

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт металлургии и промышленной инженерии

УДК 621.315.617.5

На правах рукописи

Акимжанова Анель Рашидкызы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра технических наук

Название диссертации «Исследование влияния эксплуатационных
свойств литейных силиконов на процесс формирования матриц для
литья изделий из полимербетона с разработкой ТИ»

Направление подготовки 7М07111 – Цифровая
инженерия машин и оборудования



Научный руководитель,
к.т.н., ассоц. профессор
Б.С. Бейсенов
" 06 " 2021 г.

Рецензент
д.т.н., профессор
Е.К. Едыгенов
" 11 " 06 2021 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНИТУ им.К.И.Сатпаева»
Институт Металлургии и
Промышленной инженерии

Нормоконтроль
к.т.н., ассист. проф.
С.А. Бортебаев
" 18 " 06 2021 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ТМТиЛ,
к.т.н., ассоц. проф.
К.К. Елемесов
" 18 " 06 2021 г.

Алматы 2021 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт металлургии и промышленной инженерии
Кафедра "Технологические машины, транспорт и логистика"

7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ТМТиЛ
канд. техн. наук, асс. проф.

К.К.Елемесов

"18" 06 2019 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Акимжановой Анель Рашидкызы

Тема: «Исследование влияния эксплуатационных свойств литейных силиконов на процесс формирования матриц для литья изделий из полимербетона с разработкой ТИ»

Утверждена приказом руководителя университета № 425-м
"03" 12 2019 г.

Срок сдачи законченной диссертации "15" 05 2021 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: данные ОАО АЗТМ

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) состояние проблемы по использованию литейных силиконов для изготовления гибких литейных форм используемых для многократного тиражирования копий изделий сложной конфигурации;

б) аналитический обзор различных марок силиконов присутствующих на рынке РК;

в) анализ методик по определению механических характеристик литейных силиконов: твердость по Шору и на разрыв;

г) разработка инструментального обеспечения исследований по определению механических характеристик литейных силиконов;

д) отработка технологии подготовки и смешивания компонентов литейных силиконов;

е) обработка технологии литья, сушки и вырезки образцов литейных силиконов для испытания на разрыв;

е) оценка результаты испытаний.

Перечень презентационного материала;

а) обзор литейных силиконов выбранных для исследований из представленных на рынке РК;

б) анализ методик по определению твердости по Шору и прочности на разрыв;

в) инструментальное обеспечение исследований;

г) материалы по этапам подготовки, литья и испытаний.

д) результаты исследования.

Рекомендуемая основная литература:

1. Соломатов В. И. Технология полимербетонов и армополимербетонных изделий. М., 1984.
2. Основы конструирования отливок. Параметры точности и припуски на механическую обработку: Учеб.пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004.– 164 с.
3. Патуров В.В. Полимербетоны. –М.: Стройиздат, 1987. – 286 с.
4. <https://igc-market.ru/baza-znaniy/silicon/kakoy-vybrat-silikon/>
5. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 5-1. – С. 245-256.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Аналитическая часть	1.03.2021	
2 Технологическая часть	1.04.2021	
3 Экспериментальная часть	1.05.2021	

Подписи консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
1 Аналитическая часть	К.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	1.03.2021	
2 Технологическая часть	К.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	1.04.2021	
3 Экспериментальная часть	К.т.н., ассоц.проф. Бейсенов Б.С.	1.05.2021	
Нормоконтролер	К.т.н., ассис.проф. Бортебаев С.А.	10.05.2021	

Научный руководитель

(подпись)

Бейсенов Б.С.

(Ф.И.О.)

Задание принял

к исполнению обучающийся

(подпись)

Акимжанова А.Р.

(Ф.И.О.)

Дата

" 10 " 11 2019 г.

АНДАТПА

Бұл жұмыс магистр жұмысы барысында шешілген бірқатар тапсырмаларды қарастырады:

1. Силикондарды құюдың механикалық қасиеттерін талдау.
2. Кремнийлерді құюдың механикалық қасиеттерін анықтау әдістемесінің ерекшеліктерін зерттеу, мысалы, жағалаудың қаттылығы мен созылуға беріктігі.
3. Механикалық қасиеттерді анықтау үшін эксперименттерді аспаптық қолдау ерекшеліктерін зерттеу.
4. Бөлім полигонының зертханалық жағдайына арналған әдістерді байланыстыру.
5. ЦН-180 центрифугалық сорғының корпусын құюға арналған қалыптың мысалын қолдана отырып, силикондардың механикалық қасиеттерін зертханалық зерттеу нәтижелерін бағалау.

Жұмыс кіріспеден, аналитикалық шолудан, тәжірибелік бөлімнен тұрады, эксперимент нәтижелерін талқылау, қорытындылар, 10 тармақтың пайдаланылған көздерінің тізімі. Диссертациялық жұмыс 57 бетте ұсынылған, 26 суреттермен безендірілген, 2 қосымшадан тұрады.

АННОТАЦИЯ

В этой работе рассмотрены ряд задач, которые были решены в ходе выполнения магистерской работы:

1. Анализ механических свойств литейных силиконов.
2. Изучение особенностей методики определения таких механических свойств литейных силиконов как твердость по Шору и прочность на разрыв.
3. Изучение особенностей инструментального обеспечения опытов по определению механических свойств.
4. Привязка методик под лабораторные условия полигона кафедры.
5. Оценка результатов лабораторных исследований механических свойств силиконов на примере формы для литья корпуса центробежного насоса ЦН-180.

Работа состоит из введения, аналитического обзора, экспериментальной части, обсуждения экспериментальных результатов, выводов, списка использованных источников из 10 наименований. Диссертационная работа изложена на 57 страницах, иллюстрирована 26 рисунками, содержит 2 приложения.

ANNOTATION

This work considers a number of tasks that were solved in the course of the master's work:

1. Analysis of the mechanical properties of casting silicones.

2. Study of the peculiarities of the method for determining such mechanical properties of casting silicones as Shore hardness and tensile strength.

3. Study of the features of instrumental support of experiments to determine mechanical properties.

4. Binding of methods for laboratory conditions of the department's polygon.

5. Evaluation of the results of laboratory studies of the mechanical properties of silicones using the example of a mold for casting the casing of a centrifugal pump TsN-180.

The work consists of an introduction, an analytical review, an experimental part, a discussion of experimental results, conclusions, a list of used sources of 10 items. The dissertation work is presented on 57 pages, illustrated with 26 figures, contains 2 appendices.

СОДЕЖАНИЕ

	Введение	8
1	Аналитическая часть	11
1.1	Практика производства модельной (литейной) оснастки	11
1.2	Выбор материала формы для изготовления модельной (литейной) оснастки для литья деталей технологических машин	12
1.3	Аналитический обзор известных марок литейных силиконов	13
1.4	Особенности технологии подготовки и смешивания компонентов отобранных марок силиконов.	18
2	Анализ методик определения механических характеристик формовочных силиконов	20
2.1	Принцип измерения твердости по Шору	20
2.2	Принцип измерения прочности на растяжение	22
2.3	Методика испытания полимерных материалов на растяжение.	24
2.4	Определение усадки полимерных материалов	25
2.5	Определение расчетной теоретической плотности.	26
2.6	Определение пластичности каучука и резиновых смесей на пластометре.	26
2.7	Инструментальное обеспечение экспериментов.	28
3	Экспериментальная часть	33
3.1	Результаты замеров твердости по Шору.	33
3.2	Результаты замеров прочности на растяжение.	35
3.3	Характерные особенности различных марок силиконов	37
4	Оценка результатов лабораторных исследований механических свойств силиконов на примере форм различных деталей.	42
4.1	Формы для литья корпуса центробежного насоса ЦН-180.	42
4.2	Формы для облицовки рабочего колеса	43
4.3	Формы для литья промежуточного фонаря	45
	Заключение	48
	Список использованных источников	50
	Приложение А	51
	Приложение Б	55

ВВЕДЕНИЕ

При производстве изделий из полимерных материалов важную роль выполняет формообразующая оснастка, которая может представлять собой замкнутую или открытую форму, полуформу, проходную форму и т. п. в зависимости от принятого способа переработки. Назначение оснастки состоит в придании изделию заданной формы и размеров с оптимальными техническими свойствами.

Формообразующая оснастка при всех известных способах формования изделий из полимеров (экструзии, экструзии с раздувом, литье под давлением, компрессионном прессовании, термоформовании и свободном литье) является сменной. Она проектируется и изготавливается в соответствии с чертежами будущего изделия.

Для установки на оборудование и сопряжения с ним оснастка должна иметь соответствующие данному оборудованию узлы, т. е. оснастка проектируется под конкретные изделия и оборудование.

Особенности конструирования технологической оснастки для формования изделий из полимеров определяются реологическими и теплофизическими свойствами перерабатываемого полимера: его вязкостью, теплопроводностью, усадкой и другими свойствами, а также принятой технологией формования.

Важнейшим элементом формообразующей оснастки является оформляющая поверхность, благодаря которой полимерная масса принимает заданную форму и внешний вид.

Проектирование и изготовление формообразующей оснастки довольно сложное дело, требующее специальных знаний и опыта. Особенно сложны литьевые формы для производства крупногабаритных изделий, таких как, например, панель приборов или бамперы автомобиля. Современные технологии позволяют проектировать формы в автоматическом режиме с использованием соответствующего программного обеспечения.

Очень часто отклонение механических свойств литейных силиконов, использованных при изготовлении гибких литьевых форм приводит к значительным дефектам внешнего вида изделий: усадке, утяжке, трещинам и др.

Из этого следует, что правильный выбор силиконов — имеют очень большое значение для изготовления форм многократного тиражирования копий изделий сложной конфигурации..

Правильный выбор той или иной марки силиконов, кому же с учетом лабораторных условий, точного соблюдения технологии смешивания позволяет получать изделия с заданной структурой, необходимой формой и размерами и с оптимальными эксплуатационными характеристиками.

Двухкомпонентные силиконовые компаунды - основной силиконовый состав плюс катализатор, которые легко смешиваются, допускают отклонение в дозировке компонентов. Формы застывают при комнатной

температуре. Имеют среднюю прочность. Выдерживают до 2000 отливок в широком диапазоне температур заливаемого материала. Если рассматривать качественный силикон на платиновой основе, то эти формы выдержат до 5000 отливок.

Актуальность темы проекта. Главной целью машиностроения в настоящее время является внедрение современных технологий, которые повышают качество и снижают себестоимость изделия, способствуют созданию эффективной, конкурентно способной техники, при этом не требующие больших капиталовложений. Основной проблемой при изготовлении корпусов является правильный выбор материального обеспечения - марки силиконов и учет таких факторов лабораторных условий как температура, влажность, точное соблюдение дозировки компонентов, режимов смешивание.

Идея работы заключается в проверке свойств выбранных марок силиконов с использованием уже имеющейся инструментальной базы лабораторий кафедры.

Задачи исследования:

1. Анализ механических свойств литейных силиконов.
2. Изучение особенностей методики определения таких механических свойств литейных силиконов как твердость по Шору и прочность на разрыв.
3. Изучение особенностей инструментального обеспечения опытов по определению механических свойств.
4. Привязка методик под лабораторные условия полигона кафедры.
5. Оценка результатов лабораторных исследований механических свойств силиконов на примере формы для литья корпуса центробежного насоса ЦН-180.

Положения, выносимые на защиту, и их новизна:

1. Результаты анализа литейных силиконов представленных на рынке РК.
2. Особенности технологии приготовления смесей литейных силиконов.
3. Особенности подготовки образцов для проведения механических испытаний.
4. Особенности методики проведения опытов по определению механических свойств.
5. Сравнительная оценка данных экспериментов с приведенными в сопроводительной документации к представленным образцам.

Обоснованность и достоверность исследований подтверждается результатами пробных отливок корпуса центробежного насоса ЦН-180 в формы из силиконов рекомендованных по материалам работы.

Практическое значение работы заключается в привязке методики оценки твердости по Шору и прочности на разрыв к условиям учебного полигона кафедры.

Результаты исследований используются в учебном процессе Казахского Национального исследовательского технического университета при

подготовке студентов по специальности 7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования.

Апробация работы.

Публикации. По теме диссертационной работы сделан доклад на международной конференции «Сатпаевские чтения – 2021».

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и двух приложений, содержит 57 страниц, 26 рисунков, 5 таблиц, список литературы из 10 наименований.

1 Аналитическая часть

1.1 Практика производства модельной (литейной) оснастки

Модельная оснастка - это целый комплекс различных инструментов, применяемых при изготовлении литейной формы, а в дальнейшем для производства отливки. Для разработки проектов и последующего выпуска может быть задействовано специализированное модельное производство, где будут применяться самые современные технологии и материалы. Изначально проект может быть разработан в трехмерном виде с помощью компьютера, чтобы наиболее подробно изучить все части будущей модели. Непосредственно сами модели, а также стержневые ящики, изготовлены на специальных станках с ЧПУ или посредством 3D принтера.

Изготавливается оснастка для литья на основе холодно-твердеющих смесей (ХТС), таких как древесноволокнистая, модельная плита и композитные материалы.

