (до 3 %), повышенная вязкость в расплавленном состоянии, снижающая жидкотекучесть модельного состава. Полиэтилен хорошо сплавляется со стеарином и канифолью.

Канифоль состоит в основном из смоляных кислот. Это - хрупкая стекловидная масса. Применяется для придания модельным составам повышенной прочности и термостойкости. При большом содержании канифоли в модельном составе, он приобретает хрупкость, прилипает к оснастке, утрачивает технологические свойства при многократном использовании.

Полистирол - термопластичный материал, получаемый полимеризацией стирола. Используется не только в качестве самостоятельного материала для изготовления моделей, но и как компонент модельного состава, повышающий его теплостойкость и механическую прочность. Модель из полистирола плохо удаляется из керамических оболочек.

Пенополистирол - термопластичный материал в виде гранул, получаемый суспензионной полимеризацией стирола $(\text{C}_6\text{H}_5 - \text{CH}=\text{CH}_2)$ - в присутствии летучего пенообразователя. Является исходным материалом для изготовления моделей.

Карбамид - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ техническая мочеви́на - кристаллический материал, получаемый путем нагрева аммиака и углекислого газа при температуре 150 °С и давлении 450 МПа. При нагреве карбамид не проходит стадию размягчения. Является основным компонентом, растворяемых в воде модельных составов. Обеспечивает малую линейную усадку и высокую прочность модели.

Борная кислота - блестящие чешуйки или бесцветные мелкие кристаллы - является компонентом растворимого в воде модельного состава.

В таблице 3 представлены основные свойства исходных материалов.

Таблица 3 – Основные свойства исходных материалов

Материал	Плотность, г/см ³	Температура плавления, °С	Линейная усадка, %	Прочность при сжатии, МПа
Парафин технический	0,90-0,95	50-51	0,3-1,0	0,4-0,5
Стеарин дистиллированный	0,90-0,97	50-56	0,7-1,5	0,4-0,6
Буроугольный воск	1,00-1,03	82-90	0,8-1,3	-
Церезин	0,91-0,94	67-100	-	-
Кубовый остаток крекинга	-	35	-	-
Этилцеллюлоза	1,00-1,20	160-180	-	14
Торфяной воск	-	65-67	-	-
Полиэтилен	0,92-0,95	104-115	2,0-3,0	12-16

Продолжение таблицы 3

Канифоль сосновая	1,00-1,20	66-73	-	-
Полистирол блочный	1,05-1,07	280-300	0,2-0,4	0,4-0,7
Пенополистирол	0,06-0,10	-	0,3-0,4	0,4-0,7
Карбамид (мочевина)	-	129-134	-	-

Примечание. Зольность (массовая доля остатка материала после удаления модели и прокаливании формы) исходных материалов в пределах 0,05-0,01% (не более). Зольность полиэтилена доходит до 0,10%.

Требование к модельным составам.

Модельные составы должны отвечать следующим требованиям: хорошо заполнять полости пресс-форм и четко их воспроизводить; не вступать во взаимодействие с материалами пресс-форм и огнеупорных покрытий; не прилипать к поверхности пресс-форм, инструменту и рукам рабочего; хорошо смачиваться огнеупорной суспензией; обладать после затвердевания прочностью и твердостью, достаточными для того, чтобы исключить повреждения моделей; иметь малую и стабильную усадку и соответственно малое расширение при повышенных температурах, чтобы исключить растрескивание керамической оболочки; сохранять свои свойства при всех технологических операциях, причем при многократном использовании; не выделять газов и паров при нагревании и сгорании.

Желательно, чтобы температура плавления модельного состава была в пределах 60-100 °С, тогда его будет проще удалить из керамической оболочки. Температура начала размягчения должна

превышать максимальную положительную температуру воздуха в рабочих помещениях на 10-15 °С и составлять примерно 35-40 °С.

В машиностроении наибольшее распространение получили модельные составы четырех групп.

