

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет
машиностроения и транспорта
(наименование)

Кафедра
Сварочное, литейное производство
и материаловедение
(наименование)

Направление подготовки

22.03.01 «Материаловедение и
технология материалов»
(код и наименование)

Профиль

«Материаловедение и технология новых
материалов»
(наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА
на тему
«Исследование структуры и механических свойств
полимерно-керамических композиционных материалов
на основе полиэтиленовой матрицы полученных методом
горячего прессования»

Студент

Бн -
(подпись, дата)

Быкова Анастасия Андреевна
(фио полностью)

Научный руководитель
к.т.н., доцент

Логин О.Н.
(подпись, дата)

Логин О.Н.
(фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент

Хорин А.В.
(подпись, дата)

Хорин А.В.
(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 04.06.18 № 11)

Заведующий кафедрой

Логин О.Н.
(подпись, дата)

Логин О.Н.
(фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой удовлетворительно (протокол заседания ГЭК от 19.06.2018 № 1)

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент

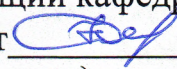
Гуськов М.С.
(подпись, дата)

Гуськов М.С.
(фамилия, инициалы)

Пенза 2018

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой СЛПИМ
к.т.н., доцент  О.Н. Логинов
подпись

« 08 » 12 2017 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студентке гр. 14МТ1 Факультета машиностроения и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»

Быковой Анастасии Андреевне.

Научный руководитель работы: к.т.н., доцент Логинов О.Н.

Время выполнения ВКР: с 08.12.2017 г. по 26.06.2018 г.

Место преддипломной практики: кафедра «Контроль и испытания материалов» ПГУ.

Тема работы: Исследование структуры и механических свойств полимерно-керамических композиционных материалов на основе полиэтиленовой матрицы полученных методом горячего прессования.

Тема утверждена приказом ректора ПГУ № 1253/О от 08 декабря 2017 г.

Техническое задание на работу (назначение устройства, условия применения, внешние воздействия, специальные требования и т.п.): выполнить исследование влияния параметров горячего прессования на структуру и механические свойства полимерно-керамических композиционных материалов на основе полиэтиленовой матрицы с содержанием керамики 50 и 70 объемных процессов.

Объём и содержание основной части работы

Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчетов, обоснований, описаний):

- введение с обоснованием актуальности темы исследования, установления объекта и предмета, постановкой цели и задач исследования;
- теоретический анализ проблемы применения полимерно-керамических и керамико-полимерных материалов в производстве, технологии формования готовых изделий;
- исследовательский раздел – обоснование применяемых методов исследования, оборудование и методика планируемых экспериментов;
- экспериментальный раздел – описание результатов исследования и выявленных зависимостей;

- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Презентация бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов)

- тема ВКР	1л А4;
- цели и задачи выпускной работы	1л А4;
- актуальность работы	1л А4;
- структура ПКМ	1л А4;
- исходные материалы и их свойства	1л А4;
- основные методы исследования	1л А4;
- влияние давления горячего прессования на плотность заготовки	1л А4;
- исследование влияния температуры горячего прессования на плотность и механические свойства заготовки	1л А4;
- исследование микроструктуры ПКМ	1л А4;
- результаты исследования	1л А4;
- основные выводы	1л А4.

Рекомендуемая литература:

1. Портной, К.И. Структура и свойства композиционных материалов [Текст]: монография /Портной К.И., Левинский Ю.В., Салибеков С.Е., Чубаров В.М.- М.: Машиностроение, 1979. - 255 с.

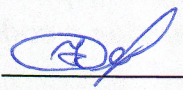
2. Современные композиционные материалы [Текст]: пер. с англ / под ред. П. Крока и Л. Броутмана. - М., Мир, 1970. 236 с.

3. Композиционные материалы [Текст]: справочник / под ред. Карпиноса Д.М. – Киев: Наукова думка, 1985.- 592 с.

Дата выдачи задания: 08.12.2017 г.

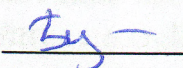
Руководитель ВКР:

к.т.н, доцент

 О.Н. Логинов

Задание к исполнению принял студент

гр. 14MT1

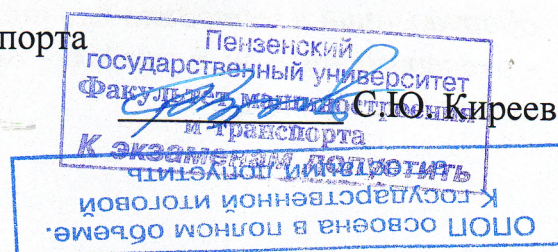
 А.А. Быкова

08 декабря 2017 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить

Декан факультета машиностроения и транспорта

Политехнического института ПГУ



Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 52 с., 17 рис., 19 табл., 29 использованных источников и одно приложение.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛИМЕРЫ, ПОЛИЭТИЛЕН, ПОЛИМЕРНО-КЕРАМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ГОРЯЧЕЕ ПРЕССОВАНИЕ.

Тема бакалаврской работы: Исследование структуры и механических свойств полимерно-керамических композиционных материалов на основе полиэтиленовой матрицы полученных методом горячего прессования.

Объектом исследования данной работы является высоконаполненный полимерно-керамический композиционный материал на основе полиэтиленовой матрицы с содержанием керамического компонента 50 и 70 %.

Цель выпускной квалификационной работы – исследовать влияние технологических параметров горячего прессования на структуру и механические свойства высоконаполненного полимерно-керамического композиционного материала на основе полиэтиленовой матрицы с содержанием керамического компонента 50 и 70 об.%.

Задачи бакалаврской работы:

а) провести литературный обзор используемых в настоящее время полимерно-керамических материалов;

б) определить влияние технологических параметров горячего прессования на структуру и механические свойства высоконаполненного полимерно-керамического композиционного материала на основе полиэтиленовой матрицы;

в) исследовать взаимосвязь структуры и механических свойств высоконаполненного полимерно-керамического композиционного материала на основе полиэтиленовой матрицы с содержанием керамического компонента 50 и 70 %.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ103 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Исследование структуры и механических свойств полимерно-керамических композиционных материалов на основе	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Быкова А.А.					2		
Провер.		Логинов О.Н.				Каф.СЛПуМ, гр.14 Т1			
Рецензент									
Н. Контр.		Хорин А.В.							
Утверд.		Логинов О.Н.							

Содержание

Введение.....	5
1 Теоретический анализ проблемы применения полимерно-керамических и керамико-полимерных материалов в производстве.....	8
1.1 Направления создания композиционных материалов со специальными свойствами.....	8
1.2 Критерии подбора и сочетания компонентов.....	11
1.3 Методы получения композитов и формования готовых изделий.....	15
1.4 Основные принципы конструирования композиционных материалов.....	18
1.5 Выводы.....	25
2 Обоснование применяемых методов исследования.....	27
2.1 Основные материалы, применяемые в исследовании.....	27
2.2 Основные характеристики полиэтиленовой матрицы.....	31
2.3 Методики, приборы и оборудование, предназначенные для исследований.....	36
2.3.1 Оборудование и технология горячего прессования.....	36
2.3.2 Методика и оборудование фрактографических исследований.....	38
2.3.3 Методика и оборудование оценки механических свойств.....	39
Выводы.....	40
3 Структура и основные физико–механические свойства полимерно–керамического материала после горячего прессования.....	41
3.1 Исследование основных физико–механических свойств полимерно–керамического материала после горячего прессования.....	41
Выводы.....	46
Заключение.....	47

Список используемой литературы.....	49
Приложение А.....	52

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ103 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

Введение

На сегодняшний день, композиционные материалы (КМ) по праву считаются материалами будущего, поскольку открывают широкие возможности для улучшения существующих и разработки новых конструкций. Благодаря грамотному подходу к созданию композиционного материала можно получить целый ряд новых материалов, обладающих заранее спрогнозированными, уникальными свойствами, например заданные значения прочности, лёгкости, достаточно высокую жёсткость, немагнитость, радиопрозрачность и т.д.