Чаще всего выпускается алюминиевая, деревянная, пластиковая или чугунная оснастка.

Ресурс, который может обеспечить модельная оснастка, может варьироваться в пределах от 1000 до 15000 съёмов в зависимости от материала оснастки. Самыми прочными материалами являются чугун, сталь и алюминий, после них идет пластмасса, а затем уже дерево и фанера.

Материалы, используемые нами для изготовления модельной оснастки:

- модельный пластик различной твердости;
- стеклопластик (контактная формовка);
- МДФ с последующей пропиткой и обработкой;
- пенополистирол твердых марок;
- заливочные компаунды;
- фанера.

Материалы для модельной оснастки

1. МДФ.

Самый бюджетный и простой вариант - модельная оснастка из МДФ.

После завершения фрезеровки, для придания высокой твердости и повышению водоотталкивающих свойств поверхностному слою модели, ее рабочие поверхности подвергаются пропитке особыми смолами. Оснастка из МДФ подходит для выполнения небольшого числа отливок. Чаще всего этот материал используется при изготовлении оснастки для художественного литья.

2. Дерево.

Дерево считается классическим, легким и легкообрабатываемым материалом. Поэтому из дерева очень часто изготавливается модельно стержневая оснастка. Для производства модельной оснастки используется исключительно качественная и идеально высушенная древесина, а тонкие художественные детали требуют использования ценных пород твердой

древесины. Такие сложности приводят к увеличению стоимости изготовления литейной оснастки из древесины по сравнению с оснасткой из МДФ. Конечно, в некоторых случаях модельная оснастка из древесины просто незаменима. Например, при изготовлении габаритных изделий деревянная оснастка предпочтительней из-за меньшего веса.

3. Пластик.

Оптимальный вариант для современного производства - изготовление модельной оснастки из пластика. В современной химической промышленности производится огромное количество видов полимеров, которые предназначены для производства литейной оснастки, в форме пасты, заливочного состава или плиты стандартного размера. Подобные материалы очень удобно использовать – они обладают однородной структурой и высокими эксплуатационными характеристиками. Некоторые модельные полиуретаны превосходят по износостойкости алюминиевые сплавы и могут выдерживать более 100 000 съемов. Изготовление литейной оснастки из пластика выгодно для производства крупных серий отливок на предприятиях, обладающих современным формовочным оборудованием.

4. Металл.

Металлическая литейная технологическая оснастка является самым надежным и долговечным вариантом, хотя и самым дорогостоящим, так как обрабатывать металл намного тяжелее, нежели пластик либо дерево.

Подобную оснастку практически невозможно повредить. На нашем оборудовании мы можем изготовить оснастку из алюминиевых и других сплавов.

1.2 Выбор материала формы для изготовления модельной (литейной) оснастки для литья деталей технологических машин

Принимая во внимание опыт работы с полимербетоном при литье корпусов редукторов и насосов, мы остановили свой выбор на литейном силиконе.

Силикон.

Эластомер популярный среди производителей форм, которые легко изготовить своими руками. Для создания формы используются двухкомпонентные силиконовые компаунды: основной силиконовый состав плюс катализатор. Этот материал легко смешивается, допускает отклонение в дозировке компонентов. Формы застывают при комнатной температуре. Имеют среднюю прочность. Выдерживают до 2000 отливок в широком диапазоне температур заливаемого материала. Если рассматривать качественный силикон на платиновой основе, то эти формы выдержат до 5000 отливок.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки силикона

Достоинства	Недостатки
1. Не токсичен (силикон широко используется в медицине, может иметь пищевой допуск) 2. Практически не дает усадки 3. Высокая точность слепка 4. Не требует дополнительных смазок 5. Допускает заливку в широком диапазоне температур(до 200°C и выше) 6. Стойкость к агрессивным средам 7. Простота в работе	1. Низкая химическая стойкость к щелочным материалам 2. Умеренная прочность, сравнимая с прочностью формопласта, но уступающая прочности полиуретана 3. Появление пузырей на боковых сторонах декоративных изделий 4. Сложность окраски готовых изделий 5. Высокая цена

1.3 Аналитический обзор известных марок литейных силиконов

Двухкомпонентные жидкие силиконы предназначены для изготовления форм с последующей заливкой в них различных материалов. Так же силиконы можно использовать для изготовления изделий, таких как маски, куклы, прокладки, чехлы на телефоны и многое другое.

Ассортимент силиконов достаточно большой, так же как и их применение.

Силикон для форм – это жидкий 2х компонентный материал для изготовления эластичных молдов. Матрицы из этого материала получают прочными на разрыв и подходят для многократного использования.

Жидкий силикон для форм состоит из двух компонентов: основная масса и отвердитель (катализатор). Основная масса начинает застывать только при добавлении в нее катализатора, до этого момента она находится в жидком состоянии. Катализаторы бывают двух типов: на оловянной основе и на платиновой:

1. "Оловянные силиконы" отличаются низкой стоимостью и усадкой. Такие силиконы имеют небольшой срок жизни, особенно он уменьшается при заливки в них агрессивной среды (жидкий пластик, полиэфирные смолы и др). Со временем форма становится более хрупкой и усаживается. Силикон подходит для заливки гипса, полиуретана, смол, парафина, воска и жидкого пластика. Для увеличения срока жизни мы предлагаем использовать силиконовую смазку.

2. Силиконы на платиновом катализаторе более дорогие и безупрочные. Рассчитаны на более долго применение, обладают

термостойкостью. И главный плюс - это возможность использовать в пищевой промышленности.

Таблица 2 – Основные различия силиконов

Силикон на платине	Силикон на олове
Безусадочный материал, некоторые имеют небольшую усадку менее 0,2%	Нет усадки
Срок службы формы зависит от количества отливок и заливаемого материала, к примеру гипс около 1000 отливок, жидкий пластик 30-100. У силикона Mold Max показатели выше: 3000 отливок из гипса, и около 200-300 из пластика.	Срок службы так же зависит количества отливок и материала, но тиражируемость у таких силиконов в разы выше, чем у "оловянных".
Неустойчивы к серосодержащим материалам	Неустойчивы к серосодержащим материалам
Ускорить застывание можно добавлением большего количества катализатора или небольшим нагревом.	Ускорить застывание можно нагревом.
менее затратные	Использование в пищевой промышленности и кинематографии (создание форм или масок, безопасны при контакте с кожей)

Основные характеристики силикона:

Твердость

Твердость – это свойство материала не испытывать пластической деформации вследствие местного контактного воздействия, обычно сводящегося к внедрению в материал более твердого тела.

Этот параметр определяется методом вдавливания по шкале Альберта Шора. В соответствии со стандартом ASTM D 2240, описано 12 шкал измерения. Чаще всего используются варианты А (для мягких материалов) или D (для более твердых). Обычно твердость указывается в наименовании силиконового компаунда, например:

Цифрой (15) указывается значение твердости, определенное методом Шора по шкале А (для мягких материалов).

У силиконовых компаундов показатели твердости могут варьироваться от 10 до 70. Как правило, силиконы с показателем твердости от 10 до 15 используются для отливки небольших относительно легких изделий с мелким рисунком: мыла, свечей, лепнины. Силиконы с твердостью от 20 до

70 применяют для более крупных изделий, например, если требуется изготовиться форму для большой и тяжелой заготовки.

Время жизни

Время жизни - это время, при котором силикон остается жидким. Чем больше Вы добавите катализатора (для оловянных силиконов), тем сильнее уменьшится время жизни. Так же, чаще всего, чем выше твердость силикона, тем меньше у него время жизни. Производители обычно указывают "идеальное время" 25-30 минут (это время в идеальных условиях : определенная температура, точная развесовка компонентов и др), мы советуем (в зависимости от твердости и катализатора) успеть замешать и залить силикон, в течение 7-15 минут.

Вязкость

Более текучий силикон имеет более низкое значение вязкости. Чем ниже вязкость, тем проще Вам будет работать с силиконом, но обычно - это силиконы с низкой твердостью.

Прочность на раздир

Характеристика важна для производства деталей, на которые в последующем будет нагрузка.

Линейная усадка

Это уменьшение объема и линейных размеров отливки в процессе ее формирования, выражается, как правило, в процентах. Например, при заливке формы высотой 300 мм компаундом с линейной усадкой в 1% высота после полимеризации силикона уменьшится на 0,3 мм.

Удлинение при разрыве

Это параметр, характеризующий, насколько растягивается силикон, прежде чем он порвется. Чем выше этот параметр, тем качественнее силикон.

Цвет

Цвет используют не только для равномерного промеса силикона, но и для узнаваемости именно Ваших форм. Очень часто производители добавляют цвет или в компонент А, или в компонент В. Так же у нас в продаже есть специальные колеровочные пасты для полимерных материалов, которые помогут Вам получить цветные формы.

Ингибиторы

На реакцию отверждения могут очень сильно повлиять различные материалы (ингибиторы):

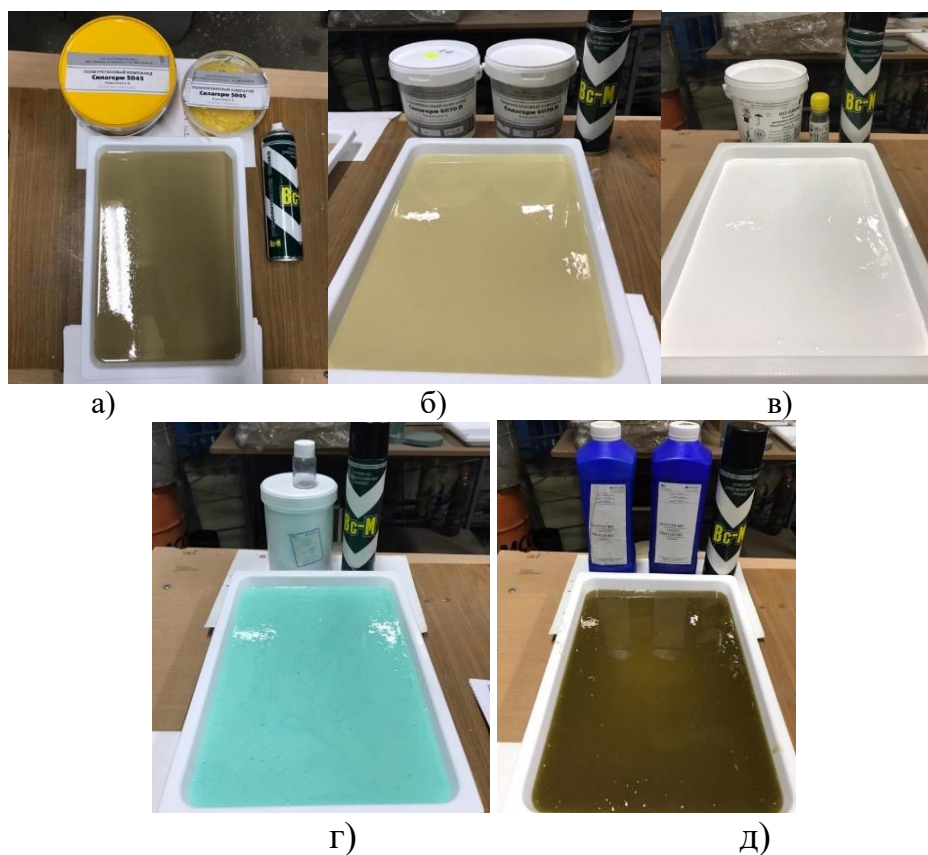
- полиэфирная смола;
- латекс;
- сера;
- алкидный лак;
- спирт;
- низкая температура.



Рисунок 1 – Ингибиторы силиконов

В качестве объектов мы приняли 5 видов силикона:

1. Силагерм 5045
2. Силагерм 6070П
3. Пентэласт 710
4. SilcoTin 40
5. PolyFlex 80



а - Силагерм 5045; б - Силагерм 6070П; в - Пентэласт 710;
г - SilcoTin 40; д - PolyFlex 80.

Рисунок 2 – Отлитые в одинаковую форму силиконы

Силагерм 5045 – двухкомпонентный заливочный полиуретановый компаунд холодного отверждения для изготовления различных изделий: формы для заливки гипса, бетона (только с применением разделительных смазок), различных смол с температурой отверждения не выше +110°C. Предназначен для: изготовления эластичных форм при производстве искусственного камня, тротуарной плитки, различных архитектурных и художественных изделий из гипса, бетона (с применением разделительного состава - эмульсол, солидол и т.п.), изготовления изделий технического назначения.

Полиуретановый компаунд Силагерм 6070П холодного отверждения – предназначен для изготовления эластичных износостойких изделий и покрытий, работающих в условиях воздействия агрессивных сред; природного газа, воды, кислоты, щелочи, растворителей. Материал имеет высокую абразивную стойкость, хорошо гасит вибрацию, имеет прекрасную адгезию к различным поверхностям. Предназначена для изготовления износостойких изделий и покрытий, работающих в условиях воздействия агрессивных сред; природного газа, воды, кислоты, щелочи, растворителей. Температурный режим работы изделий из ПУ от минус 60 до плюс 110 °С.