К первой группе относятся модельные составы, представляющие собой сплав воскоподобных материалов, содержащий в ряде случаев улучшающие добавки. Основными компонентами составов этой группы являются парафин, стеарин, церезин, буроугольный и торфяной воск, сложные эфиры высших кислот. В качестве добавок, повышающих пластичность, прочность, теплостойкость, используют этилцеллюлозу, кубовый остаток крекинга парафина, полиэтилен и др. (таблица 4).

Таблица 4 – Основные свойства модельных составов на основе воскоподобных материалов

Марка стали	Температура каплепадения, °С	Температура начала размягчения, °С	Линейная усадка, %	Прочность при изгибе, МПа	Зольность, %
ПС 50-50	53	30	0,8-1,0	1,8-2,0	0,003-0,10
ПЦБК 70-12-13-5	80	33	0,7-0,9	3,6-3,7	0,05-0,03
ПБС 60-25-15	74	35	0,6-1,0	2,4-4,0	0,08-0,12
ПБТТ 25-35-35-5	75	35	0,9-1,4	4,7-5,0	0,15-0,30
ПЦБ 62-25-13	75	32	-	3,4	0,10
ПЦП 67-25,5-7,5	77	43	0,7-1,0	6,3	0,02

В маркировке модельных составов буквы обозначают наименования компонентов: П - парафин; С - стеарин; Ц - церезин; Б - буроугольный воск; Ко - кубовый остаток крекинга; Т - торфяной воск; Тр - триэтаноламин; Пс - полистирол; Пэв - полиэтиленовый воск; Кб - карбамид; Бк - борная кислота; Нк - нитрат калия; К -

канифоль; Св - сибирский воск. Цифры в маркировке указывают массовую долю (%) компонентов в составе.

Во вторую группу входят модельные составы на основе натуральных и синтетических смол, термопластов (например, полиэтилена, полистирола) с добавками воскообразных материалов (церезина, парафина и др.) От составов первой группы они отличаются более высокой прочностью и теплоустойчивостью. Однако высокая температура плавления ограничивает выбор технологического оборудования. Например, модели не выплавляются в горячей воде. Характерным составом второй группы является КПЦ 50-30-20 с температурой каплепадения 140 °С.

Третья группа включает водорастворимые модельные составы на основе карбамида, азотных и азотокислотных солей щелочных металлов. Поливинилового спирта и других материалов, плавящихся при температуре не выше 350 °С. Эти составы обладают малой усадкой (около 0,20%), высокой прочностью, хорошо растворяются в воде. Их недостатки - хрупкость и гигроскопичность. Наиболее распространены составы КБ 98-2 и КН 90-10.

К четвертой группе относятся выжигаемые модельные составы. Наибольшее распространение получил вспенивающийся полистирол ПСВ - ЛД. Плотность изготовленных из него моделей составляет 0,24-0,30 г/см³, прочность при изгибе - 10-14 МПа, усадка - 0,2-0,3%.

Изготовление пресс форм

При тиражировании отливок пресс-формы изготавливают по так называемой мастер - модели, которая является копией авторского оригинала. Существует несколько суспензий гипса; отверждение пластмассы; нанесение на мастер - модель металлического слоя электролитическим способом. Если мастер - модель выполнена из металла, пресс-форму можно изготовить заливкой мастер - модели более легкоплавким металлом.

Поскольку отливка, как правило, имеет очень сложную поверхность наилучшим материалом для пресс-форм являются различные герметики типа виксинта или формопластов.

Первоначально на мастер - модели намечают линию разъема будущей пресс-формы. Затем мастер - модели заформовывают обычным способом до намеченной линии разъема и вставляют в фиксирующие штифты со втулками. Устанавливают нижнюю опоку со вставленным в нее корпусом пресс-формы и заливают сплав. Отлитую половину пресс-формы переворачивают, устанавливают верхнюю опоку с корпусом пресс-формы и заливают сплав.

Аналогичным способом изготавливают гипсовые и пластмассовые пресс-формы.

Для изготовления пресс-форм методом электролиза необходимо, чтобы мастер - модель имела конфигурацию, технологичную для гальванопластических операций. Полученную этим методом металлическую коронку заливают гипсом или сплавами алюминия.

Изготовление моделей и модельных блоков.