Структурно композиционные материалы чаще всего представляют собой гетерогенные системы, которые состоят из химически разнородных компонентов с четко различимой границей раздела и свойствами, не присущими каждому компоненту по отдельности. Традиционно композиционные материалы состоят из наполнителя (армирующих элементов) и матрицы, соединяющей их по всему объему.

Каждый компонент, входящий в состав композиционного материала, выполняет свою важную роль:

- наполнитель – обеспечивает прочностные или функциональные характеристики материала;
- матрица – перераспределяет нагрузки между элементами материала, предохраняет его от повреждающих механических воздействий, обеспечивает монолитность, фиксирует форму и размеры готовых изделий.

Вместе с тем, применение композиционных материалов для конкретного изделия требует разработки своего, зачастую уникального материала обладающего особым комплексом механических и функциональных свойств. Для разработки такого композиционного материала необходимо провести серию экспериментов по подбору исходных компонентов, выбору требуемого пространственного расположения армирующих наполнителей и их количества, выбрать определенный технологический процесс изготовления композита и готовых изделий.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ103 ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При формировании готовых изделий, для правильного выбора направления расположения армирующих волокон необходимо учитывать характер направления сил приложения в готовых изделиях.

Таким образом, современные знания о композитах, обосновывают возможность конструировать их с заранее заданными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. Обычно эти характеристики превосходят характеристики поликристаллических материалов в несколько раз и даже на несколько порядков.

Создание и внедрение композитов в производство сопровождается целым комплексом сопутствующих положительных эффектов. Например, в ряде случаев значительно упрощается технология изготовления готовых деталей и конструкций из этих материалов, это в свою очередь сопровождается экономией энергетических, человеческих и материальных ресурсов. Также выражены эффекты снижения эксплуатационных расходов, проявляющихся в экономии топлива, удлинении сроков межремонтной эксплуатации, увеличении ресурса работы готового изделия и т.д.

Сейчас происходит активное расширение отраслей применения композиционных материалов. В первую очередь КМ вторгаются в отрасли, где условия работы характеризуются обычными, традиционными условиями эксплуатации, с режимами далекими от экстремальных.

Применение КМ зачастую приводит к существенному удешевлению стоимости готового изделия. Косвенно, при проектировании и исследовании различных вариантов удовлетворяющих требованиям готового изделия, происходит создание большой и разнообразной группы КМ из разнообразных составляющих элементов, различающихся как по стехиометрическому составу, геометрическим и пространственным параметрам наполнителя, так и по физическим и механическим свойствам.

Таким образом, разработка и внедрение КМ в реальное производство связано с необходимостью применения научных исследований направленных на

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ103 ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

изучение целого комплекса факторов, определяющих важные эксплуатационные свойства элементов конструкций на их основе.

В этой связи объектом исследования данной работы является высоконаполненный полимерно–керамический композиционный материал на основе полиэтиленовой матрицы с содержанием керамического компонента 50 и 70 %.

Предметом исследования является характер влияния параметров горячего прессования на структуру и свойства полученного композиционного материала.

Цель работы – исследовать влияние технологических параметров горячего прессования на структуру и механические свойства высоконаполненного полимерно–керамического композиционного материала на основе полиэтиленовой матрицы с содержанием керамического компонента 50 и 70 %.

Задачи работы:

а) провести литературный обзор используемых в настоящее время полимерно–керамических материалов;

б) определить влияние технологических параметров горячего прессования на структуру и механические свойства высоконаполненного полимерно–керамического композиционного материала на основе полиэтиленовой матрицы;

в) исследовать взаимосвязь структуры и механических свойств высоконаполненного полимерно–керамического композиционного материала на основе полиэтиленовой матрицы с содержанием керамического компонента 50 и 70 %.

Процесс исследования проводился следующими методами: анализ технической литературы, анализ патентной информации, анализ нормативно–правовой документации по теме работы, обобщение полученной информации, теоретический анализ, обобщение экспериментальных результатов.

При написании выпускной квалификационной работы была использована учебная и периодическая литература, статьи из научно–практических изданий, результаты научных исследований кафедры «Сварочное, литейное производство и материаловедение».

1 Теоретический анализ проблемы применения полимерно-керамических и керамико-полимерных материалов в производстве

1.1 Направления создания композиционных материалов со специальными свойствами

Композиционные материалы (композиты) (от лат. compositio- составление) – многокомпонентные материалы, состоящие из двух или более компонентов, количественное соотношение которых должно быть сопоставимым. Компоненты существенно отличаются по свойствам, а их сочетание должно давать некий синергический эффект, который трудно предусмотреть заранее [1].

Основным способом получения композиционных материалов с комплексом заданных свойств является смешивание базовых полимеров с другими компонентами обеспечивающими реализацию основных эксплуатационных свойств.

Чаще всего наполнитель образует свою, собственную фазу, превращая композит в гетерофазную систему. Композиты, или композиционные материалы могут создаваться на полимерной, металлической и керамической основах. Композиционные материалы, имеющие полимерную непрерывную фазу, являющуюся матрицей, и одну или несколько дисперсных фаз, называются полимерными композитами.

Из всех пластиков общего назначения первые места сегодня занимают полипропилен, полиэтилентерефталат и полиэтилен. Причем полипропилен активно вытесняет остальные полиолефины благодаря разнообразию смесей, сплавов и композитов на его основе [2].

При этом многие современные полимерные материалы, которые выступают в качестве базовых, сами являются многокомпонентными системами, в которых наряду с полимерной основой присутствуют различные добавки, например углерод в полиэтилене как сведостабилизирующая добавка. Содержание добавок в полимерной композиции может изменяться в очень широких

пределах от сотых долей до десятков процентов. Поэтому, при создании КМ, необходимо знать и учитывать влияние исходных добавок в базовом полимере. Добавки могут в той или иной степени влиять на физико–механические, фрикционные, теплофизические, электрические, оптические и другие эксплуатационные характеристики исходного (базового) полимера.

«Направленное изменение свойств базового полимера достигается путем введения следующих добавок:

- наполнителей для упрочнения и (или) удешевления материала;
- пластификаторов для улучшения технологических и эксплуатационных свойств;
- стабилизаторов для повышения технологической и эксплуатационной стабильности;
- фрикционных и антифрикционных добавок;
- добавок, регулирующих теплопроводность и электропроводность;
- антипиренов, снижающих горючесть;
- фунгицидов, повышающих устойчивость к воздействию микроорганизмов;
- добавок, регулирующих оптические свойства;
- антистатиков;
- добавок, создающих ячеистую структуру, и др.» [3]

Таким образом, свойства КМ определяются природой полимерной матрицы и наполнителя, а также процессами взаимодействия на границе раздела полимер – наполнитель.

Например, в результате взаимодействия наполнителя и матрицы на границе раздела уменьшается подвижность макромолекул и их сегментов в граничном слое, что приводит к повышению температур стеклования и текучести [4].