Компаунд «ПЕНТЭЛАСТ-710» предназначен для изготовления гибких литьевых форм, используемых для многократного тиражирования копий изделий сложной конфигурации. Литьевые формы из «ПЕНТЭЛАСТА-710» могут эксплуатироваться длительное время при температурах не выше 200°C. Использование форм при температурах выше 200°C через определенное время приводит к потере эластичности. Нагрев выше 250°C не рекомендуется. «ПЕНТЭЛАСТ-710» представляет собой вязкую текучую композицию белого цвета. Поставляется в виде основы в комплекте с катализатором. Отверждение компаунда «ПЕНТЭЛАСТ-710» происходит при комнатной температуре до резиноподобного состояния в течение 24 часов.

Силиконовый компаунд на основе олова SilcoTin - жидкий силикон и отвердитель на основе олова, с разной вязкостью и твёрдостью по Шору А (10,15,20,25,30,40), отверждается при комнатной температуре, соотношение компонентов 100:2. Обладает исключительной текучестью, удобством и простотой использования, лёгкой расформовкой. Хорошая растяжимость, эластичность, прочность на раздир, незначительная усадка. Высокая тиражируемость и долговечность эксплуатации. Состав: диметикон (Dimethicone)-50% и белая сажа (White carbon black) -50 %. Применяется для создания эластичных форм.

PolyFlex 80 – двухкомпонентная полиуретановая система итальянского производства комнатного отверждения низкой вязкости, применяется для создания форм и штампов для литья бетона, гипса, пенополиуретана и полиуретановых пластиков, воска, мыла и других заливочных материалов.

Полиуретан серии PolyFlex можно использовать для изготовления резинотехнических изделий различного назначения.

1.4 Особенности технологии подготовки и смешивания компонентов отобранных марок силиконов

Силагерм 5045(4,0 у.е./кг)

Компоненты чувствительны к влажности, поэтому необходимо работать с материалом только в помещениях с пониженной влажностью. Хранить компоненты компаунда следует в герметично закрытой таре.

Перед смешением, тщательно перемешивается компонент А (бежевого цвета). Точное весовое соотношение - 100 А/ 50 В компонентов позволяет достичь равномерного и полного отверждения компаунда. Компаунд желательно использовать сразу, поскольку компонент В при вскрытой упаковке, начинает взаимодействовать с влагой воздуха, что в последствии приводит к остаточной липкости отвержденного компаунда.

Пасту и отвердитель следует смешивать вручную шпателем или низкооборотной мешалкой (от краев к середине) до получения однородной массы. Перемешивать 2 компонента необходимо неторопливо, но тщательно.

После заливки нужно удалить со всей формы пузырьки. После отстоя формы в течение 5-10 минут, проглаживанием поверхности формы удаляются видимые пузырьки.

Отверждение (вулканизация) компаунда наступает через 12-24 часа. Желательно снимать и использовать форму не раньше этих 24 часов. Полный набор физико-механических свойств достигается через 5 суток. Полученная форма может эксплуатироваться при рабочих температурах +80 град. С и кратковременно до +110 град. С.

В отличие от силиконовых компаундов, увеличение дозировки отвердителя не приводит к ускорению вулканизации материала.

Ускорение вулканизации может быть достигнуто нагревом готовой смеси после её нанесения на мастер-модель до 50-60 град.С, но не более.

Силагерм 6070П (9,0 у.е./кг)

Заливки производят при температуре компонентов и помещения не ниже +20 С. Компоненты тщательно перемешивают в таре поставки, отстаиваются в течении 10 минут и смешиваются в соотношении 1:2 по объему или по весу вручную либо миксером 2-3 минуты в чистой сухой ёмкости. Рекомендуются компонент А перемешивать в течении 5-7 минут перед смешением.

Затем смесь переливается во второе ведро и ещё раз перемешивается 15-20 секунд. Это необходимо для того чтобы уйти от непромесов.

Целесообразно после смешения дать 2-3 минуты на выход захваченных пузырьков воздуха или отвакуумировать материал.

Время отверждения формы до съёма – 10-16 часа при комнатной температуре (23°C). Но полный процесс отверждения будет проходить ещё течении 24 часов. После установленного срока полимеризации, выдержка формы при 65 °C около 4-8 часов повысит физические свойства и характеристики материала.

Пентэласт 710 (10,8 у.е./кг)

100 весовых частей основы и 3,5-4 весовых частей катализатора К-18 (на 1 кг основы – 35-40 гр катализатора) помещают в чистую емкость и перемешивают до полного равномерного распределения катализатора в основе (5-15 мин.). Смешивание не должно происходить при температуре выше 35°C, т.к. в этом случае сокращается время жизни компаунда. Полученной смесью заливают и выдерживают при комнатной температуре 18-24 часа. При более низкой температуре время отверждения соответственно увеличивается. Возможно тепловое ускорение процесса отверждения, но не выше 60°C. Время жизни компаунда 0,5-6,0 часа.

Смешенные основа и отвердитель льют на оригинал как можно быстрее, для предотвращения попадания в смесь воздуха. Катализируемый материал будет отверждаться до резиноподобного состояния примерно 18-24 часа при комнатной температуре (22-24°C). Если рабочая температура ниже, то время отверждения увеличивается. Возможно тепловое ускорение процесса отверждения, но при этом будет происходить заметная усадка отливки из-за различий в контракции при охлаждении силиконового каучука и формы.

SilcoTin 40 (12,4 у.е./кг)

Силикон, отверждаемый оловянным катализатором обладающий низкой вязкостью, коротким временем полного формования и длительным сроком эксплуатации. Соотношение компонентов: 100:2. Время жизни: 40 мин. Время отверждения: 10-12 ч

PolyFlex 80 (14 у.е./кг)

Двухкомпонентная полиуретановая система итальянского производства комнатного отверждения низкой вязкости, применяется для создания форм и штампов для литья бетона, гипса, пенополиуретана и полиуретановых пластиков, воска, мыла и других заливочных материалов.

Рабочая температура: от 20°C. Время гелеобразования при 23°C: 30-40 минут. Время отверждения: 12-24 часов в зависимости от конфигурации изделия. Соотношение компонентов для смешения 1:1 по весу. Смесью перемешивается палочкой или миксером в течение 20-30 секунд. Смесью переливается компонентов в чистую емкость и далее перемешивайте еще 10-20 секунд. После заливки смесь выдерживается в течение 5-10 минут в состоянии покоя. Постполимеризация производится в печи при температуре 50-60C в течение 4-6 часов для изделий технического назначения.

2 Анализ методик определения механических характеристик формовочных силиконов

2.1 Принцип измерения твердости по Шору

Твердость – это свойство материала не испытывать пластической деформации вследствие местного контактного воздействия, обычно сводящегося к внедрению в материал более твердого тела.

Этот параметр определяется методом вдавливания по шкале Альберта Шора. В соответствии со стандартом **ASTMD 2240** (<https://www.plantech.com/wp-content/uploads/2017/05/ASTM-D2240-Duro-meter-Hardness.pdf>), описано 12 шкал измерения. Чаще всего используются варианты А (для мягких материалов) или D (для более твердых). Обычно твердость указывается в наименовании силиконового компаунда, например:

Цифрой (15) указывается значение твердости, определенное методом Шора по шкале А (для мягких материалов).

У силиконовых компаундов показатели твердости могут варьироваться от 10 до 70. Как правило, силиконы с показателем твердости от 10 до 15 используются для отливки небольших относительно легких изделий с мелким рисунком: мыла, свечей, лепнины. Силиконы с твердостью от 20 до 70 применяют для более крупных изделий, например, если требуется изготовиться форму для большой и тяжелой скульптуры.

Прибор твердости Шору пришлось разработать самому. Это произошло в 1920-ых. Называется аппарат дюрометром.

У него есть опорная площадка с отверстием по центру, индентор, то есть вдавливатель, и калиброванная пружина, прилагающая к нему определенную силу.

Последний элемент машины – индикатор. Он определяет степень выдвижения «носика» индентора за пределы опорной поверхности.

Измерительных шкал у прибора несколько. Основных две, это А и D. Разбивка необходима для точности опытов, ведь испытуемыми становятся материалы с разной твердостью. Мягкие проверяют по шкале А, а более упругие – по D.

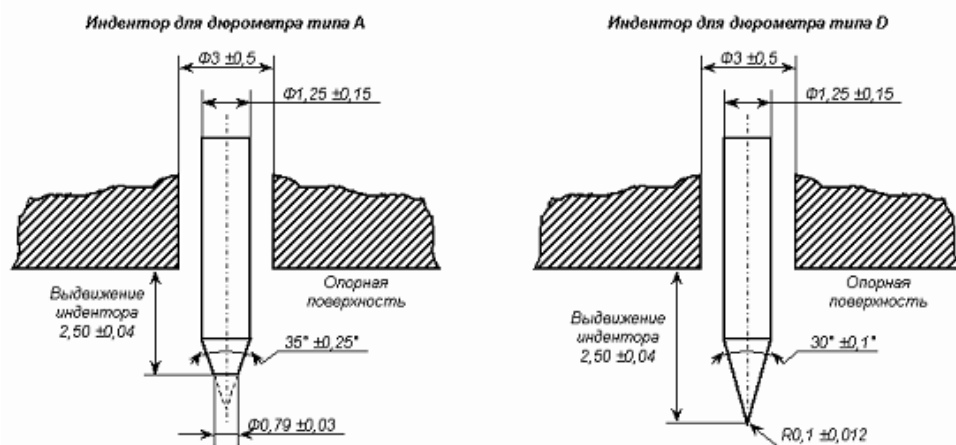


Рисунок 3 – Чертежи инденторов для дюрометров типов А и D

Измерение твердости по Шору требует внимания к внешним условиям. Часть полимеров реагируют, к примеру, на влажность воздуха, или размягчаются под воздействием прямых солнечных лучей.

Нужно исключить факторы, влияющие на параметры материала. Для этого есть стандарты ISO.

Требования предъявляются и к толщине испытуемого образца. Она не должна быть меньше 6-ти миллиметров.

Ширина материала должна позволять сделать отступ от любого из краев минимум в 12 миллиметров. Важна и гладкость испытуемого.

Шероховатые материалы могут неплотно прилегать к опорной поверхности, что искажает результаты измерений.

Чтобы определить, к примеру, твердость полиуретана по Шору, дюромметр устанавливают вертикально. «Носик» индентора, при этом, должен отстоять от края образца на те самые 12 миллиметров.

Прижать опорную поверхность к образцу нужно как можно быстрее, без толчка, держа параллель между плоскостями.

Остается приложить к опорной поверхности давление, обеспечивающее надежный контакт с испытуемым материалом. Для этого используют груз. Но, допускается и ручной жим.

Мгновенное измерение проводят за 1 секунду. Однако, обычно, показатели снимают через 15 секунд. Для верности, проводят 5 замеров в разных местах поверхности.

Среднее значение – и есть число твердости. Оно может быть от 0-ля до 100-та. Такова шкала твердости Шора. Попробуем применить измерения не только при выборе автомобильных покрышек.

Применение измерения по Шору

Твердость по Шору – таблица, способная указать на нюансы использования товаров. Так, если показатель ластика равен 20-ти единицам, значит, он художественный.

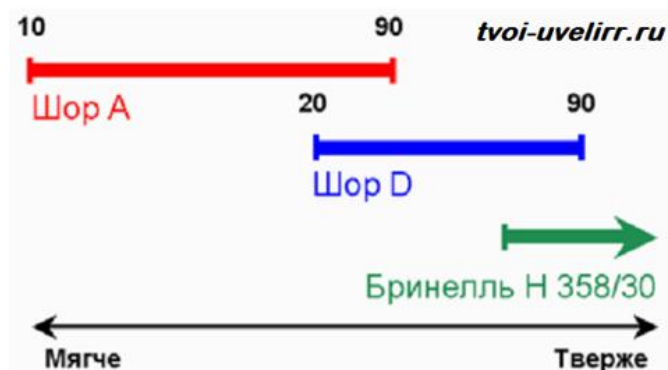


Рисунок 4 – Примерное соотношение разных шкал твердости

Если герметик потемнеет, или потрескается, его придется выскабливать. Это сложнее, чем вычистить обычную затирку. Чем мягче и податливее герметик, тем проще будет его, так скажем, демонтаж.

Из вышесказанного понятно, что твердость по Шору – ГОСТ, действующий для силикона, каучука, эбонита, пластика, резины.

2.2 Принцип измерения прочности на растяжение

Простыми словами, это пороговое значение силы, которую нужно приложить к силикону, чтобы он удлинился на максимальную величину, прежде чем разорвется.

2.2.1 Методика определение прочности и модуля упругости при растяжении полимерных материалов

Определение прочности материала при растяжении проводится по ГОСТ 11262, а определение модуля упругости – по ГОСТ 9550-81.

Образцы для испытаний термопластов и армированных пластиков должны соответствовать типу и размерам, указанным на рисунке и в таблице.