Основным способом изготовления моделей из легкоплавких составов является запрессовка пастообразной массы в рабочую полость пресс-формы. Для этого используются ручные шприцы, шприц - машинки с ручной запрессовкой, механические, гидравлические и пневмические прессы.

Модели из парафино - полиэтиленового состава, а также составов на основе буроугольного воска изготавливают на установках с подогревом шлангов из-за повышенной вязкости этих модельных составов.

Модели из вспенивающегося полистирола получают, как правило, на термопластавтоматах.

Модели мелких изделий компонуют в модельные блоки путем припаивания модели к литниковым системам вручную электропаяльником, нагретым до 100-130 °С .

Литниково - питающие системы конструируют таким образом, чтобы обеспечить спокойное заполнение формы металлом, удобство нанесения огнеупорного покрытия на поверхность модельного блока, а при формовке - заполнение наполнителем всех промежутков между отдельными элементами и предотвращение их поломки.

Изготовление форм

В качестве огнеупорной основы формовочных смесей применяют кварцевый песок, пылевидный кварц, плавленый кварц, электрокорунд, циркон, дистен-силлиманит, шамот, магнезит, графит. Связующими материалами служат этилсиликат, жидкое стекло, гипс.

Приготовление этилсиликатной суспензии. Для приготовления этилсиликатной суспензии рекомендуется использовать установки. У которых частота вращения крыльчатки составляет до 2500 мин-1. На практике суспензию иногда готовят вручную, если к качеству поверхности отливки не предъявляется высоких требований.

Этилсиликатную суспензию готовят двумя способами - раздельным и совмещенным.

При раздельном способе предварительно готовят гидролизованный этилсиликат, затем в него вводят огнеупорную составляющую при постоянном перемешивании. Суспензию выдерживают в течении получаса до полного удаления из нее пузырьков замешанного воздуха.

При использовании совмещенного метода в этилсиликат сначала вводят, непрерывно перемешивая, растворитель (гидролизный спирт, ацетон или изопропиловый спирт). Затем всыпают часть (0,7-0,8 от общего количества) огнеупорного материала и перемешивают в течении 10-15 мин. Далее вливают воду, подкисленную соляной или

азотной кислотой, продолжая перемешивать в течении 30-40 мин. Наконец, добавляют оставшуюся часть огнеупорного материала и специальные добавки (глицерин, борную кислоту и др.), перемешивают еще в течении 10-15 мин.

Приготовление жидкостекольной суспензии. Для приготовления жидкостекольной суспензии в жидкое стекло добавляют сначала огнеупорную глину (глинозем или шамот, а затем пылевидный кварц. Огнеупорные составляющие вводят при непрерывном перемешивании в течении часа. Для улучшения технологических свойств в суспензию иногда добавляют 4% веретенного масла. Готовую суспензию выдерживают в течении 5-8 мин до удаления пузырьков воздуха.

Приготовление гипсовой массы. Жидкую гипсовую массу для форм, в которые заливают алюминиевые и магниевые сплавы готовят обычно в смесителях пропеллерного типа. В воду предварительно вводят замедлитель схватывания (0,15-0,30% от массы сухой смеси).

Если форма предназначена для литья магниевых сплавов, добавляют также 1% борной кислоты для предотвращения загорания магния при заливке. Кислота, кроме того, замедляет схватывание гипса.

Нанесение огнеупорного покрытия на модель

Перед нанесением огнеупорного покрытия модель обезжиривают 1,5 % - ным водным раствором нейтрального мыла, соды или олеиновой кислоты и т.п.

Огнеупорное покрытие наносят на модель путем однократного погружения в суспензию, или двух-, или трехкратного с интервалами 10-25 с для сушки очередного слоя на воздухе. Модельный блок после последнего погружения в суспензию обсыпают зернистым огнеупорным материалом. Если предусмотрено вытапливание модели в горячей воде, жидкостекольное покрытие закрепляют 18 %

- ным водным раствором хлористого аммония, подкисленного 0,3 % соляной кислоты. Для закрепления покрытия модель после нанесения очередного слоя погружают в бачок с закрепителем на 40-90 с.