На основе одного базового полимера можно создать огромное разнообразие различных функциональных КМ. Их разнообразие определяется разной химической природой, размерами, формой и количеством дисперсной фазы, а

также характером взаимодействия фаз на границе раздела. Дисперсная фаза в полимерном КМ может быть представлена твердой (в виде порошка или волокон), жидкой или газообразной.

Достаточно легко и технологично полимерные материалы наполняются дисперсными материалами. Так же достаточно технологично можно наполнить полимеры газом, и тогда получают газонаполненные полимеры – пенопласты, что решает задачу снижения плотности полимерных материалов. Очень сложно наполнить полимеры жидкостью, чтобы она была равномерно распределена в виде дисперсных капель, но в литературе можно найти описание методов получения и таких материалов [5]

Так же известны КМ, у которых непрерывной фазой является керамика. Пористая керамика, пропитанная термостойкими полимерами, обладает прочностью, стойкостью к удару и термостойкостью.

Кроме того, существуют полимерные композиты, представляющие собой смеси термодинамически несовместимых полимеров. Для активации поверхностей материалов и совмещения полимеров разрабатываются новые методы: метод плазменной обработки, метод ультразвуковой и ударно-волновой обработки.

Возможности проектирования КМ практически неисчерпаемы, поскольку число сочетаний, которое можно сделать из огромного количества компонентов, пригодных для их получения просто огромно. Причем, это количество сочетаний следует еще увеличить с учетом числа различных структур компонентов, которые можно получить, управляя их формированием путем изменения технологии изготовления материалов.

Аналогично свойства различных КМ можно варьировать в широких пределах подбирая составы и структуры а также способы получения. Такие особенности КМ позволяют материаловедам конструировать материалы с учетом их области применения и заданных эксплуатационных свойств.

Свойства полимерных композитов в значительной мере определяются свойствами полимерной матрицы. Дисперсная фаза, которая может быть твер-

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ103 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

дой, жидкой и газообразной, также оказывает очень большое влияние на свойства полимерных композиционных материалов. Созданием полимерных композитов можно снизить плотность, повысить прочность, ударную вязкость, жесткость, масло- и бензостойкость, теплостойкость, улучшить технологичность и стоимость, изменить другие свойства базового полимера.

Таким образом, научный подход позволяет конструировать и проектировать КМ и изделия с заданным комплексом эксплуатационных свойств.

Полимерные композиционные материалы являются одним из наиболее важных и широко используемых классов современных конструкционных материалов. Их потребление постоянно растет и составляет в развитых странах более 100 кг в год на каждого жителя.

1.2 Критерии подбора и сочетания компонентов

Как было отмечено выше, при проектировании и конструировании КМ с комплексом заданных свойств на первый план выходит проблема поиска оптимальных состава, технологии и структуры композитов. Для решения этих задач, необходимо хорошо знать какие процессы происходят при изготовлении композиционного материала, изготовлении готовой продукции и последующей эксплуатации изделий из него.

Получение КМ или готового изделия на его основе, сопровождается физико-химическим или механическим взаимодействием входящих в его состав компонентов, которые могут находиться в различных агрегатных состояниях. Образующиеся фазы и взаимодействия на границе раздела между ними оказывают определяющее влияние на конечные физико-механические и эксплуатационные свойства КМ как технического материала: его стойкость к механическому изнашиванию и коррозии, прочность и деформационные характеристики, тепло- и электропроводность и т.п.

Вместе с тем, характер межфазных взаимодействий компонентов в КМ зависит от их кинетической, механической и термодинамической совместимости.

Термодинамическая совместимость – характеризует свойство компонентов композита (матрицы, армирующих элементов и др.) находиться в состоянии термодинамического равновесия при температурах, соответствующих режимам получения готового материала, формования готового изделия, а так же условиям эксплуатации. Например, о термодинамической совместимости можно говорить, если компоненты взаимно растворяются при формировании КМ, однако полного термодинамического равновесия можно достичь очень редко. Например несовместимы термодинамически: полиэтилен (ПЭ) и полиэтилентерефталат (ПЭТ), полиамид (ПА) и полиэтилен (ПЭ), полиамид (ПА) и полипропилен (ПП). Термодинамическая несовместимость указанных полимеров связана с тем, что у этих полимеров разные вязкости и разные температуры плавления. При формировании таких КМ, полимер с низкой температурой плавления может деструктировать при температуре переработке второго, например ПЭТ и ПА. Для их смешения применяют специально подобранные агенты совместимости, например для ПА-6 и ПЭТ используется 1,4-оксазолилбензол. Добавка его в количестве от 2 до 4 % к исходным компонентам позволяет получить трехмерную сетку в двухкомпонентной смеси КМ, при этом увеличиваются физико-механические свойства, и блокируется доступ кислорода в поверхность полимера.

Кинетическая совместимость – характеризует способность компонентов находиться в состоянии относительно устойчивого (метастабильного) равновесия, определяемого протеканием процессов адсорбции или диффузии, а так же химических реакций между компонентами. Несовместимые термодинамически компоненты композита, при определенных условиях, таких как: давление, температура, плотность контактирования или длительность сопряжения, могут быть совмещены на основе кинетических принципов, что так же обеспечивает стабильность КМ.

Механическая совместимость компонентов композита (в случае их несовместимости ни на основе термодинамических, ни кинетических условий) наблюдается когда коэффициенты теплового расширения компонентов и деформационные характеристики соответствуют таким образом, что при эксплуатации КМ свойства остаются достаточно стабильными и не нарушается целостность.

Компоненты образуют единый КМ, будучи соединены общими связями: химическими, физическими или механическими.

Механические связи между компонентами возникают в результате действия сил трения или при механическом зацеплении контактирующих поверхностей в случае наличия на них естественных, или специально созданных неровностей. Этот тип связей главным образом определяет механические свойства слоистых и волокнистых КМ. В качестве способа увеличения механических связей можно считать такие способы как дополнительный помол одного из компонентов или всех, входящих в КМ; ультразвуковая обработка или ударно-волновая активация.

Физические связи вызваны силами межмолекулярного взаимодействия поверхностных слоев компонентов, например, гравитационные, электростатические и магнитные взаимодействия компонентов, составляющих КМ.

Химические связи обуславливают соединение ионов, атомов или свободных радикалов, принадлежащих разным компонентам, находящимся в непосредственном контакте, с образованием молекул или кристаллов. Химическая связь наиболее сильно определяет стабильность КМ, т.к она обладает значительной энергией от десятков до сотен Дж/моль, то, следовательно, и работа, необходимая для её разрушения, значительно превосходит работу разрушения других видов связей. В этой связи, при формировании КМ, исследователи приоритетно стараются реализовать образование химических связей между компонентами КМ.

В реальных экспериментальных и производственных условиях зачастую реализуется физико–химическое взаимодействие, что обусловлено несовершен-

ством структуры компонентов, а так же сложностью микрорельефа поверхности дисперсных или армирующих элементов. Физико–химическое взаимодействие компонентов чаще всего реализуется в процессе смачивания армирующих элементов раствором или расплавом связующей матрицы. В этом случае для повышения прочности межфазных связей в композитах разработаны и применяются эффективные методы обработки армирующих элементов, такие как механическое активирование, нанесение покрытий, протравливание поверхностей и т. д.

В современных условиях промышленность располагает огромной базой композиционных материалов на основе трех основных видов матрицы: металлических, полимерных, керамических.

Металлические матрицы хорошо совмещаются с большинством компонентов КМ, прекрасно обеспечивая высокие прочностные показатели, электро- и теплопроводность, размерную стабильность изделий из них, но им характерны низкая химическая и коррозионная стойкость.