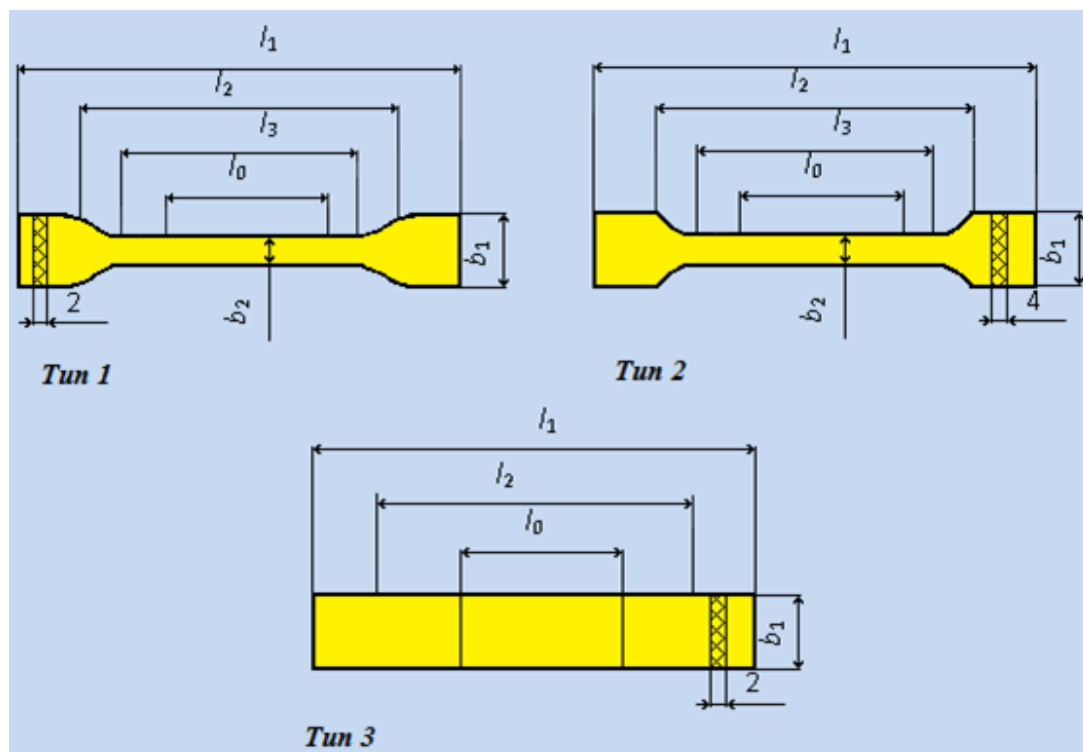


Рисунок 5 – Образцы для испытаний материалов на растяжение. (Числовые значения параметров приведены в таблице 1)

Образец типа 1 применяют для испытаний пластмасс с высоким относительным удлинением при разрыве (полиэтилен, пластифицированный поливинилхлорид), образец типа 2 – для испытаний большинства материалов (термореактивные, термопластичные и слоистые пластики), образец типа 3 в форме полоски – для испытаний стеклопластиков.

Таблица 3 – Числовые значения параметров образцов

Размеры образцов, мм	Образец типа		
	1	2	3
Общая длина l_1 , не менее	115	150	250
Расстояние между метками, определяющими положение кромок зажимов на образце, l_2	80 ± 5	115 ± 5	170 ± 5
Длина рабочей части l_3	33 ± 1	60 ± 1	—
Расчетная длина l_0	25 ± 1	50 ± 1	50 ± 1
Ширина головки b_1	$25 \pm 0,5$	$20 \pm 0,5$	$25 \pm 0,5$
Ширина рабочей части b_2	$6 \pm 0,4$	$10 \pm 0,5$	—
Толщина h	$2 \pm 0,2$ (от 1 до 3)	$4 \pm 0,4$ (от 1 до 10)	$2 \pm 0,2$ (от 1 до 6)

Диаграмму растяжения строят при нагружении образца до разрушения. Скорость нагружения – $2,0 \pm 0,4$ мм/мин. По удлинению в момент разрушения Δl определяют относительно удлинение при разрыве ϵ .

По максимальному значению нагрузки F_p вычисляют предел прочности при растяжении.

Удлинение измеряют прибором с погрешностью не более 2% в диапазоне 0,1–0,5 мм. База преобразователя перемещения L_0 , устанавливаемого на образец, не менее 20 мм.

По диаграмме деформирования определяют значения нагрузок F_1 и F_2 и удлинение Δl_1 и Δl_2 , соответствующих относительному удлинению 0,1% и 0,3% и рассчитывают модуль упругости при растяжении.

При невозможности записи диаграммы деформирования модуль упругости определяют при циклическом нагружении образца (до получения стабильных приращений) в диапазоне усилий $F_1 = (0,05–0,1) \times F_p$ до $F_2 = 0,2 \times F_p$. При значениях нагрузки F_1 и F_2 определяют приращение Δl на базе L_0 .

2.3 Методика испытания полимерных материалов на растяжение

Испытания на растяжение полимерных материалов проводят при температуре $23 \pm 2^\circ\text{C}$ в соответствии с ГОСТ 11262–80 и ГОСТ 9550–81.

Перед испытанием измеряют ширину и толщину образцов в рабочей части с точностью до 0,01 мм не менее чем в трех местах и вычисляют площадь поперечного сечения. В расчет принимают наименьшую площадь поперечного сечения.

Перед испытанием на образец наносят необходимые метки (без повреждения образцов), ограничивающие его базу и положение кромок захватов (таблица).

Образцы закрепляют в зажимы испытательной машины по меткам, определяющим положение кромок зажимов, таким образом, чтобы продольные оси зажимов и ось образца совпадали между собой и с направлением движения подвижного зажима. Зажимы затягивают равномерно, чтобы не было проскальзывания образца в процессе испытания, но при этом не происходило его разрушение в месте закрепления. Далее настраивают прибор для замера деформаций.

Затем образец нагружают возрастающей нагрузкой, величину которой фиксируют по шкале динамометра. Скорость нагружения составляет 25 мм/мин при определении прочности и относительного остаточного удлинения. В момент разрушения фиксируют наибольшее усилие и определяют прочность при растяжении по формуле:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{S_0}, \quad (1)$$

где F_p – нагрузка, при которой образец разрушился, Н;
 $S_0 = b \times h$ – начальное поперечное сечение образца, мм²;
 b, h – ширина и толщина образца соответственно, мм.

Образцы, разрушившиеся за пределами рабочей части, за результат не принимают.

По удлинению в момент разрушения Δl определяют относительное удлинение при разрыве ε :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} 100\%, \quad (2)$$

где Δl – изменение расчетной длины образца в момент разрыва, мм;
 l_0 – расчетная длина, мм.

Модуль упругости определяют по формуле:

$$E_p = \frac{(F_2 - F_1) \cdot L_0}{S_0 \cdot (\Delta l_2 - \Delta l_1)}, \quad (3)$$

где F_1, F_2 – значения нагрузок, соответствующих относительному удлинению 0,1% и 0,3%, Н;

$\Delta l_1, \Delta l_2$ – удлинение при нагрузках F_1, F_2 соответственно, мм.

За результат измерения прочности, относительного удлинения и модуля упругости принимают среднее арифметическое значение для всех образцов.

2.4 Определение усадки полимерных материалов

Полимер разогревают на вальцах в течении 5-6 минут и срезают в виде листа толщиной 1-2 мм. В момент снятия листа на его поверхность, с нижней стороны зазора вальцов, наносится шаблоном окружность диаметром 50 мм. В результате усадки смеси окружность обращается в эллипс с малой осью d_2 . Усадка смесей происходит во времени и практически через 2 часа после снятия листа.

Усадка смесей рассчитывается по формуле:

$$X = ((d_1 - d_2) / d_1) * 100\%, \quad (4)$$

где d_1 – диаметр шаблона, d_2 – малая ось эллипса. Величину замеряют не ранее, чем через 2 часа после снятия резинового листа с вальцов.

2.5 Определение расчетной теоретической плотности

В лабораторный журнал выписывают заданный рецепт смеси в массовых частях на 100 масс.ч. каучука, затем, пользуясь справочными данными таблиц плотности ингредиентов, находят объемы, приходящиеся на долю каждого ингредиента и суммарный объем всей смеси.

Зная массу смеси и ее объем, определяют ее теоретическую плотность по формуле:

$$d = P/V, \quad (5)$$

где d - плотность смеси, кг/м³;

P - масса смеси, кг;

V - объем смеси, м³.

2.6 Определение пластичности каучука и резиновых смесей на пластометре

Пластометр предназначен для определения пластичности каучука или резиновой смеси. К стальной нижней плите 13 — основанию прибора — прикреплены две направляющие колонки 8, соединенные сверху планкой 5. Верхняя плита 9 вместе с грузом 7 и штоком 4 образуют жесткую систему, способную с помощью рычажков 15 и серег 6 двигаться возвратно-поступательно вдоль направляющих колонок. При этом поступательное движение штока передаточным механизмом преобразуется во вращательное движение, фиксируемое стрелкой индикатора 2 часового типа; полный оборот стрелки соответствует перемещению штока на 1 мм. Гайка 1 предназначена для установки стрелки индикатора на нуль. К неподвижной стальной плите 13 прикреплен рычаг 12, на одном конце которого находится площадка 14 для установки образца в центре плиты прибора, а на другом — ручка 11. При установке образцов рычаг поворачивают так, чтобы выступ 10 упирался в плиту, а площадка располагалась точно против середины верхней плиты. В грузе и плите имеются углубления для установки термометра 16 (или термопары). Сжимающее усилие, создаваемое грузом, равно 49 Н.

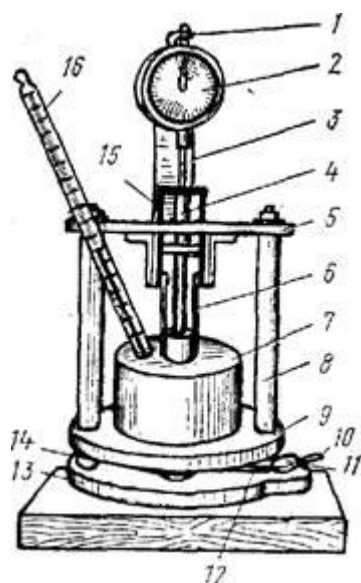


Рисунок 6 – Пластометр

Для испытания используют образцы, имеющие форму цилиндра диаметром $16 \pm 0,5$ мм и высотой $10 \pm 0,5$ мм.

Для определения пластичности образцы каучука или невулканизированных резиновых смесей сжимают между плоскопараллельными плитами под нагрузкой 49 Н при 70°C . Высоту образца измеряют до испытания, после нагружения, после снятия нагрузки и «отдыха». Пластометр устанавливают горизонтально в термостате на металлической подставке.

В углубление груза 7 и плиты 9 вставляют термометр 16 или термопару. Площадку 14 помещают строго в центре прибора и опускают на нее плиту 9. Индикатор устанавливают на нуль. Необходимо, чтобы температура плит пластометра во время испытания равнялась $70 \pm 1^\circ\text{C}$. Перед тем как поместить образец в термостат, измеряют толщиномером его высоту с точностью $\pm 0,1$ мм при $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Перед испытанием образец прогревают при $70 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 3 мин.

Испытуемый образец помещают строго в центре пластометра с помощью подвижной площадки 14. По истечении 3 мин по показанию индикатора 2 с точностью до 0,01 мм фиксируют высоту образца h_1 , находившегося под нагрузкой. Затем с образца снимают груз и пластинки (или прокладки из кальки или целлофана), помещают его на деревянную площадку и после «отдыха» при комнатной температуре в течение 3 мин толщиномером с точностью $\pm 0,01$ мм измеряют высоту образца h_2 . Продолжительность «отдыха» может устанавливаться нормативно-технической документацией. Испытанию подвергается не менее двух образцов.

Пластичность P вычисляют по формуле:

$$P = SR, \quad (6)$$

где S – мягкость;

R – отношение остаточной деформации к общей деформации сжатия.
Мягкость рассчитывают по формуле:

$$S=(h_0-h_1)/(h_0+h_1), \quad (7)$$

где h_0 – начальная высота образца при $23\pm 2^\circ\text{C}$, мм;

h_1 – высота образца, находившегося под нагрузкой в течении 3 мин, мм.

Отношение остаточной деформации к общей деформации сжатия R определяют по формуле:

$$R=(h_0-h_2)/(h_0-h_1), \quad (8)$$

где h_2 – высота образца после снятия груза и «отдыха» в течении 3 мин при $23\pm 2^\circ\text{C}$, мм.

Если не требуется отдельно определять показатели S и R , то пластичность P можно вычислить по формуле:

$$P=(h_0-h_2)/(h_0+h_1). \quad (9)$$

Пластичность выражают в условных единицах; значения пластичности колеблются от 0 до 1.

Для каучука наряду с пластичностью P определяют эластическое восстановление R^1 :

$$R^1= h_2- h_1. \quad (10)$$

Результаты измерений и расчетов заносят в протокол испытаний.
Испытания проводятся в соответствии с ГОСТ 415-75.

2.7 Инструментальное обеспечение экспериментов

2.7.1 Дюрометр для измерения твердости по Шору

Оборудование для определения твердости по Шору было создано изобретателем самого метода. В зависимости от способа, используется дюрометр либо склероскоп.