При изготовлении комбинированных форм для получения отливок из цветных сплавов модель погружают в подготовленную быстротвердеющую гипсовую массу и выдерживают в ней до затвердевания массы.

Сушка огнеупорного покрытия

Для формирования керамической оболочки огнеупорное покрытие подвергают воздушной, воздушно-аммиачной и вакуумно-аммиачной сушке.

Как показывает практика, огнеупорное покрытие на основе этилсиликата можно высушить на воздухе за 4-10 ч. Продолжительность сушки зависит от числа нанесенных слоев, от размеров и сложности модели. Продолжительность воздушно-аммиачной сушки составляет 1,0-3,5 ч, вакуумно-аммиачной сушке - 15-30 мин.

Для сушки моделей в аммиачных шкафах берут 1,5-2,0 л аммиачной воды плотностью 0,89-0,95 г/см³ на 1м³ объема сушильного шкафа. Температура в шкафу составляет 18-25 °С.

Комбинированные покрытия, включающие два или три упрочняющих жидкостекольных слоя, сушат на воздухе в течении 5-6 ч. Причем температура сушки составляет 22-28 °С для этилсиликатного слоя и 22-31 °С для жидкостекольного.

Ускоренную сушку комбинированных форм, основанную на взаимном закреплении чередующихся этилсиликатного и жидкостекольного слоев, производят потоке воздуха со скоростью 4-5 м/с при температуре 25-28 °С в течении 1,5-2.

Удаление модельного состава из керамических оболочек

Модельный состав из керамических оболочек может удаляться несколькими способами, а именно: выплавлением (легкоплавкие модельные составы), растворением (составы на основе карбамида и пенополистирола) или выжиганием (блочный полистирол и пенополистирол).

Выплавление. Легкоплавкие модели выплавляют в горячей воде, в расплавленном модельном составе той же марки, горячим воздухом в камерных электрических печах, в паровой камере, в автоклаве.

Удаление моделей в горячей воде обычно производят в специальных емкостях при температуре 96-98 °С. Возврат модельного состава при этом составляет 90-95 %. Керамические оболочки после удаления моделей подсушивают на воздухе не менее 3 ч или в сушильном шкафу при 110-150 °С в течении 1-2 ч.

Удаление моделей в расплавленном и перегретом (на 30-40 °С) модельном составе той же марки обеспечивает некоторое упрочнение оболочек, но при этом увеличивается расход модельного состава (возврат составляет менее 70 %).

Выплавление модельного состава горячим воздухом производят в специальных установках при температуре 120-200 °С в течении 10-20 мин. Возврат модельного состава при этом равен 80-90 %.

При использовании камерных сушил удаление моделей продолжается 6-8 ч при температуре 110-120 °С.

Растворение. Модели из пенополистирола растворяют в толуолоацетоновом растворителе (1:1) от 15 мин до нескольких часов, в зависимости от плотности материала.

Выжигание. Модели из блочного полистирола выжигают обычно в печах, прокаливая при температуре 950-980 °С.

Модели из гипсовых форм выплавляют обычно в паровой камере под давлением 0,025 Мпа в течении 3-4 ч. Возврат модельной массы составляет 90 %.

Прокаливание формы

После удаления модельного состава керамическую оболочку готовят к заливке металла. Возможны несколько вариантов. Если оболочка достаточно прочна, ее прокаливают и ставят под заливку. Если прочность оболочки недостаточно высока, чтобы исключить растрескивание при заливке, ее заформовывают в опоки из жаростойкой стали и засыпают сухим наполнителем: кварцевым песком, отходами керамических покрытий, шамотом, магнезитом и др. иногда используют жидкий наполнитель с цементом, иногда ограничиваются применением "пробки" на сухом наполнителе.

Чтобы удалить остатки модельного состава и завершить формование керамики, опоки с помещенными в них оболочками прокаливают в электрических или газовых камерных печах. Желательно оболочки на основе кварца, электрокорунда прокаливать при температуре 1200-1300 °С в течении 10-30 мин. Если температуру снизить до 900 °С, продолжительность прокаливания увеличивается на несколько часов.