Полимерные матрицы наоборот: характеризуются более высокой химической стойкостью и низкой плотностью, при низких показателях прочности и теплостойкости. Матрицы на основе термореактивных полимеров превосходят термопласты по прочностным характеристикам и обеспечивают формирование достаточно прочных механических и физических связей в композитных изделиях, однако значительно хуже перерабатываются.

Керамические матрицы достаточно редки по своему применению. Они характеризуются очень высокой прочностью, жесткостью и термостойкостью. Получение КМ на основе керамической матрицы в большинстве случаев сопровождается образованием химических связей. Однако процесс получения КМ и изделий из них на основе керамической матрицы наиболее энергозатратны, что приводит к удорожанию готовых изделий из керамических композитов.

Тип дисперсных и армирующих наполнителей значительно влияет на механические и эксплуатационные свойства КМ. Обобщённые данные о механических свойствах высокопрочных КМ свидетельствует о том, что армирующие

волокнистые наполнители по параметрам прочности не уступают стальной проволоке, а по удельной прочности превосходят ее.

В КМ достаточно часто используют несколько армирующих ли дисперсных наполнителей, так как каждый компонент может улучшать одни, но ухудшать другие свойства готового изделия. Вид наполнителя, его концентрация и распределение в матрице КМ прежде всего зависят от исходных требований по прочности, электро- и теплопроводности, стоимости, технологичности получения готовых изделий и их последующей переработки и др.

Таким образом, главным критерием оптимальности сочетания элементов КМ является достижение готового изделия из КМ заранее определенных эксплуатационных и иных свойств.

1.3 Методы получения композитов и формования готовых изделий

Одним из самых простых и распространенных методов получения и переработки композиционных материалов всех типов является прессование. Оно заключается в том, что к смеси компонентов, помещенных в прессформу прикладывается значительное давление. В случае КМ на основе металлической матрицы, образующей сильные механические связи, нагревание при прессовании готового изделия не является обязательным, в то время как для полимерных и керамических нагрев материала при прессовании является обязательным. Характерной особенностью полимерных композитов является то, что готовые изделия можно получать литьем, когда нагретый материал продавливают в прессформу по литниковым каналам или даже прямым прессованием, когда КМ нагревают непосредственно в прессформе. В то время как керамические композиты получают только прессованием. Методы, в которых прессование и спекание совмещены, называют «горячим» прессованием или спеканием под давлением.

Прессование полимерных композиционных материалов (ПКМ) заключается в пластической деформации материала при одновременном воздействии на

					<i>ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ103 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						15
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

него тепла и давления и в последующей фиксации формы изделия. Прессование композитов проводится, как правило, в пресс-формах, конфигурация полости которых соответствует конфигурации будущего изделия.

Пресс-формы устанавливаются на прессах, назначение которых – создание необходимого давления прессования. Помещенный в пресс-форму холодный или предварительно подогретый материал разогревается до температуры прессования и, подвергаясь под давлением прессования деформации одномерного течения, заполняет полость формы и одновременно уплотняется.

Фиксация формы изделия происходит в результате отверждения реактопластов или охлаждения термопластов, либо охлаждения под давлением до температуры ниже температуры стеклования полимеров (для термопластов).

Параметры процесса прессования полимерных композиционных материалов: начальная температура полимерного композиционного материала и пресс-формы, удельное давление и скорость его приложения, время выдержки в пресс-форме, температура извлечения изделия из пресс-формы, давление прессования от 0,01 до 250 МПа. При переработке реактопластов решающее влияние на режимы оказывает скорость отверждения, а при прессовании термопластов – скорость охлаждения сформованного изделия.

Прессование препрегов, т.е. полуфабрикатов композиционных материалов на основе полимеров, традиционно реактопластов, и пропитанных ими армирующих волокнистых наполнителей позволяет получать изделия достаточно больших габаритов. Прочность готовых изделий, сформованных из препрегов, характеризуется более высокими и стабильными значениями, чем у изделий, полученных по традиционной технологии, при которой пропитку армирующих волокон связующим совмещают с прессованием готового изделия. По сравнению с таким методом, переработка препрегов дает выигрыш в технологичности и качестве изделий.

Для формования готового изделия методом литья можно применять КМ на основе металлической или полимерной матриц, главное, чтобы во время заливки в форму матрица находилась в жидкой фазе, обеспечивая тем самым

формирование кинетической и термодинамической совместимости элементов КМ. Существует порядка ста методов литья КМ позволяющих формировать готовое изделие. КМ на полимерной и металлической матрицах характеризуются высокой технологичностью при формировании готового изделия специально подобранными и опробированными методами литья под давлением. Расплавленный КМ продавливают из камеры-расплавителя в форму с помощью поршня. КМ на основе как реактопластов, так и термопластов, а также резиновых смесей также перемещают в форму с помощью поршня или червяка. Данный метод получения готовых изделий из КМ обеспечивает высокое качество и производительность.

Методом центробежного литья из КМ можно формировать готовые изделия имеющие форму тел вращения (трубы, втулки и другие полые изделия). При этом методе можно применять КМ с арматурой в виде сеток и тканей, в этом случае расплавленная матрица под действием центробежных сил вращающейся формы перемещается к стенкам и пропитывает армирующие волокна, а при охлаждении затвердевает.

Композитам на керамической матрице доступен единственный вид литевой переработки – каменное литье. Он активно применяется при получении изделий из расплавленных горных пород (базальтов) с разного рода наполнителями.

Для получения готовых изделий из плохо совместимых компонентов активно применяют методы порошковой металлургии. Зачастую, данные КМ не поддаются литью, а применять другие методы экономически нерентабельно. Первой стадией переработки является прессование из смеси компонентов заготовки будущего изделия. Компоненты прессовки связаны преимущественно механическими связями, поэтому для образования более прочных химических и физических связей прессовку подвергают спеканию при температуре в диапазоне от 70 до 90 % от температуры плавления матрицы. Спекание часто осуществляют в вакууме или среде инертных газов, что предохраняет КМ от окисления кислородом воздуха.

Методами порошковой металлургии перерабатывают преимущественно КМ на металлической и керамической матрицах, гораздо реже – на основе полимерных, и только в случае, когда они слабо растекаются при температуре плавления. Эта технология является основной для низкотехнологичных керамических композитов.

Экструзия применяется преимущественно в случае наполненных КМ на основе термопластов, а также резиновых смесей, очень редко на основе металлической матрицы. Чаще всего экструзия применяется при формировании профильных длинномерных изделий из металлов и термопластов. Сложная форма получаемого изделия затвердевает в результате охлаждения, а при экструзии резиновых смесей – в результате вулканизации. В настоящее время разработано множество специальных методов с помощью которых одновременно формируются структура КМ и геометрическая конструкция изделий. К их числу можно отнести пултрузию – процесс получения погонажных, т.е. профильных длинномерных изделий из КМ путем экструзионной обработки расплавом полимера длинномерного каркаса (например, из металлической проволоки или сетки).

Путем подбора сочетания компонентов КМ, выбора матрицы, дисперсных и армирующих наполнителей и других компонентов, подбора их количества и объемного расположения в изделии, а также выбора технологии формирования готового изделия обеспечивающей заданный тип связей, можно в широких пределах управлять физико-механическими и эксплуатационными свойствами КМ. Так, в ряде случаев можно обеспечить прочность современных КМ на полимерной матрице выше, чем прочность легированной стали.