Прибор, называемый дюрометром, применяют для определения твердости Шора вдавливанием. Данные устройства представлены несколькими типами. Приборы классов D и A включают следующие детали (рис.7):



Рисунок 7 – Дюрометр Шора

– Опорную поверхность. Площадь ее составляет от 100 мм². Имеет отверстие 2,5 — 3,5 мм диаметром в 6 или более мм от края.

– Индентор. Представлен стержнем 1,1 — 1,4 мм диаметром из закаленной стали.

– Индикаторное устройство. Демонстрирует выход за опорную поверхность кончика индентора, выражая в условных единицах его величину.

– Калиброванную пружину. Служит для приложения усилия к индентору.

В качестве дополнительного оборудования, дюрометры оснащают приспособлением для фиксации груза. Оно центрировано по оси индентора и позволяет создавать определенное прижимное усилие.

Что касается типов дюрометров, их дифференцируют на основе шкал, применяемых для разных материалов. Всего существует 12 шкал. Наиболее распространены среди них варианты типов D и A. Тип A отличается направленностью на более мягкие материалы. Приборы данного типа характеризуются, следовательно, меньшим прижимным усилием и большей точностью измерений. Нужно отметить, что сила, создаваемая дюрометром, рассчитывается по специальным формулам.

Склероскопы (рис.8) представлены приборами, оснащенными сферическим бойком. Их также дифференцируют на несколько типов на основе шкал. Наиболее распространены С и D. Так, устройство типа С имеет установленную на штативе с предметным столиком полую трубку с окном. На последнее нанесена шкала. Внутри трубки находится боек 2,5 г массой и 1,25 мм радиусом, удерживаемый фиксирующе-спусковым устройством, установленным сверху трубки. Высоту отскока фиксируют визуально. Устройства типа D имеют более тяжелый боек (36 г) и электронное или механическое устройство регистрации величины отскока. Боек обычно

бывает с алмазным наконечником, хотя для исследования мягких материалов применяют варианты со стальным тупым наконечником.

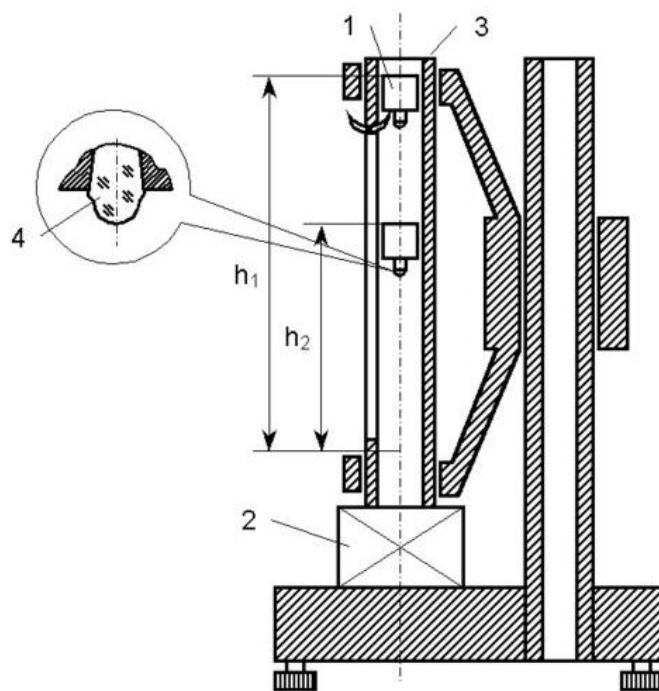


Рисунок 8 – Схема склероскопа Шора

Осуществление измерений

Измерение твердости способом вдавливания (рис.9) выполняют на горизонтальной твердой поверхности. Дюрометр располагают вертикально. Опорную поверхность прибора быстро прижимают к исследуемому предмету и оказывают на него давление. Спустя 15 секунд снимают показания. Далее выполняют вычисление среднего для пяти замеров в различных точках поверхности на взаимном удалении от 6 мм. В случае мгновенного замера показания снимают через секунду после оказания давления. При этом учитывают максимальный результат.



Рисунок 9 – Произведение измерений по методу Шора

В случае получения на дюрометре типа D результатов менее 20, следует использовать прибор типа А, и наоборот, если дюрометр класса А дает значения более 90, переходят на устройство типа D.

Для повышения точности опорную поверхность прижимают к предмету с применением штатива и груза.

Для выполнения корректных измерений необходимо соблюдение следующих требований:

а) Необходимо, чтобы толщина исследуемого предмета составляла от 6 мм. Для достижения данного значения допустимо совмещение нескольких слоев, однако вследствие недостаточно плотного их прилегания возможно отклонение результатов в сравнении с аналогичными цельными предметами.

б) Измеряемые предметы должны иметь размеры, достаточные для осуществления измерений на расстоянии от 12 мм от краев поверхности.

в) Исследуемая поверхность в радиусе хотя бы 6 мм от кончика индентора должна быть ровной. При наличии перепадов, шероховатостей, неровностей происходит существенное отклонение результатов.

г) Материалы кондиционируют.

д) Необходимо учитывать условия среды и исключить те из них, что влияют на параметры материала.

При исследовании методом отскока склероскоп устанавливают вертикально по отвесу или уровню. Измеряемый предмет фиксируют на его столике, зажимается. Цилиндрические детали размещают в специальной подставке, а крупные предметы исследуют съемной частью прибора. В данном случае также проводят пять измерений твердости и результатом считают их среднее значение. При этом удары выполняют с частотой до 5 в 10 секунд, а точки располагают в 2 мм или более друг от друга и от краев.

Таким образом, технология определения твердости методом Шора включает простые, но неточные методы, наиболее применимые для быстрых измерений.

Дюрометр Шора для проведения исследований на полигоне кафедры (рис.10) был разработан на базе пластомера (прибор для измерения вязкопластичных свойств и скорости отверждения реактопластов). Для проведения измерений вместо конуса установили индентор типа А. А нагружение производили воздействием на шток индикатора часового типа грузом массой 1 кг.



Рисунок 10 – Общий вид дюрومتра

2.7.2 Пресс для проведения испытаний на растяжение

Для проведения испытаний на растяжение использовали ручной гидравлический пресс установленный на полигоне кафедры (рис.11) с максимальным усилием 100 кН.



а)



б)

а) пресс гидравлический; б) пример растяжения образца №2.

Рисунок 11 – Пресс для проведения испытаний на растяжение

Для фиксации образца в рабочей зоне пресса использовали: в нижней части – винтовые тиски; в верхней части - захватное устройство клещевого типа.

3 Экспериментальная часть

3.1 Результаты замеров твердости по Шору

Замеры проводились при температуре в лаборатории 21,5°C (входит в диапазон 18...23°C). Замеры проводили в трех точка на расстоянии не менее 12 мм от краев поверхности. Учли, что поверхность всей отливки ровная. Результаты занесли в таблицу 4, усреднили и привели данные из сопроводительных документов.

Таблица 4 – Сравнительная таблица

№	Марка силикона	Данные замера твердости по Шору		Среднее арифметическое	Твердость по Шору из сопроводительных документов
1	Силагерм 5045	1.1	48	47,6	40±3
		1.2	49		
		1.3	46		
2	Силагерм 6070П	2.1	52	52,3	70...75
		2.2	53		
		2.3	52		
3	Пентэласт 710	3.1	30	30	30...50
		3.2	29		
		3.3	31		
4	SilcoTin 40	4.1	32	33	40
		4.2	34		
		4.3	33		
5	PolyFlex 80	5.1	56	56,3	80
		5.2	58		
		5.3	55		

Анализ данных таблицы показал:

- существенное расхождение по маркам Силагерм 6070П и PolyFlex 80 в сторону завышения на 35...40%;
- незначительное по всем остальным -15...20%.

Твердость по Шору

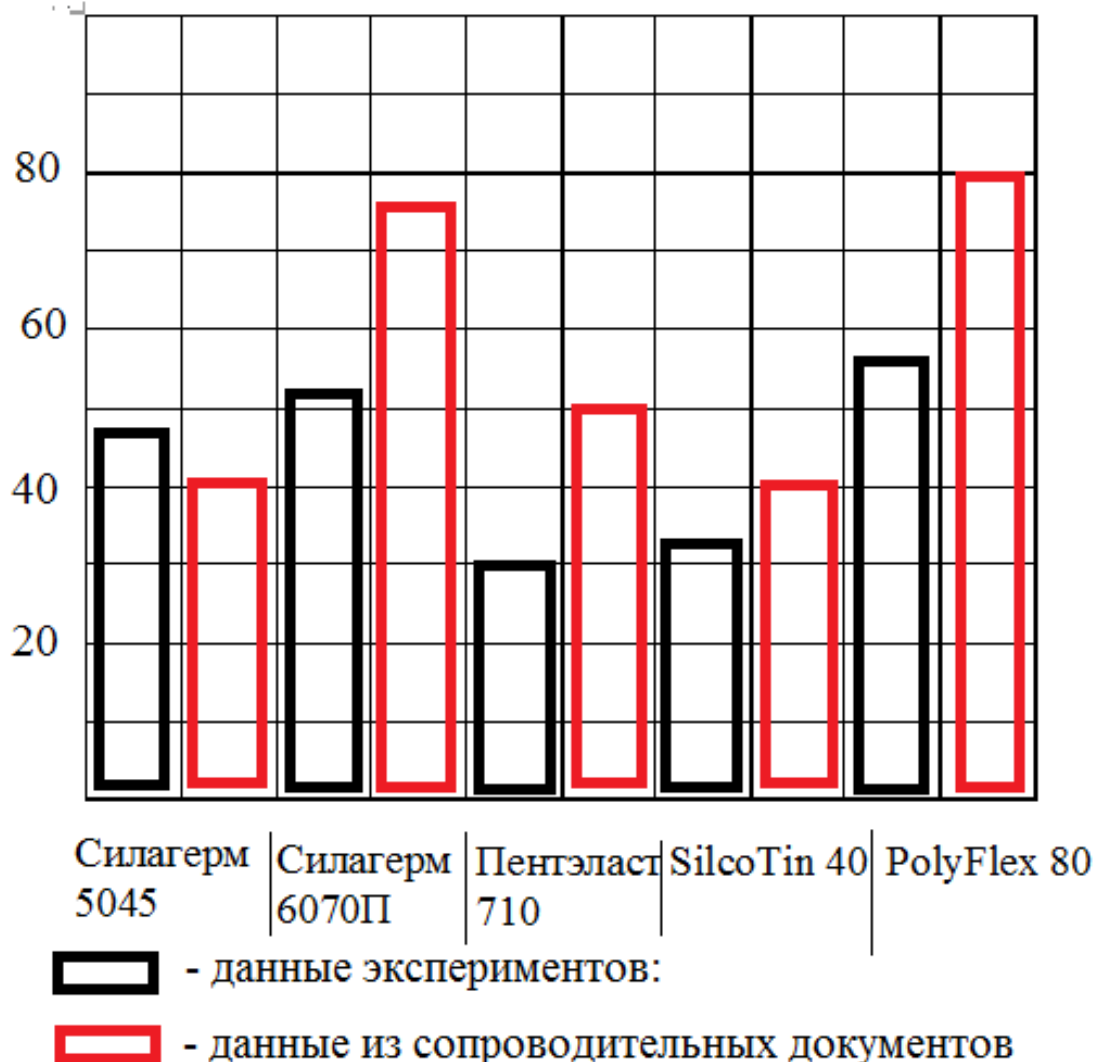


Рисунок 12 – Сравнительная диаграмма твердости по Шору данных замеров и из сопроводительных документов

По материалам замеров можно сказать, что перед использованием составов необходимо проводить контрольные замеры твердости выбранных марок силиконов ввиду достаточно существенных отклонений твердости от заявленных. Видимо сказываются и температура в лаборатории и выдержка точности соотношения между компонентами и качество смешивания и др. факторы. Принимая во внимание высокую стоимость силикона риск получения некачественной (недолговечной) формы весьма велик.

3.2 Результаты замеров прочности на растяжение

Таблица 5 – Сравнительная таблица

№	Марка силикона	Данные замера относительного удлинения	Среднее арифметическое, %	Из сопроводительных документов, %	Данные замера предела прочности на разрыв	Среднее арифметическое, МПа	Из сопроводител ьных документов, МПа
1	Силагерм 5045	1.1	>200	400...600	1.1	4,2	3,5...5,0
		1.2	>200		1.2	4,7	
		1.3	>200		1.3	3,9	
2	Силагерм 6070П	2.1	>200	>550	2.1	14	8...15
		2.2	>200		2.2	11	
		2.3	>200		2.3	16	
3	Пентэласт 710	3.1	126	>120	3.1	2,1	>1,67
		3.2	134		3.2	1,3	
		3.3	150		3.3	1,6	
4	SilcoTin 40	4.1	>200	350	4.1	3,1	3,8
		4.2	>200		4.2	3,0	
		4.3	>200		4.3	2,9	
5	PolyFlex 80	5.1	>200	≥ 1000	5.1	2,7	2,95
		5.2	>200		5.2	2,4	
		5.3	>200		5.3	2,9	

*Лабораторный пресс позволяет проводить испытания с относительным удлинением не более 200%

Предел прочности на разрыв, МПа



Рисунок 13 – Сравнительная диаграмма прочности на разрыв данных замеров и из сопроводительных документов

3.3 Характерные особенности различных марок силиклов

Каждый из исследованных силиконов обладает как достоинствами, так и недостатками, которые необходимо учитывать.