Гипсовые формы для литья алюминиевых сплавов рекомендуется прокаливать при температуре до 600 °С в течении 3-12 ч, для литья медных сплавов - при температуре до 700 °С в течении 5-20 ч, для литья магниевых сплавов - при температуре до 500 °С в течении 12-15 ч.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ

Относительное изменение линейных и объемных размеров отливки по сравнению с размерами модели, по которой изготавливается литейная форма, называется литейной усадкой.

С усадкой связано образование ряда литейных дефектов: усадочных раковин и усадочной пористости, внутренних напряжений, коробления отливок, искажение размеров отливки горячих и холодных трещин. Величину литейной усадки необходимо учитывать при разработке литейно-технологических указаний на изготовление отливки и изготовлении модельной оснастки, по которой будет изготавливаться литейная форма. В такой литейной форме каждый размер будет больше на величину литейной усадки. Однако при кристаллизации и последующем охлаждении металла отливки произойдет усадка и размер отливки будет соответствовать чертежу. Определить усадку расчетным путем невозможно, так как усадка является величиной непостоянной, зависящей от многих факторов: от химического состава сплава, степени перегрева сплава, конструкция отливки, плотности набивки формы, жесткости стержней, условий заливки и конструкции литниковой системы, состояние формы во время заливки и затвердевания.

Из приведенного перечня факторов, влияющих на усадку, видно, что определение точных размеров модели с учетом усадки представляет существенные трудности, а точное определение усадки возможно лишь опытным путем.

Уменьшение объема при затвердевании и охлаждении отливки называется объемной усадкой, а уменьшение линейного размера при затвердевании и охлаждении называется линейной усадкой.

Объемную усадку выражают в процентах по отношению к разности между объемом полости формы и объемом готовой отливки к объему последней. Приблизительно можно считать, что линейная усадка в 3 раза меньше объемной.

Наибольшее практическое значение имеет линейная усадка. Усадка состоит из трех составляющих: усадка при охлаждении сплава от температуры разливки до температуры затвердевания; усадка при затвердевании; усадка при охлаждении сплава от температуры

затвердевания до комнатной. Чем больше каждая из этих величин, тем больше общая усадка. Следовательно, с увеличением температуры заливки (для повышения жидкотекучести) увеличивается усадка.

Усадку различают затрудненную и свободную. Если свободному изменению размеров ничто не препятствует, то такая усадка будет свободной т.е. усадка без торможения (например, стержень без впадин и выступов). Если же свободному изменению размеров препятствуют элементы формы, то такая усадка называется затрудненной или усадкой с торможением (стержень с выступами или впадинами, цилиндр, корпус с внутренними полостями и др.). Исходя из этого свободная усадка имеет большую величину чем затрудненная.

При выполнении данной работы студент должен научиться определять как свободную, так и затрудненную усадку. В реальных условиях степень торможения зависит от количества выступающих частей, конфигурации отливки, так как с этим связана неравномерность охлаждения, способствующая возникновению напряжений, деформаций, трещин.

Для определения свободной линейной усадки из испытуемого модельного состава (воска) марок Romocast 3158, Romocast 3174 и Romocast 325 изготавливали образцы путем заливки расплавленного модельного состава в силиконовую эластичную форму. Исследования проводились для двух групп деталей: 1. с габаритными размерами до 50 мм; 2. с габаритными размерами от 70 до 150 мм (рисунок 7 и 8).

К первой группе деталей относится изготовление восковых моделей заготовок лопаток турбины (рабочих и сопловых) вспомогательной силовой установки. Для данной группы характерно точное безприпусковое литье с допусками $-0,05$ мм (в тело детали) и $+0,15$ мм (из тела детали) и минимальным процентом усадки воска.

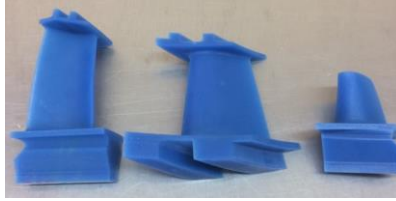


Рисунок 7 – Общий вид восковых моделей 1-ой группы



Рисунок 8 – Общий вид восковых моделей 2-ой группы

Ко второй группе деталей относится изготовление восковых моделей заготовок корпусных деталей. Для данной группы характерно тонкостенность конструкции (4 мм) при значительной протяженности стенки или основания (120 мм и более) с допусками $\pm 0,5$ мм.