1.4 Основные принципы конструирования композиционных материалов

Технологический процесс создания КМ включает следующие стадии, показанные на рисунке 1.1: создание технического задания в виде совокупности исходных данных и проектных свойств изделия; выбор элементов КМ и техно-

логии его переработки в готовое изделие; определение главных свойств полученного КМ и сравнение их с заданными. Самым оптимальным случаем можно считать тот, когда стадии изготовления КМ и изделия совмещены. В этом случае свойства КМ можно оценить через главные эксплуатационные характеристики и функциональный потенциал готового изделия.

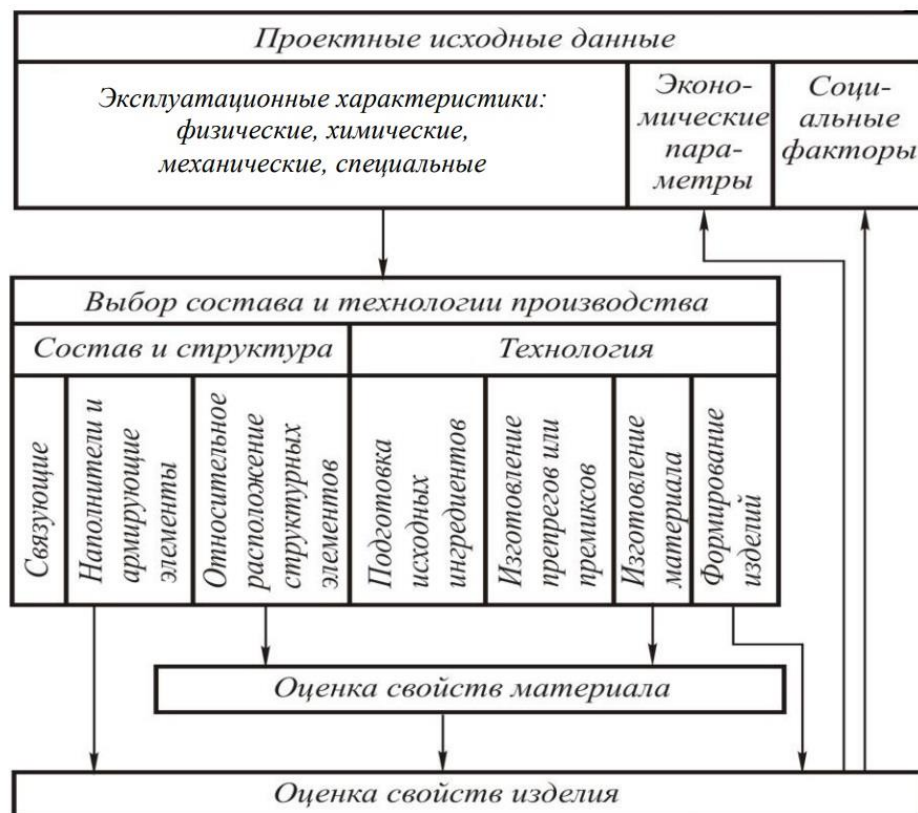


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема конструирования КМ

Проектные исходные данные содержат следующие сведения:

а) эксплуатационные условия и заданные ими комплекс механических, химических, физических, и иных свойств КМ, которые определяют функциональность и работоспособность изделия. Например, для ряда ответственных деталей самолетов испытывающих высокие значения нагружения, первоочередными являются механические свойства. В этом случае при разработке КМ важно знать пределы его прочности, сопротивление ползучести, усталости и динамическим нагрузкам, вязкоупругие характеристики, чувствительность к надре-

зам. При этом на данные свойства, несомненно оказывают влияние параметры окружающей среды в которой происходит эксплуатация деталей (например, температуру эксплуатации, наличие агрессивных органических или неорганических веществ, давление или разряжение, и др.). В этом случае необходимо учитывать их влияние на устойчивость структуры и свойств КМ.

При разработке электрических машин и радиоэлектронной аппаратуры на первый план выходят электрофизические и электромагнитные характеристики. При проектировании деталей и узлов аппаратов и оборудования нефтеперерабатывающих, химических и пищевых производств важно знать, условия эксплуатации: температуру, давление и продолжительность работы в агрессивной среде.

Таким образом, исходя из условий эксплуатации готового изделия определяют основные требования к свойствам КМ.

б) Экономические параметры – прежде всего определяют предлагаемые объемы производства исходя из потребности в готовых изделий из КМ; ремонтпригодность и ресурс изделий; себестоимость изготовления; расходы на испытания и исследования КМ; затраты на модернизацию производства и закупку специального оборудования; наличие доступной сырьевой базы компонентов КМ; транспортные расходы, связанные с транспортировкой сырья и готовых изделий; возможность переработки отходов и вторсырья и т. д.

в) Социальный сектор рассматривает условия труда и степень безопасности при изготовлении как КМ, так и изделий из него, экологическое влияние производства, квалификационные требования персонала и необходимость подготовки или переподготовки кадров, повышение качества жизни при использовании изделия и др.

Выбор оптимального состава и технологии – важный этап конструирования КМ. Разработка КМ основывается на широкомасштабных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах в области материаловедения, обобщения и анализа справочной и нормативной информации по тема-

тике, а также на практическом опыте и инженерной интуиции разработчиков–исследователей.

На первом этапе на основе ведущих эксплуатационных и механических свойств, а также технологии изготовления изделий, осуществляется ориентировочный выбор матрицы и основных элементов КМ.

На следующем этапе на основе анализа технических и экономических параметров оптимизируют состав КМ. Оптимизация состава КМ – это процесс определения наилучшего соотношения связующего и наполнителя, обеспечивающее наилучшее выполнение заявленных эксплуатационных свойств. Наилучший состав КМ должен отвечать критерию оптимальности – измеряемому показателю, который выражает предельную меру технико-экономической эффективности КМ и позволяет сравнить все альтернативные составы с целью выбора лучшего из них.

Оптимизация КМ строится на экспериментальном исследовании основных заявленных эксплуатационных свойств образцов КМ разного процентного или элементарного состава. Объем исследования зависит от количества заявленных свойств и класса точности их оценки. Сокращение количества образцов для измерений можно путем научного планирования исследования. Научное планирование практических исследований единственный путь повышения достоверности при снижении трудоемкости эксперимента. При этом на результаты определения свойств образцов КМ зачастую одновременно влияют несколько факторов, поэтому полную картину эффективности рассматриваемых в качестве альтернативных составов можно получить лишь путем одновременного дисперсионного анализа всех этих факторов.

Дисперсионный анализ применяется в математической статистике и представляет собой статистический метод, предназначенный для выявления влияния отдельных факторов на результат эксперимента, а также для последующего планирования аналогичных экспериментов. В общем случае эксперимент, спланированный так, что в нем реализуются все возможные сочетания параметров рассматриваемых факторов, называется полным факторным экспе-

риментом. При этом дисперсионный анализ позволяет изучать случаи, когда некоторые сочетания факторов пропущены, что дает возможность при одинаковом количестве экспериментов выявить и исследовать гораздо больше факторов.

Оптимизация состава и технологии получения КМ – сложный, многофакторный процесс, требующий как наличия у исследователей практического опыта, так и творческого подхода. Самым однозначным и надежным способом выбора состава КМ является изготовление образцов всех возможных составов и технологии, с последующими их испытаниями и выбором наилучшего варианта на основе значимых эксплуатационных характеристик. Однако такое исследование наиболее длительно и трудозатратно.