Таблица 6 – Характерные особенности и рекомендации по безопасности

№	Наименование	Цвет	Особенности и преимущества системы	Рекомендации по безопасности
1	Силагерм 5045	коричневый	В отличие от силиконовых компаундов, увеличение дозировки отвердителя не приводит к ускорению вулканизации материала. В полиуретановой системе компаунда Силагерм 5000 носителями полимерных структур являются как основная паста, так и отвердитель, и только точное весовое соотношение компонентов позволяет достичь равномерного и полного отверждения компаунда. Ускорение вулканизации может быть достигнуто нагревом готовой смеси после её нанесения на мастер-модель до 50-60 град.С, но не более.	Используйте компаунд при хорошей вентиляции помещения. Контакт с кожей и глазами может вызвать раздражение. Промойте глаза водой в течение 15 минут и немедленно обратитесь за медицинской помощью. Смойте с кожи водой с мылом. Преполнимеры содержат ничтожное количество TDI, который при проглатывании должен рассматриваться как канцерогенное вещество. Когда смешиваете компаунд, следуйте мерам предосторожности работы с изоцианатами. Носите защитные очки, резиновые перчатки, длинные рукава, чтобы

			Остаточная липкость завулканизованного материала на поверхности обуславливается частичным «выпотеванием» отвердителя (при плохом перемешивании компонентов) и исчезает после протирания изопропиловым спиртом, денатуратом, либо другим летучим растворителем. · Очень высоки показатели прочности на разрыв · Износостойкость · Абразивостойкость. Жидкие полиуретаны чувствительны к влажности и будут абсорбировать влагу из воздуха, поэтому работайте с материалом только в помещениях с пониженной влажностью. Время жизни неиспользованного продукта резко уменьшается после открытия упаковки. Оставшийся продукт должен быть использован как можно быстрее. Инструменты и контейнеры для смешивания должны быть чистыми и сделаны из металла, стекла или пластика.	минимизировать риск контакта с кожей. Недопустим контакт с питьевой водой! При работе с компаундом применять средства защиты согласно ГОСТ 12.4.011-87.
2	Силагерм 6070П	бежевый	· Очень высоки показатели прочности на разрыв · Износостойкость · Абразивостойкость. Жидкие полиуретаны чувствительны к влажности и будут абсорбировать влагу из воздуха, поэтому работайте с материалом только в помещениях с пониженной влажностью. Время жизни неиспользованного продукта резко уменьшается после открытия упаковки. Оставшийся продукт должен быть использован как можно быстрее. Инструменты и контейнеры для смешивания должны быть чистыми и сделаны из металла, стекла или пластика.	Компонент А является TDI-полимером. Пары, которые могут быть значительными, если полимер нагревается или распыляется, вызывают повреждение лёгких и излишнюю возбудимость. Используйте компонент только при хорошей вентиляции помещения. Контакт с кожей и глазами вызывает тяжёлое раздражение. Промойте глаза водой в течение 15 минут и немедленно обратитесь за медицинской помощью. Преполнимеры содержат ничтожное количество TDI, который при проглатывании

				должен рассматриваться как канцерогенное вещество. Компонент В раздражает глаза и кожу. Избегайте продолжительного или повторяющегося контакта с кожей. Если это произошло, промойте глаза водой в течение 15 минут и немедленно обратитесь за медицинской помощью. Смойте с кожи водой с мылом. Когда смешиваете компонент А, следуйте мерам предосторожности работы с изоцианатами. Носите защитные очки, резиновые перчатки, длинные рукава, чтобы минимизировать риск контакта с кожей.
3	Пентэласт 710	белый	Литьевые формы сделанные из силиконового каучука на основе Пентэласт 750 могут эксплуатироваться длительное время при повышенных температурах. Однако, длительное использование форм, при температурах выше 200°C приведет к потере эластичности	Компаунд "Пентэласт®-710" по степени воздействия на организм человека относится к 4 классу опасности по ГОСТ 12.1.007-76 (вещества малоопасные). Он труднотопоч, не обладает раздражающим действием на кожу и слизистые оболочки человека и не образует

			через определенный период времени. Нагрев до температуры выше 250 °C не рекомендуется.	токсичных соединений в воздушной среде и сточных водах в присутствии других веществ или факторов.
4	SilcoTin 40	бирюзовый	Более жесткий, универсальный и эластичный силикон, белого цвета. Благодаря платиновому катализатору стойкий к агрессивным средам смол, пластиков и щелочных сред бетонов. Без запаха. Крепкий, отлично подходит для форм среднего и крупного размера, с требованиями к большому количеству раскраски. Более густой консистенции, хорошо подходит для двусоставных форм и вайнеров, плоских форм. Легкое смешивание 1 к 1. Сертифицирован и соответствует ГОСТ для пищевых целей, безопасен	Силикон предназначен для профессионального применения. Хотя в отвержденном виде силикон безопасен, пока он в неотвержденном виде, необходимо соблюдать меры предосторожности - работать с неотвержденным силиконом только в перчатках (нитриловые перчатки, латекс вступает в реакцию с силиконом), в отведенном для этого проветриваемом помещении.
5	PolyFlex 80	темно зеленый	- Простота применения и переработки - Высокая устойчивость к бетонным смесям - Высокая тиражестойчивость - Удобное для переработки соотношение смешения 1:1 по весу	Не допускать продолжительного контакта с кожей. В случае попадания незатвердевшей массы в глаза промыть их большим количеством воды и немедленно обратиться к врачу.

			- Отсутствие неприятного запаха - 100% сухой остаток - Не содержит растворителей или спиртов - Не требует дегазации - Отлично окрашивается в массу - Крайне низкая вязкость	Изоцианат токсичен. Вдыхание паров или попадание на кожу может вызвать серьезные аллергические реакции. Материал предназначен только для промышленного использования. Защищать от влаги. Попадание воды в емкость, содержащую компонент В (изоцианат) приводит к образованию углекислого газа, что может вызвать избыточное давление в закрытой емкости.
--	--	--	--	--

4 Оценка результатов лабораторных исследований механических свойств силиконов на примере форм различных деталей

4.1 Формы для литья корпуса центробежного насоса ЦН-180

При отливке формообразующей оснастки, для литья корпуса центробежного насоса ЦН180 (рис.14), были приняты во внимание результаты экспериментальных исследований представленных марок литейных силиконов.



Рисунок 14 – Корпус центробежного насоса ЦН180

В частности для отливки формы внешней поверхности половинок улиты был использован SilcoTin 40, как обладающий хорошим относительным удлинением ($>350\%$), средней прочностью на растяжение ($\sigma_p \approx 3,8$ МПа) и невысокой твердостью (≈ 40). Выбор был основан на том, что после отливки половинки корпуса улиты, выемку последней нужно было производить отгибанием кромок силиконовой формы. Серьезных требований по качеству внешней поверхности формы не было.

А для литья формы внутренней поверхности улиты был использован Силагерм 6070П, как обладающий относительно небольшим удлинением ($>500\%$), высокой прочностью на растяжение ($\sigma_p \approx 13,67$ МПа) и высокой твердостью (≈ 70).

При таком сочетании силиконов удалось получить хорошую форму для отливки половинок корпуса улиты (рис.15)



Рисунок 15 – Комплект литья половинки корпуса улиты насоса ЦН180

4.2 Формы для облицовки рабочего колеса

Для изготовления формы было использовано рабочее колесо гуммированное резиной (рис.16).



а)



б)

а – каркас рабочего колеса; б – гуммированное резиной

Рисунок 16 – Гуммированное рабочее колесо насоса ПВН-2

Из стальной полосы ($\delta=0,5$ мм.) изготовили обечайку высотой равной высоте гуммированного рабочего колеса, в которую его обернули и стянули быстроразъемным хомутом.



Рисунок 17 – Обечайка с быстроразъемным хомутом

В полученную форму поэтапно – на первом этапе, со стороны крыльчатки, а затем со стороны резьбовой втулки залили литейный силикон. Получили две отливки: отливку внешнего контура крыльчатки и отливку тыльной стороны колеса (рис.18).

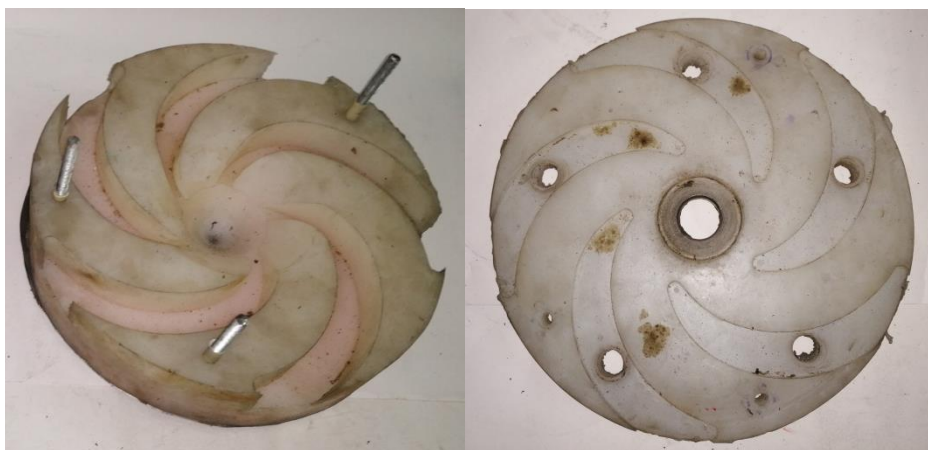


Рисунок 18 – Отливки форм рабочего колеса и литейного силикона

В качестве базы для ориентации форм относительно оси вращения использовали отрезок вала с резьбовым участком и дистанционную втулку насоса к торцовой поверхности которой, прихваточными швами закрепили стальной диск диаметром 300 мм толщиной $\delta=5$ мм. (рис.19)



Рисунок 19 – Узел базирования формы

В конечном итоге получили литейный комплект (рис.20).



Рисунок 20 – Литейный комплект для облицовки рабочего колеса



Рисунок 21 – Литейный комплект в сборе

4.3 Формы для литья промежуточного фонаря

Для изготовления формы в качестве мастер-модели был использован рабочий промежуточный фонарь горизонтального центробежного насоса (рис.22).



Рисунок 22 – Промежуточный фонарь горизонтального центробежного насоса, восстановленный до мастер-модели

Из стального листа ($\delta=0,5$ мм.) изготовили обечайку высотой равной высоте фонаря и диаметром равным диаметру присоединительного фланца.



Рисунок 23– Обечайка для формирования внешней поверхности промежуточного фонаря

В полученную форму было установлена мастер-модель и произведена заливка литейного силикона. Силиконовая форма внешней поверхности промежуточного фонаря, вынутая из обечайки представлена на рисунке 24.



Рисунок 24 – Отливка формы внешней поверхности промежуточного фонаря из литейного силикона

Для отливки силиконовой формы внутренней поверхности промежуточного фонаря в обечайку установили последовательно отливку

внешней формы, мастер-модель и обечайку для формирования внутренней поверхности фонаря, а полость между обечайкой и мастер-моделью залили литейный силикон.



Рисунок 25 – Отливка формы внутренней поверхности промежуточного фонаря из литейного силикона

В конечном итоге получили литейный комплект (рисунок 26).



Рисунок 26 – Литейный (модельный) комплект для отливки промежуточного фонаря

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения аналитических и лабораторных исследований решена важная задача повышения качества формообразующей оснастки, предполагающая проведение испытаний механических свойств литейных силиконов в лабораторных условиях.

Основные выводы и рекомендации:

- данные, приведенные в сопроводительных документах, могут существенно отличаться от фактических (могут сказаться такие факторы как температура, точность дозирования, метод смешивания и т.д.):
- испытания механических свойств литейных силиконов могут быть успешно проведены в условиях кафедральных учебных лабораторий механического профиля не прибегая к услугам специализированных;
- перед использованием литейных силиконов важно серьезно относиться к материалам изложенных в сопроводительных документах: некоторые марки обладающие приемлемыми свойствами могут нести угрозу здоровью (могут быть токсичными).

Термины и определения

Компаунд — термореактивная, термопластичная полимерная смола (отверждаемая в естественных условиях) и эластомерные материалы с наполнителями и (или) добавками или без них после затвердевания.

Силикóны (полиорганосилоксаны) - кислородосодержащие высокомолекулярные кремнийорганические соединения с химической формулой $[R_2SiO]_n$, где R = органическая группа (метильная, этильная или фенильная).

Формовочная смесь — это многокомпонентная смесь формовочных материалов, соответствующая условиям технологического процесса изготовления литейных форм.

Формовочный силикон — высококачественный силикон для создания форм любой сложности.

Индентор — элемент прибора для измерения твёрдости, вдавливаемый в испытываемый материал.