Температура силиконовых эластичных форм составляла 80°C . Расплавление модельного состава производится в вакуумной машине МТТ 5/04 до температуры 100°C .

Извлеченные из силиконовой формы восковые модели необходимо охладить на воздухе при температуре $20...25^{\circ}\text{C}$. Время застывания восковых модельных составов Paramelt и Romocast 325 для деталей группы 1 составляет примерно 3 часа. Для деталей группы 2 – 6 часов. Это необходимо учитывать при проведении лабораторной работы. Время застывания восковых модельных составов Romocast 3158 и Romocast 3174 для деталей группы 1 составляет примерно 2 часа. Для деталей группы 2 – 4 часа.

Измерение линейных размеров деталей необходимо производить с помощью штангенциркуля, измерение сложнопрофильных поверхностей лопаток необходимо производить с помощью координатно-измерительной машины Global Perfomance. В таблицах 1 и 2 приложениях 1 и в приложении 2 представлены справочные значения измеренных параметров. Измеренные значения необходимо записать в таблицу (см. приложение 3 отчета).

Расчет величины свободной линейной усадки проводили по формуле (2):

$$\alpha=(l_{м.м.} - l_{в.м.})/l_{м.м.} *100\%; \quad (2)$$

где $l_{м.м.}$ – линейный размер мастер модели детали, выращенной на 3D принтере Objet Eden 350, мм;

$l_{в.м.}$ – линейный размер восковой модели детали, мм.

Экспериментально было установлено, что время полимеризации модельных составов (восков) составляет 24 часа – за это время происходит прекращение изменения геометрических размеров образцов. На основании этого замер геометрических параметров восковых моделей деталей желательно проводить спустя 24 часа после заливки в силиконовые формы.

Диапазон справочных значений линейной усадки геометрических параметров восковых моделей для деталей 1 и 2 представлен в таблице 3 приложения 1. Рассчитанные значения линейной усадки необходимо записать в таблицу (см. приложение 3 отчета).

Таким образом при проектировании мастер моделей для изготовления силиконовых эластичных форм руководствоваться значениями свободной линейной усадки модельных составов.

9 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В процессе выполнения работы оформляется отчет (приложение 3) в соответствии с предложенным алгоритмом измерения геометрических размеров восковых моделей, заполняются цели и

задачи лабораторной работы, приводится эскиз тестовых образцов, записываются составы и физико-механические свойства смесей для изготовления форм. Проводится измерение геометрических размеров образцов, вычисляются отклонения от номинала и вычисляются величины линейных усадок. В конце отчета формируются выводы по проделанной работе. В выводах должны быть приведены объяснения полученной разницы линейной усадки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое усадка?
2. Для чего необходимо знать величину литейной усадки восковых материалов?
3. Как рассчитывается усадка и из каких составляющих состоит?
4. Как влияет температура заливки на усадку?
5. Каково значение усадки для качества отливки?
6. Как влияет на усадку содержание углерода?
7. Как влияет толщина стенки металлической формы или толщина стенки отливки на усадку?
8. Какое влияние оказывает на усадку длина литниковой системы?
9. Что такое затрудненная усадка, свободная усадка?
10. Какое влияние оказывает торможение на усадку, на качество отливки?
11. Назовите литейные дефекты, возникающие в результате усадки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пособии рассмотрены основные вопросы изготовления восковых моделей с использованием технологии быстрого прототипирования и определения различных видов усадки в процессе застывания восковых масс, представлена классификация воскоподобных материалов с указанием их преимуществ и недостатков. Представленные сведения позволяют студентам в полном объеме провести исследование по определению литейной усадки восковых моделей и рассчитать отклонения геометрических размеров относительно номинала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов Г.Г. Справочник молодого литейщика. - М.: Высш. шк., 1983. - 207 с.
2. ГОСТ 6793-74. Нефтепродукты. Метод определения температуры каплепадения.
3. ГОСТ 16817 – 71. Формы песчаная и металлическая для определения линейной усадки цветных металлов и сплавов. Конструкция и размеры. Технические требования
4. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов. М. Машиностроение, 1985.
5. Иванов В.Н. Словарь-справочник по литейному производству. М. Машиностроение, 1990, 384с.
6. Каблуков И. А. О меде, воске, пчелином клее и их подмесьях / изд. Сельхозгиз — 1941 г. — 180 с. Переверзев А. Н. и др. Производство парафинов / Москва, «Химия», 1973 г. — 224 с.
7. Казанцев В. Д., Терскова Л. Н. Физические свойства воскоподобных материалов различной природы // Юный ученый. — 2017. — №3. — С. 60-62.
8. Могилев В.К., Лев О.И. Справочник литейщика. - М.: Машиностроение, 1988. 272 с.
9. Приступлюк Н. И. Лабораторный практикум. Технология литейного производства. М., Машгиз, 1998 г.
10. Рыбкин В.А. Ручное изготовление литейных форм. - М.: Высш. шк., 1986. - 199 с.