Обычно производство изделий из КМ организуют при запуске массового выпуска новой продукции, при этом выбранная в качестве основной технология производства обязательно будет изменяться, и дорабатываться в процессе адаптации к условиям массового производства.

Как правило, чаще всего технологию формования КМ выбирают исходя из мощностей и оборудования существующего производства. Оборудование адаптируют к переработке КМ с определенным материалом матрицы и технологическими, а так же геометрическими параметрами армирующих и других компонентов.

Несомненным технологическим достоинством КМ считается возможность совмещения процессов формирования структуры КМ и готового изделия.

Заключительной стадией создания КМ является оценка свойств материала и изделия. На этой стадии традиционно применяют экспериментальные и расчетные методы оценки.

Расчетные методы оценки значительно снижают расходы на экспериментальные исследования, дороговизна которых определяется необходимостью создания дорогого опытного, технологического или специального комплекса образцов для исследования и специального оборудования. Расчетные методы

оценки начинаются с моделирования структуры КМ, к которому применяют макро- и микромеханические подходы.

Макромеханический подход предполагает использование в качестве модели КМ структурно однородной, но анизотропной среды. Применяя к ней математический аппарат механики анизотропных сред, можно рассчитать прочность композита при разных схемах его нагружения. Анизотропию упругости модели оценивают, прежде всего, по главным значениям модуля упругости приложенным вдоль главных осей симметрии. Математически свойства анизотропных моделей характеризуют векторами и тензорами.

Возможность применения анизотропной модели доказана для КМ, состоящих из идеально связанных между собой упругих фаз, прочность соединения которых не ниже прочности самой прочной из них. Однако сегодня доказано, что большинство КМ не отвечает этому условию, а так же замена сложного состава КМ однородной фазой с той же прочностью не учитывает возможность оценки деформаций и напряжений в его микрообъемах, и на границах раздела матрица – наполнитель.

Микромеханический подход в противоположность макромеханическому заключается в анализе напряженно-деформированного состояния модели, воспроизводящей локальную зону КМ, соизмеримую с величинами его фаз. Микромеханический анализ имеет цели – установление, зависимостей элементарного состава и концентрации компонентов КМ и его механических свойств, а также влияние распределения напряжений между разными фазами в его микроструктуре. Модель представляют в виде микроконструкции, компонентами которой являются разные фазы КМ, объединенные присущими для данного типа КМ химическими, физическими или механическими связями.

Принципы и закономерности механики, используемые для расчета данных моделей, позволяют получить количественные результаты.

Первые принципы и закономерности механики КМ были предложены для микромеханической модели, рассматриваемой как сплошная деформируемая матрица, равномерно заполнена твердыми шарами, симметрично размещенны-

ми в узлах условной периодически повторяемой решетки. Расчет данной модели на прочность заключается в математическом анализе деформационного напряжения в матрице, сдавливаемой круглыми частицами наполнителя. При этом используется модель самосогласования: в КМ вбирают одну частицу наполнителя и заменяют остальные частицы создаваемыми ими полями деформаций или напряжений. Такое упрощение объясняется тем, что расчет деформационного взаимовлияния нескольких частиц затруднен даже в случае использования упрощенных математических зависимостей.

Математический анализ зависимостей значительно более совершенных и приближенных к реальным условиям моделей, в которых межфазные границы обладают особыми свойствами и взаимовлиянием, а частицы наполнителя имеют неидеальную шаровую форму, основан на вариационных позициях механики. Которые дают возможность увидеть различия реального состояния КМ от моделей, которые рассматриваются при значительном упрощении или наложении ряда ограничений.

Метод конечных элементов заключается в раскрытии промежуточных значений величины за счет анализа известных параметров функций искомых значений модуля, деформаций, напряжений и др. в узлах условной структурной решетки.

Метод конечных разностей (разностных схем) не требует вариационной постановки задачи и заключается в приближенном вычислении производных, которые входят в дифференциальные уравнения, описывающие модель.

Методы статистической физики позволяют выразить свойства макроскопических тел, т. е. систем, состоящих из очень большого числа одинаковых частиц, через свойства этих частиц и взаимодействие между ними. На сегодняшний день это одна из современных моделей КМ. Множество значений плотности, модуля упругости, электро- и теплопроводности и других свойств КМ рассматривают как случайные макронеоднородные поля. При математическом анализе полей применяют методы тензорного исчисления и корреляционного анализа. Если фазы КМ имеют одинаковые значения жёсткости, то этот метод

позволяет получать достаточно достоверные результаты. Сложности обусловлены громоздкостью вычислений и отсутствием достоверной информацией о структуре КМ. Для преодоления указанных противоречий разрабатываются методы приближения случайных функций, позволяющие упростить уравнения, которые описывают взаимовлияния внутри КМ и получаемые свойства.

Новые модели КМ разрабатывают для оптимизации технологии получения и прогнозирования их свойств. Математическое решение установленных зависимостей позволяет значительно сократить количество натурных экспериментов с реальными образцами и значительно упростить и удешевить процесс разработки новых перспективных КМ.

Для оценки достоверности расчетных методов и в качестве критерия качества работ по проектированию новых КМ необходимо применять экспериментальные методы которые дают самые надежные результаты.

При экспериментальном исследовании образцы КМ подготавливают в соответствии программой и методикой испытаний и следят за соблюдением существующих нормативных стандартов или ГОСТ. По завершении экспериментов полученные результаты соотносят с заданными эксплуатационными параметрами. Если полученные значения не удовлетворяют заданным интервалам основных свойств, вносят поправки в состав и структуру КМ или изменяют технологию формования самого КМ или готового изделия.

Выводы

Современная наука о полимерах позволяет конструировать на их основе материалы с заданными свойствами, отличающимися на несколько порядков от исходных компонентов. Достигается это путем создания КМ с использованием различных наполнителей. Современные достижения материаловедения, информационных технологий, наличие объемных баз данных позволяют значительно облегчить проектирование полимерных КМ, однако для определения процентного соотношения зачастую требуется проведение серии экспериментов. Только в процессе экспериментального исследования возможно точно определить

механические и эксплуатационные свойства полученного КМ, точно определить наилучший состав и соотношение компонентов.

Однако, разработка индивидуального КМ собственного комплекса задач, обладающего уникальными свойствами представляет собой не только научно-исследовательский или инженерный, но и творческий процесс, теория которого сейчас находится в стадии накопления как экспериментальных, так и аналитических результатов. В настоящее время наибольшее применение находят технологии создания стекловолокнитов, порошковых металлических композитов и дисперсно-наполненных пластиков.

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ103 ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 Обоснование применяемых методов исследования

2.1 Основные материалы, применяемые в исследовании

В настоящее время одним из главных чувствительных материалов датчиковой аппаратуры во всех развитых странах мира являются пьезокерамические материалы. Пьезокерамические материалы являются основной для производства трансформаторов, звуковых и ультразвуковых генераторов, различных преобразователей, обширно применяются изделия из них и в промышленности и в бытовом сегменте: это всевозможные приборы неразрушающего контроля, звуковые оповещатели охранной сигнализации и промышленных сирен; дистанционного слежения за различными средами и процессами, датчики и генераторы импульсов в эхолотах, и т.д. [6]. Данные материалы являются весьма перспективными так ассортимент изделий и сферы их использования в последнее время неизменно увеличивается.