Твёрдость по Шору — один из методов измерения твёрдости материалов. Как правило, используется для измерения твёрдости низкомодульных материалов. Обычно — полимеров: пластмасс, эластомеров, каучуков и продуктов их вулканизации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Резниченко С.В., Морозов Ю.Л. (ред.) Большой справочник резинщика. Том 1. Каучуки и ингредиенты -М.: Техинформ, 2012. — 744 с.
- 2 Платэ Н.А., Сливинский Е.В. Основы химии и технологии мономеров - Учебное пособие. — М.: Наука: МАИК Наука/Интерпериодика, 2002. — 696 с.: ил.
- 3 Бажант, В. Силиконы. Кремнийорганические соединения, их получение, свойства и применение./ пер. с чеш. / В. Бажант, В. Хваловски, И. Ратоуски. - М.:Госхимиздат,1960. - 709 с. : ил.
- 4 Молодцов, Г.А.Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов / Г.А. Молодцов, В.Е. Биткин, В.Ф. Симонов, Ф.Ф. Урмансов.–М.: Машиностроение, 2000. 352 с.
- 5 Аверко-Антонович Ю.И., Бикмуллин Р.Т.Казань, КГТУ, 2002, 604 с. Методы исследования структуры и свойств полимеров: Учебное пособие.
- 6 Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб.пособие/ Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. и др.; под ред. Берлина А.А.. – СПб: Профессия, 2008. – 560 с.
- 7 Вестус У.М. Полиуретаны, покрытия, клеи и герметики. – М.: Пэйнт-Медиа, 2009. – 400 с.
- 8 Яковлев С.Н. О некоторых физических свойствах конструкционных полиуретанов// Известия СПбГТИ, 2013, № 20, с.78-80.
- 9 Кольцов Н.И., Ефимов В.А. Полиуретаны. Соросовский образовательный журнал, том 6, № 9, 2000, с.34-38U
- 10 Голотенков О. Н. Формовочные материалы: Учеб. Пособие.Пенза, 2004 г.

Приложение А

УДК 621.315.617.5

А.Р. Акимжанова, Б.С. Бейсенов

Научный руководитель – Б.С. Бейсенов, к.т.н., ассоциированный профессор

Satbayev University, Қазақстан, г. Алматы

anel_akimzhanova@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИТЕЙНЫХ СИЛИКОНОВ

Аннотация: В данной статье приведен анализ информации по литейным силиконам. Даны характеристики видов выбранных силиконов для испытания на твердость, растяжение и разрыв, также указаны данные по испытанию и рекомендации в выборе силикона для малых и больших изделий. Цель работы состоит в лабораторном определении физических свойств материалов, используемых при изготовлении формовочных матриц для литья из полимерного бетона. Работа проводится для анализа и сравнения физических свойств литейных силиконов.

Ключевые слова: литейный силикон, двухкомпонентный компаунд, испытания на твердость, испытания на растяжение

В последнее время технология тиражирования изделий методом литья в силиконовые формы приобретает все большую популярность. При необходимости получения малой серии отливок часто нерентабельно изготавливать металлическую пресс-форму. Поэтому опытные образцы изделий, которые в серийном производстве изготавливаются из термопластов, часто получают путем литья полиуретановых смол в силиконовые формы. Силиконовые формы позволяют изготовить детали и модели любой сложности и габаритов без создания стандартной дорогостоящей оснастки. Благодаря использованию широкой гаммы материалов отливаемые копии могут быть эластичными, жесткими, стеклоподобными, термостойкими, прозрачными, различных цветов. Мастер-модель для изготовления формы создается по технологии быстрого прототипирования. Благодаря гладким поверхностям и точности изготовления мастер-моделей конечные отливки обладают высоким качеством. Производительность и качество изделий, полученных литьем в силиконовые формы, зависит от выбора исходных материалов, конфигурации отливки, конструктивных особенностей литниково-питающей системы и технологических параметров литья.

Литейный силикон – полимерный материал, который используется для изготовления форм и мастер-моделей. Большинство продуктов данной категории представляют собой 2-х или 3-х компонентные силиконовые компаунды, в состав которых входит основное вещество (база) и катализаторы (агенты). Последние добавляются в смесь непосредственно перед нанесением на заготовку и запускают процесс отверждения материала. После окончания периода отверждения форма снимается с образца и может использоваться для производства аналогичных изделий. Для эффективного применения таких составов они должны обладать, с одной стороны, достаточной пластичностью, чтобы в точности повторить форму образца, а с другой – высокой твердостью и прочностью после застывания, чтобы обеспечить возможность литья в дальнейшем.

Силиконы применяются для изготовления деталей со сложной конфигурацией и применяются в промышленном и художественном секторах, включая изготовление форм для производства прототипов, мебели, скульптур, архитектурных элементов, для создания свечей и гипсовых статуэток, игрушек, мыла, скульптур различных форм и т.д.

Силиконы, применяемые для изготовления литьевых форм, являются уникальными материалами, прочными и устойчивыми к высокой влажности и перепадам температуры. Существует удивительное многообразие силиконов для форм различного назначения.

Очень большой разброс видов силикона по прочности, по твердости, при выборе которых мы должны учитывать габариты, материал изделия, то есть для каждого случая мы должны выбрать подходящий силикон. Например, если для больших моделей выбрать мягкий силикон, то форма увеличится, то есть раздавит силикон, и форма не будет точной.

Для определения наилучших свойств для использования литейных силиконов были взяты разные виды литейных силиконов, которые были отлиты в одинаковую форму для дальнейших испытаний.

В качестве объектов мы приняли 5 видов силикона:

1. Силагерм 5045
2. Силагерм 6070П
3. Пентэласт 710
4. SilcoTin 40
5. PolyFlex 80



Силагерм 5045 – двухкомпонентный заливочный полиуретановый компаунд холодного отверждения для изготовления различных изделий: формы для заливки гипса, бетона (только с применением разделительных смазок), различных смол с температурой отверждения не выше $+110^{\circ}\text{C}$. Предназначен для: изготовления эластичных форм при производстве искусственного камня, тротуарной плитки, различных архитектурных и художественных изделий из гипса, бетона (с применением разделительного состава - эмульсол, солидол и т.п.), изготовления изделий технического назначения.

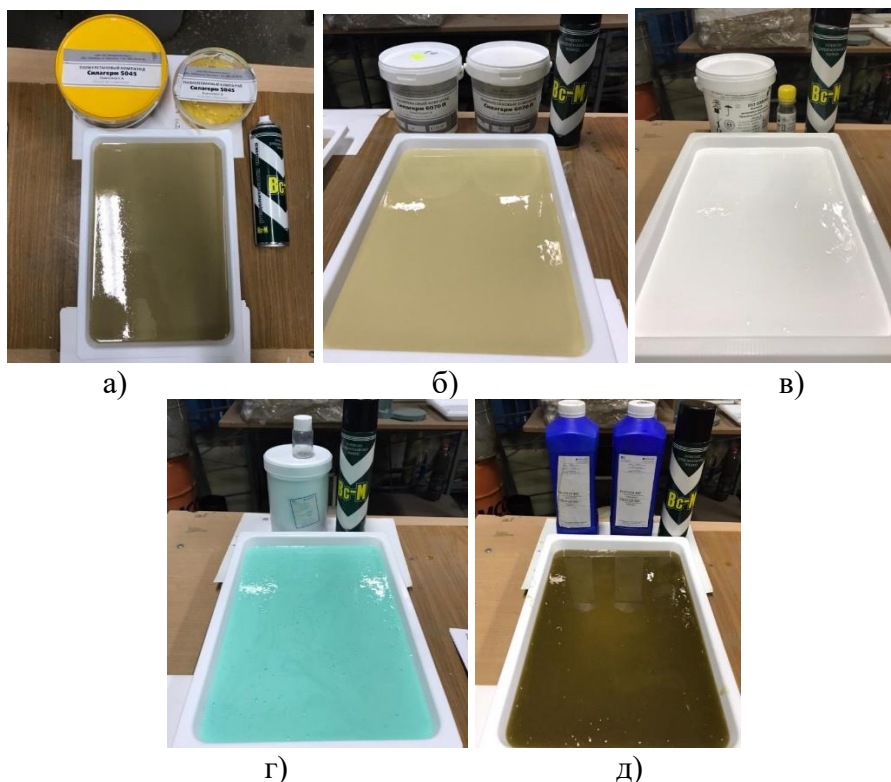
Полиуретановый компаунд Силагерм 6070П холодного отверждения – предназначен для изготовления эластичных износостойких изделий и покрытий, работающих в условиях воздействия агрессивных сред; природного газа, воды, кислоты, щелочи, растворителей. Материал имеет высокую абразивную стойкость, хорошо гасит вибрацию, имеет прекрасную адгезию к различным поверхностям. Предназначена для изготовления износостойких изделий и покрытий, работающих в условиях воздействия агрессивных сред; природного газа, воды, кислоты, щелочи, растворителей. Температурный режим работы изделий из ПУ от минус 60 до плюс 110°C .

Компаунд «ПЕНТЭЛАСТ-710» предназначен для изготовления гибких литейных форм, используемых для многократного тиражирования копий изделий сложной конфигурации. Литейные формы из «ПЕНТЭЛАСТА-710» могут эксплуатироваться длительное время при температурах не выше 200°C . Использование форм при температурах выше 200°C через определенное время приводит к потере эластичности. Нагрев выше 250°C не рекомендуется. «ПЕНТЭЛАСТ-710» представляет собой вязкую текучую композицию белого цвета. Поставляется в виде основы в комплекте с катализатором. Отверждение компаунда «ПЕНТЭЛАСТ-710» происходит при комнатной температуре до резиноподобного состояния в течение 24 часов.

Силиконовый компаунд на основе олова SilcoTin - жидкий силикон и отвердитель на основе олова, с разной вязкостью и твердостью по Шору А (10,15,20,25,30,40), отверждается при комнатной температуре, соотношение компонентов 100:2. Обладает исключительной текучестью, удобством и простотой использования, легкой расформовкой. Хорошая растяжимость, эластичность, прочность на раздир, незначительная усадка. Высокая тиражируемость и долговечность эксплуатации. Состав: диметикон (Dimethicone)-50% и белая сажа (White carbon black) -50 %. Применяется для создания эластичных форм.

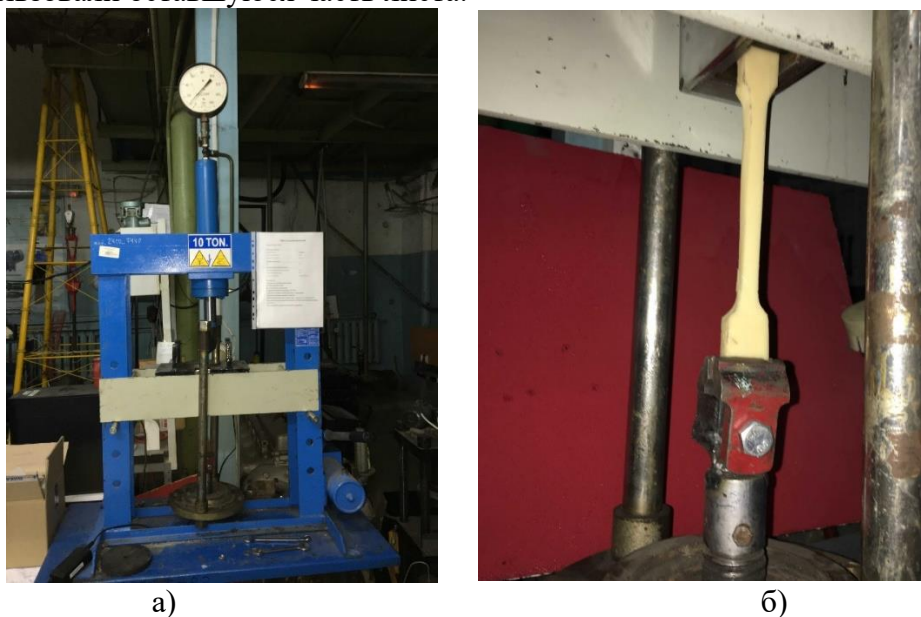
PolyFlex 80 – двухкомпонентная полиуретановая система итальянского производства комнатного отверждения низкой вязкости, применяется для создания форм и штампов для литья бетона, гипса, пенополиуретана и полиуретановых пластиков, воска, мыла и других

заливочных материалов. Полиуретан серии PolyFlex можно использовать для изготовления резинотехнических изделий различного назначения.



а - Силагерм 5045, б - Силагерм 6070П, в - Пентэласт 710, г - SilcoTin 40, д - PolyFlex 80
Рисунок 1 - Отлитые в одинаковую форму силиконы

В первую очередь подготовили силиконы для испытания. Для этого в одинаковую форму отлили силиконы соблюдая точную инструкцию и технику безопасности (рис.1). После отверждения «силиконовых листов» вырезали из них нужную форму для испытания на разрыв в форме двусторонней лопаты. А для определения твердости по Шору использовали оставшуюся часть листа.