Таблица 1 – Геометрические размеры восковых моделей 2-ой группы (1-я деталь)

№	Линейные размеры на мастер модели, мм	Модельный воск Paramelt		Модельный воск Romocast 3158		Модельный воск Romocast 3174		Модельный воск Romocast 325	
		Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α, %	Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α, %	Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α, %	Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α, %
1	78,9	78	1,14	78,2	0,89	78	1,14	78,1	1,01
2	77,8	77,2	0,77	77,4	0,51	77,2	0,77	77,3	0,64
3	4,04	4,02	0,50	4,04	0	4,03	0,25	4,01	0,74
4	125,3	124	1,04	124,5	0,64	124,1	0,96	124,2	0,88
5	109	108,8	0,18	108,7	0,28	108,6	0,37	108,7	0,28
6	107	106,7	0,28	106,7	0,28	106,6	0,37	106,6	0,37

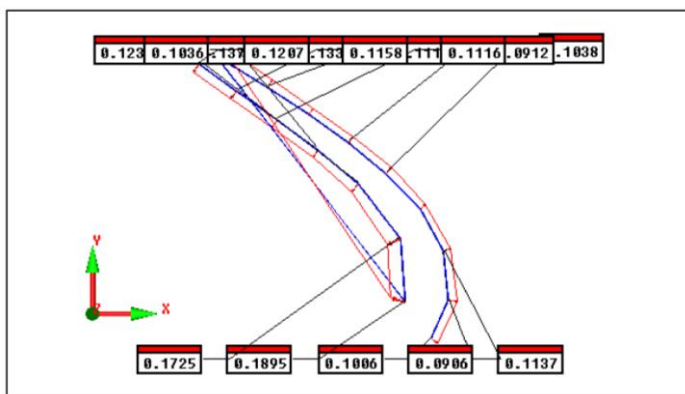
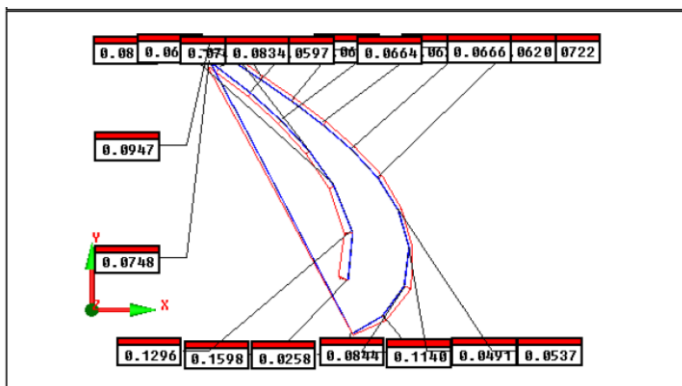
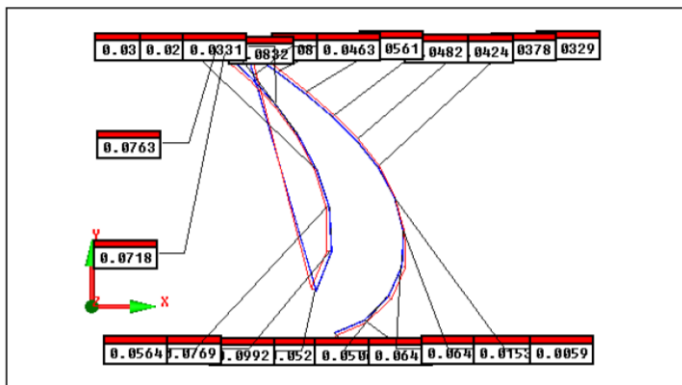
Таблица 2 – Геометрические размеры восковых моделей 2-ой группы (2-я деталь)