Пьезокерамические материалы относятся к группе сегнетоэлектриков (СКМ) обладающих способностью к спонтанной поляризации в интервале температур за счет самопроизвольного смещения ионов в атомнокристаллической решетке и образования в этой связи некомпенсированного заряда на уровне элементарной ячейки [7]. Характерной особенностью пьезоматериалов является способность поляризоваться, т.е. создавать электрический заряд на противоположных поверхностях датчика под влиянием механических напряжений или деформационного давления на поверхность изделия – так называемый прямой пьезоэффект; или упруго деформироваться под воздействием приложенного внешнего электрического поля - обратный пьезоэффект [8].

Среди широкого ассортимента изделий на основе сегнетокерамических материалов можно выделить группу, которая успешно применяется в датчиковой аппаратуре различного функционального назначения. Сферами применения пьезоэлектрических датчиков являются условия измерения вибраций в диапа-

зоне частот от единиц Гц до нескольких десятков кГц, быстропеременных и акустических давлений от 1 Па до 1 ГПа, сил от 0,01 Н до 10 МН.

Сфера применения пьезоэлектрической керамики, в значительной степени определяется температурой фазового перехода из сегнетоэлектрической области в несегнетоэлектрическую фазу, а также степенью размытости данного фазового перехода. Низкая температура фазового перехода и высокая электропроводность существующих пьезочувствительных керамик в области высоких температур, сопряженная в конечном итоге с потерей пьезоэлектрических свойств, существенно ограничивают области применения готовых пьезоэлементов. Характерная особенность – проявление пьезоэлектрической активности только в предопределенном интервале температур, ограниченном точками Кюри, привела к разделению всей пьезокерамики на низко- и высокотемпературные. К первой группе относятся составы, устойчиво работающие до + 250 °С, ко вторым – свыше + 250 °С [9].

По своему функциональному применению низкотемпературные пьезокерамики делятся на несколько функциональных групп [9], в основном их составляют материалы с перовскитной или перовскитоподобной микроструктурами состава цирконат – титанат свинца $\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$ (ЦТС), это объясняется широким изоморфизмом, высокими пьезоэлектрическими параметрами, наличием в этой системе морфотропной области (области структурного фазового перехода), сопровождающегося экстремумами электрофизических параметров.

Пьезокерамические материалы системы ЦТС представляет собой твердые растворы сегнетоэлектрика титаната свинца (PbTiO_3) и антисегнетоэлектрика цирконата свинца (PbZrO_3) [9].

Эксплуатационные свойства пьезокерамических материалов отличаются широким многообразием и изменяются в значительных пределах, с целью рационализации промышленного применения все существующие пьезочувствительные материалы системы ЦТС были разделены на три группы по своему функциональному назначению [9]:

- а) материалы для высокочувствительных пьезокерамических элементов, работающих в условиях приема или излучения – группа № 1;
- б) материалы для пьезокерамических элементов, работающих в условиях сильных электрических полей и механических напряжений – группа № 2;
- в) материалы для пьезокерамических элементов, обладающих высокой стабильностью характеристик – группа № 3.

Наибольшее распространение в каждой из групп получили соответственно составы ЦТС-19, ЦТС-23, ЦТС-35У. Их основные физические и эксплуатационные свойства низкотемпературной пьезокерамики семейства ЦТС приводятся в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные физические и технологические свойства низкотемпературной пьезокерамики [9]

Показатели (единицы изм.)	Функциональная группа		
	№ 1	№ 2	№ 3
	Марка пьезокерамического материала		
	ЦТС - 19	ЦТС - 23	ЦТС - 35У
Плотность, г/см ³ , не менее	7,30	7,40	7,40
Относительная диэлектрическая проницаемость, ϵ/ϵ_0	1620...1980	850...1100	700...900
Тангенс угла диэлектрических потерь, $\operatorname{tg} \alpha \cdot 10^{-2}$, не более	2,80	0,75	2,50
Коэффициент электромеханической связи, не менее	0,50	0,43	0,48
Пьезоэлектрический модуль, $d_{31}, 10^{-12}$ Кл/Н $d_{33}, 10^{-12}$ Кл/Н	150...200,0 310...460,0	100...160,0 200...310,0	80...100,0 200...250,0
Механическая добротность, Q_M	50...120,0	200...450,0	500...800,0
Напряжение электрического пробоя, $E_{пр}$, кВ/мм, не менее	3,0	3,0	4,5
Предел механической прочности при статическом изгибе, 10^{-3} Н/мм ² , не менее	54,5	63,5	55,1

Комплекс требований к эксплуатационным свойствам пьезоэлемента определяется условиями эксплуатации будущего изделия. В частности, при применении пьезоэлементов в качестве приемников или излучателей механических колебаний, работающих в условиях слабых механических и электрических напряжений, доминирующим свойством керамики будет являться пьезоэлектрическая активность [28], в то время как при изготовлении пьезотрансформаторов и элементов для измерения статических нагрузок наряду с этим следует получить максимальную механическую и электрическую прочность [29, 30].

В последнем случае наиболее перспективным становится применение композиционных полимерных пьезоэлектриков, широкое применение которых является одним из направлений, обеспечивающих техническое перевооружение многих отраслей промышленности при одновременной миниатюризации элементной базы [8].

Однако сама природа керамики в совокупности механических свойств оказывает значительное ограничение на области использования изделий на их основе, а так же серьезно усложняет технологию производства. А именно: высокая хрупкость и значительная чувствительность к ударам значительно ограничивают размеры и геометрические формы, получаемых керамических изделий, увеличивают трудозатратность их промышленного производства, что объясняется трудоемкостью получения высокоплотных прессовок на стадии прессования, высокими температурами спекания и необходимостью использовать при спекании особые атмосферообразующие засыпки.

Вместе с тем, в последнее время одновременно с традиционными пьезокерамическими материалами значительную роль приобретают проектирование и исследования КМ на основе сегнетокерамики с добавлением полимерного связующего. В качестве матрицы рассматриваются как терморезистивный, так и термопластичный полимер, чье применение снимает многие из указанных выше недостатков керамики. Особый интерес для производства имеют термопласты, характеризующиеся в своем большинстве широкой зоной упругих деформаций, высоким коэффициентом трещиностойкости, в сочетании с высокой техноло-

гичностью производства и возможностью вторичной переработки. Данные особенности термопластов делают их весьма перспективными компонентами КМ, способствующие расширению ассортимента готовых изделий, упрощению технологии получения готовых изделий сложного геометрического профиля.

Вместе с тем, эксплуатационные свойства данных КМ в значительной степени определяется количественным соотношением компонентов, пространственным распределением частиц и технологическими режимами производства.

2.2 Основные характеристики полиэтиленовой матрицы

Полиэтилен – полимер этилена был впервые получен немецким ученым Хансом фон Пехманом в 1898 г. Пехман при разогреве диазометана получил вещество – воскообразную субстанцию, в составе которой обнаружились цепи - CH_2 . Ученые дали название новому материалу – полиметилен. Промышленный синтез полиэтилена был условно начат в 1933 г. Открытие сделали англичане Эрик Фосетт и Реджинальд Джибсон, сотрудники компании *Imperial Chemical Industries (ICI)*. Полиэтилен был получен смешением этилена и бензойного альдегида. Реакция была инициирована присутствовавшей в аппарате примесью кислорода, поэтому повторить условия, было затруднительно. В 1935 г. химик Майкл Пёррин создал промышленную технологию производства.