а) пресс гидравлический; б) пример растяжения образца №2.
Рисунок 2 – Испытание на растяжение

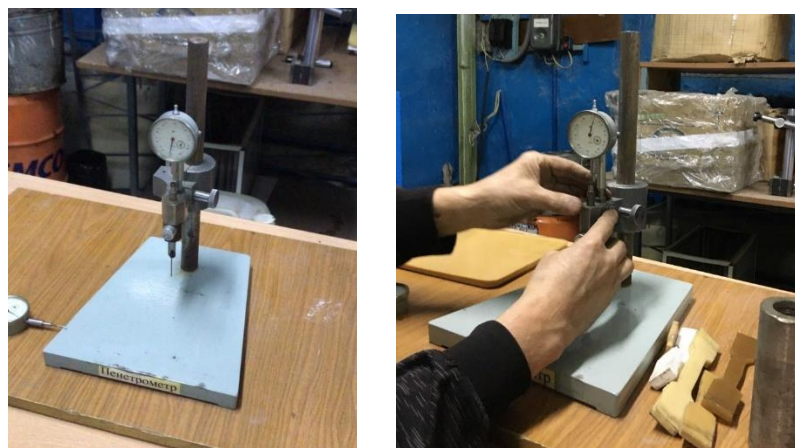


Рисунок 3 – Испытание на твердость по Шору

Таблица 1 – Результаты испытаний различных марок литейных силиконов

№	Наименование	Твердость, IRHD	Удлинение, см	Усадка, %	Цвет
1	Силагерм 5045	49	разрыв	$\geq 0,1\%$	коричневый
2	Силагерм 6070П	52	30	$\geq 0,1\%$	бежевый
3	Пентэласт 710	30	28	1-1,5%	белый
4	SilcoTin 40	32	30	$\leq 0,3\%$	бирюзовый
5	PolyFlex 80	56	30	$\geq 0,1\%$	темно зеленый

Рекомендуем для литья малых форм, где прочность не играет большую роль, использовать силиконы под номером 3 и 4 (Пентэласт 710, SilcoTin 40), а для крупных изделий мы должны использовать силиконы под номером 1, 2, 5 (Силагерм 5045, Силагерм 6070П, PolyFlex 80) у которых высокая твердость. Потому что, мягкие силиконы дадут увеличение параметров.

Литература

1. Адашкин, А.М. Материаловедение и технология металлических, неметаллических и композиционных материалов: Учебное пособие / А.М. Адашкин, А.Н. Красновский. - М.: Форум, 2011. - 144 с
2. Основы конструирования отливок. Параметры точности и припуски на механическую обработку: Учеб.пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004.– 164 с.

А.Р. Акимжанова, Б.С. Бейсенов

ҚҰЮ СИЛИКОНДАРЫНЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Бұл мақалада силикон құю туралы ақпаратты талдау берілген. Қаттылықты, созылуды және үзілуді сынау үшін тандалған силикондар түрлерінің сипаттамалары келтірілген, сонымен қатар шағын және үлкен өнімдерге арналған силиконды таңдаудағы сынақ деректері мен ұсыныстар көрсетілген. Жұмыстың мақсаты полимерлі бетоннан құю үшін қалыптау матрицаларын өндіруде қолданылатын материалдардың физикалық қасиеттерін зертханалық анықтау болып табылады. Жұмыс құю силикондарының физикалық қасиеттерін талдау және салыстыру үшін жүргізіледі.

Түйінді сөздер: құю силиконы, екі компонентті компаунд, қаттылық сынақтары, созылу сынақтары

A.R. Akimzhanoova, B.S. Beysenov

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PARAMETERS OF FOUNDRY SILICONES

Annotation. This article provides an analysis of information on foundry silicones. The characteristics of the types of selected silicones for testing for hardness, tension and tear are given, as well as test data and recommendations for choosing silicone for small and large products. The aim of the work is to determine in a laboratory the physical properties of materials used in the manufacture of molding matrices for casting polymer concrete. The work is carried out to analyze and compare the physical properties of foundry silicones.

Keywords: foundry silicone, two-component compound, hardness tests, tensile tests

Приложение Б

ПРОЕКТ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ
ПО ФОРМИРОВАНИЮ МАТРИЦ ДЛЯ ЛИТЬЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОРПУСОВ
РЕДУКТОРОВ Ц2-250

Алматы 2021

Область применения

Настоящая технологическая инструкция распространяется на процесс изготовления силиконовых матриц для литья элементов корпуса редуктора Ц2-250: основания и крышки.

Корпус редуктора – это деталь, обеспечивающая взаимное расположение деталей узла и воспринимающая основные силы. И основание и крышка имеют коробчатую конструкцию, как правило, довольно сложной конфигурации. Включает в себя бобышки, фланцы, ребра, стенки и т.д., которые в объединены в одно целое. Корпус редуктора является его базовой деталью, габаритные размеры которой определяются видом передаточных механизмов, составляющих редуктор; числом, размерами и относительным расположением деталей этих механизмов во внутренней полости корпуса; принятой системой смазывания зацеплений зубчатых колес редуктора и его подшипниковых узлов.

Базовые правила работы с формовочным компаундом

На упаковке с формовочным компаундом присутствует инструкция, содержание которой позволит без проблем справиться с задачей. Первый шаг – подготовка оригинальной детали. Если таковой под рукой нет, берут ее имитацию. Второй шаг – нужно найти емкость, в которую проведут заливку. Здесь применяют, например, ящик. Третий шаг – точный расчет необходимого объема формовочного компаунда. Одновременно с этим учитывают предполагаемый уровень нагрузки на литевную форму. Четвертый шаг – создание 2-х компонентной смеси, которая, исходя из составленного технического задания (ТЗ), может включать функциональные присадки. Процесс заливки проходит в 1-2 этапа, в зависимости от деталей, зафиксированных в ТЗ. Точность расчета обеспечит экономный расход вещества, а также снизит вероятность появления брака.

Организация контроля за качеством и безопасностью продукции.

Материал отличается экологической безопасностью. В производственном цикле не используют летучие растворители, что исключает возможный вред для здоровья человека. Благодаря этим качествам материал нашел свое применение в сфере пищевой промышленности, в изготовлении товаров для несовершеннолетних.

Для снижения процента брака и неудачных отливок стоит руководствоваться некоторыми правилами:

- строгое соответствие инструкции по замешиванию компаунда без внесения творческих поправок;
- предварительное тестирование новых материалов на совместимость с силиконом.

Работу с формовочным компаундом проще всего осуществлять в вакуумной камере с насосом, который откачает лишний воздух из смеси прежде чем начнется заливка. Это необходимо для приятного эстетического вида без застывших пузырьков внутри.

Полезными приспособлениями будут сушильный шкаф или духовка. Термическая обработка позволяет получить необходимые свойства физико-химического качества. Конечно материал не обладает токсическими свойствами, но нагревать в простой духовке все же не стоит.

Производить работы с компаундом разрешается только в перчатках из винила, ни в коем случае не заменять латексными.

Еще одним важным аспектом является температура окружающей среды. Готовые смеси из компаунда быстро портятся при температуре выше 23 градусов, а при значении менее 18 градусов останавливается процесс застывания силикона в матрице.

Срок годности смеси довольно короток, а при высоких температурах сокращается в геометрической прогрессии. Открытую банку необходимо использовать в кратчайший срок. Взаимодействие с воздухом портит его технические параметры. Поэтому рационально использовать небольшие банки.

Для разных целей будет использоваться различный материал, зачастую для сложных фигур используется несколько видов. Зачастую форма отливается самостоятельно также из силикона.

При выборе материала стоит уделить внимание таким характеристикам как мягкость, время застывания, вязкость, время жизни или текучести. Специалисты в один голос рекомендуют отливать формы для фигурок из компаунда на основе платины. Они обладают достаточным уровнем эластичности и большой твердостью. На основе олова не позволяет отливать матрицы из-за сложностей застывания.

Рекомендуется 2 способа отливки:

- заливкой;
- поэтапным ручным нанесением при помощи кисточки.

Капризы силикона как материала

Формовочный материал для литья является одним из самых капризных. Он портит всю работу буквально при соприкосновении с деталями. При контакте незастывшего в форме вещества и пластилина содержащего серу, приводит к отравлению силикона, соответственно работу можно начинать с нуля.

К ингибиторам можно отнести:

- латекс;
- деревянные палочки и прочие предметы из дерева;
- резина на каучуке, эпоксидной смоле, полиуретан и полиэфир.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию
(наименование вида работы)

Акимжановой Анель Рашидкызы
(Ф.И.О. обучающегося)

7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования
(шифр и наименование специальности)

На тему: Исследование влияния эксплуатационных свойств литейных силиконов на процесс формирования матриц для литья изделий из полимербетона с разработкой ТИ

Выполнено:

- а) презентация на _____ слайдах
б) пояснительная записка на 50 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

1. В материалах диссертации автор уделила достаточно много внимание литейным силиконам, хотя тема исследования влияния эксплуатационных свойств на процесс формирования матриц не до конца раскрыта – имело смысл обратить внимание на такое свойство как усадка.

2. Результаты исследования на механическую прочность носят весьма приблизительный характер.

3. Автор не обратила достаточного внимания на подготовку образцов для испытания на растяжение – наверное стоило вырубать образцы, а не вырезать.

4. Как пожелание: автору можно было порекомендовать все-таки поискать стандартный прибор для определения твердости по Шору, а не приспособливать что-то. Думаю, что они стоят не так дорого и находятся в свободном обращении (продаже).

Оценка работы

Магистерская диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским работам и установленным требованиям к ее оформлению и заслуживает оценки 93 балла, а ее автор – Акимжанова Анель Рашидкызы - присвоения академическая степень «Магистра технических наук»

Рецензент

Зав. лабораторией разрушения горных пород ИГД им. Д.А. Кунаева, д.т.н., профессор
(подпись, уч. степень, звание)

Е.К. Едыгенов Ф.И.О.

(подпись)

06 2021 г.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
СӨТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ
на магистерскую диссертацию
(наименование вида работы)
Акимжановой Анель Рашидкызы
(Ф.И.О. обучающегося)

Направление подготовки 7М07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования
(шифр и наименование специальности)

Тема: «Исследование влияния эксплуатационных свойств литейных силиконов на процесс формирования матриц для литья изделий из полимербетона с разработкой ТИ»

Актуальность темы диссертации. Главной целью машиностроения в настоящее время является внедрение современных технологий, которые повышают качество и снижают себестоимость изделия, способствуют созданию эффективной, конкурентно способной техники, при этом не требующие больших капиталовложений. Основной проблемой при изготовлении корпусов из полимербетонных является правильный выбор материалов для изготовления формообразующей оснастки - марки силиконов и учет таких факторов лабораторных условий как температура, влажность, точное соблюдение дозировки компонентов, режимов смешивания.

Магистранткой проведен аналитический обзор рынка силиконовых компаундов, особенностей приготовления смесей, методов определения механических характеристик, сравнительная оценка данных экспериментов.

В выводах к работе показано, что

1. данные, приведенные в сопроводительных документах, могут существенно отличаться от фактических (могут сказаться такие факторы как температура, точность дозирования, метод смешивания и т.д.);
2. испытания механических свойств литейных силиконов могут быть успешно проведены в условиях кафедральных учебных лабораторий механического профиля, не прибегая к услугам специализированных;
3. перед использованием литейных силиконов важно серьезно относиться к материалам изложенных в сопроводительных документах: некоторые марки, обладающие приемлемыми свойствами могут нести угрозу здоровью (могут быть токсичными).

Цели и задачи магистерского работы не только правильно сформулированы, но и решены.

Магистрант способен проводить исследовательскую деятельность.

Выводы и рекомендации магистрантки в полной мере отражают основные положения представленной работы и могут быть практически реализованы при изготовлении корпусных деталей.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским работам и установленным требованиям к их оформлению и может быть «Допущена» к защите.

Научный руководитель

Ассоц. проф. к.т.н.
(должность, уч. степень, звание)
 Бейсенов Б.С.
(подпись)

«17» 06 2021 г.

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Акимжанова Анель Рашидкызы

Название: «Исследование влияния эксплуатационных свойств литейных силиконов на процесс формирования матриц для литья изделий из полимербетона с разработкой ТИ»

Координатор: Бауржан Бейсенов

Коэффициент подобия 1:6.2

Коэффициент подобия 2:4.6

Замена букв:5

Интервалы:0

Микропробелы:112

Белые знаки:0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- ☒ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

Работа выполнена в работе самостоятельно
с незначительными добросовестными
заимствованиями

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Работа допускается к защите

Дата 18.08.2021

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Акимжанова Анель Рашидкызы

Название: «Исследование влияния эксплуатационных свойств литейных силиконов на процесс формирования матриц для литья изделий из полимербетона с разработкой ТИ»

Координатор: Бауржан Бейсенов

Коэффициент подобия 1:6.2

Коэффициент подобия 2:4.6

Замена букв: 5

Интервалы: 0

Микропробелы: 112

Белые знаки: 0

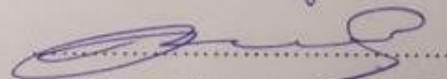
После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- ☒ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

Работа выполнена самостоятельно с элементами цитирования.
Заимствования добросовестны, основаны на источниках, с которыми ставились ссылки в исследовании.
12.06.2021.

Дата



Подпись Научного руководителя