№	Размеры на мастер модели, мм	Модельный воск Paramelt		Модельный воск Romocast 3158		Модельный воск Romocast 3174		Модельный воск Romocast 325	
		Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α, %	Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α, %	Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α, %	Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α, %
1	151,5	150,2	0,86	150,8	0,46	150,5	0,66	150,7	0,53
2	54	53,2	1,48	53,9	0,19	53,5	0,93	53,5	0,93
3	106	105,7	0,28	105,9	0,09	105,8	0,19	105,7	0,28
4	9,1	8,94	1,76	9,1	0	9,05	0,55	8,95	1,65
5	136,6	136,2	0,29	136,4	0,15	136,2	0,29	136,4	0,15
6	119,3	118,5	0,67	118,8	0,42	118,6	0,59	118,8	0,42
7	111	110,5	0,45	110,7	0,47	110,5	0,45	110,6	0,36
8	124,2	123,6	0,48	123,8	0,32	123,4	0,64	123,6	0,48

Таблица 3 – Физические свойства модельных составов (восков)

Наименование модельного состава	Свободная линейная усадка α, %	
	min значение	max значение
Paramelt	0,18	1,76
Romocast 3158	0	0,89
Romocast 3174	0,19	1,14
Romocast 325	0,15	1,65
		средне значение
		0,97
		0,45
		0,67
		0,9

ПРИЛОЖЕНИЕ 2



ПРИЛОЖЕНИЕ 3

*Кафедра
технологий производства
двигателей*

Студент _____

Группа _____ Дата _____

ОТЧЕТ

по лабораторной работе «ИССЛЕДОВАНИЕ УСАДКИ
ВОСКОВЫХ МОДЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЕЙ
БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ»

Цель и задачи работы:

1. Оборудование, инструменты и средства измерений.
2. Эскиз тестовых образцов, необходимых для работы.

3. Результаты измерения геометрических параметров и определение линейной усадки восковых моделей.

Геометрические размеры восковых моделей 2-ой группы (1-я деталь)

№	Линейные размеры на мастер модели, мм	Модельный воск Paramelt		Модельный воск Romocast 3158		Модельный воск Romocast 3174		Модельный воск Romocast 325	
		Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α , %	Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α , %	Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α , %	Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α , %
1									
2									
3									
4									
...									

Геометрические размеры восковых моделей 2-ой группы (1-я деталь)

№	Линейные размеры на мастер модели, мм	Модельный воск Paramelt		Модельный воск Romocast 3158		Модельный воск Romocast 3174		Модельный воск Romocast 325	
		Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α , %	Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α , %	Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α , %	Линейные размеры, мм	Свободная линейная усадка α , %
1									
2									
3									
4									
...									

Физические свойства модельных составов (восков)

Наименование модельного состава	Свободная линейная усадка α , %		
	min значение	max значение	средне значение
Paramelt			
Romocast 3158			
Romocast 3174			
Romocast 325			

4. Выводы по работе

Преподаватель _____

Учебное издание

*Вдовин Роман Александрович
Смелов Виталий Геннадиевич*

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСАДКИ ВОСКОВЫХ МОДЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ
ТЕХНОЛОГИЕЙ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ**

Методические указания к лабораторной работе

Редактор
Доверстка

Подписано в печать . Формат
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ.л.
Тираж экз. Заказ . Арт.-

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика С.П. КОРОЛЁВА»
(Самарский университет)
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского университета. 443086, Самара, Московское шоссе, 34