В наше время сырьем для получения полиэтилена служит газ этилен. Полимеризация полиэтилена достигается различными способами – полимеризация радикалов, с помощью анионных и катионных добавок, ионной координацией. В результате получается полиэтилен с различными свойствами, которые зависят от протяженности и способа ветвления молекул, особенностей кристаллической структуры и молекулярного веса:

- Полиэтилен низкого давления (ПНД) или высокой плотности (ПВП);
- Полиэтилен высокого давления (ПВД) или низкой плотности (ПНП);
- Полиэтилен среднего давления (ПСД) или средней плотности (ПСП);

- Сшитый полиэтилен (РЕХ);
- Вспененный полиэтилен;
- Хлорсульфированный полиэтилен (ХСП);
- Сверхмолекулярный полиэтилен (СВМП).

Полиэтилен – относится к термопластичным полимерам, его основные физические и химические свойства приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные физические и химические свойства полиэтилена

Физические свойства:	Химические свойства:
диэлектрик; ударостойкость; низкая газо- и паропроницаемость; легкоплавкий; стойк к нагреванию в вакууме морозостоек (до – 70 °С); под действием ультрафиолетовых лучей подвержен деструкции, особенно при нагревании; без запаха; высокая способность к адгезии используется для образования композитных материалов. быстрое старение (срок можно увеличить корректируется введением специальных добавок противостарителей – аминам, фенолам, газовой саже)	не растворяется в щелочах; нейтрален к кислотам; не растворяется в кислотах (карбоновая, плавиковая, концентрированная соляная) разрушается азотной кислотой, газообразным и жидким фтором и хлором; набухает в органических растворителях; стойк к спиртам; хлорирование, сульфирование, бромирование или фторирование придают полиэтилену каучуко-подобные свойства, улучшают химическую и тепловую стойкость; сополимеризация с другими поолефинами или полярными мономерами повышает его прозрачность, эластичность, адгезионные характеристики, а также стойкость к растрескиванию

К полиэтиленам высокой плотности (ПЭВП) относят материал с плотностью свыше 0,941 г/см³. Характеризуется низкой степенью ветвления молекул, а, следовательно, большими межмолекулярными силами и прочностью на разрыв, что дает высокую прочность и небольшое относительное удлинение при

разрыве. Так как ПЭВП обладает повышенной морозостойкостью (температура стеклования минус 50 °С) и слабым межмолекулярным взаимодействием (отсутствуют полярные группы в цепи), он склонен к хладотекучести, то есть при постоянной нагрузке со временем происходит изменение размеров.

ПЭНД не пропускает влагу, стоек к маслам и жирам, не выделяет токсичные вещества в окружающую среду, безопасен для организма человека, при работе с ним не требуются особые меры предосторожности. Основные физико-химические свойства ПЭНД в соответствии с ГОСТ 16338-85 приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Основные физические и химические свойства полиэтилена низкого давления по ГОСТ 16338-85

Свойства	Значения
Плотность, г/см ³	0,931...0,970
Температура для плавления, °С	125...132
Температура для размягчения в воздушной среде по Вика, °С	120...125
Плотность насыпания гранул, г/см ³	0,5...0,6
Плотность насыпания порошка, г/см ³	0,20...0,25
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	19,0...35,0
Предел прочности при срезе, МПа	19,0...35,0
Твердость по вдавливанию под заданной нагрузкой шарика, МПа	48,0...54,0
Удельное электрическое поверхностное сопротивление, Ом	$1 \cdot 10^{14}$
Удельное электрическое объемное сопротивление, Ом·см	$1 \cdot 10^{16} \dots 1 \cdot 10^{17}$
Водопоглощение за 30 суток, %	0,03...0,04
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10^{10} Гц	0,0002...0,0005
Диэлектрическая проницаемость при частоте 10^{10} Гц	2,32...2,36
Удельная теплоемкость при 20-25 °С, Дж/кг·°С	1680...1880,0
Теплопроводность, В/(м·°С)	$(41,8-44) \cdot 10^{-2}$
Линейный коэффициент термического расширения, 1/°С	$(1,7-2,0) \cdot 10^{-4}$

Полиэтилен низкого давления (ПЭНД) или высокой плотности (ПЭВП) – это жесткий продукт с плотностью более 0,941 г/см³. Для получения ПЭНД применяются три технологии: суспензионная, растворная и газофазная. Полиэтилен НД жестче и проще ПЭВД, но менее прозрачен. Полиэтилен низкого давления устойчив к высоким температурам, различным маслам и химикатам, но, по сравнению с ПЭВД, менее стоек к парам и воде.

Область применения ПЭНД :

- контейнеры, и пленки для обертки и изготовления пластиковых пакетов;
- укрывной материал и пленки для мусорных мешков (толщина до 250 микрон);
- пакеты для покупок (толщина от 30 до 65 микрон).

Полиэтилен высокого давления (ПЭВД) или низкой плотности (ПЭНП) – это эластичный мягкий материал, который получают при полимеризации этилена в автоклаве или трубчатом реакторе. Особенностью структуры полиэтилена ПЭВД является большое количество длинных и коротких ответвлений, не позволяющих молекулам с высокой молекулярной массой создавать кристаллическую структуру. Имеет малую устойчивость на разрыв и повышенную пластичность, высокую текучесть в расплаве. Более гибкий и мягкий полимер, в отличие от ПЭНД, пластичен, на ощупь воскообразный, слегка матовый.

Пленка из ПЭВД достаточно прочна при низких температурах, при сжатии и растяжении, а также стойка к раздиранию и удару. Основной особенностью пленки из ПЭНП является – достаточно низкая температура размягчения, примерно 100 °С.

ПЭВД не выделяет токсичные вещества в окружающую среду, безопасен для организма человека при непосредственном с ним контакте. Область применения: изготовлении пленки для обертки, контейнеров и пластиковых пакетов. Основные физико–химические свойства приведены в таблице 2.4.

Полиэтилены средней плотности ПЭСД (MDPE) имеют плотность от 0,926 до 0,940 г/см³. ПЭСД обладает хорошей устойчивостью к ударам и на излом, менее подвержен царапинам более устойчив к растрескиванию, чем ПВД.

Характеристики ПЭСД практически ни чем не отличаются от характеристик ПЭНД. Основные физические и химические свойства которого по ГОСТ 16337–77 представлены в таблице 2.4. В целом ПЭСД и ПЭНД это идентичные виды полиэтилена.

Линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП, *LLDPE*) – удельный вес от 0,915 до 0,925 г/см³. По своей структуре, аналогичен полиэтилену ПЭНД. Он также имеет линейную структуру, но с гораздо более многочисленными и длинными боковыми ответвлениями, обычно получают при сополимеризации с короткоцепочечными α -олефинами (1-бутен, 1-гексен, 1-октен).

Таблица 2.4 – Основные физические и химические свойства полиэтилена низкого давления по ГОСТ 16337–77

Свойства	Значения	
Плотность, г/см ³	0,900...0,939	
Температура для плавления, °С	103...110	
Разрушающее напряжение при изгибе, Па	(117,6...196,07)·10 ⁵	
Предел прочности при срезе, Па	(137,2...166,6)·10 ⁵	
Предел прочности при разрыве, не менее Па	(113...137)·10 ⁵	
Твердость по вдавливанию под заданной нагрузкой шарика, Па	(1,66...2,25)·10 ⁵	
Удельное электрическое поверхностное сопротивление, Ом	1·10 ¹⁵	
Удельное электрическое объемное сопротивление, Ом·см	1·10 ¹⁶ ...1·10 ¹⁷	
Водопоглощение за 30 суток, %	0,02	
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10 ¹⁰ Гц	0,0002...0,0005	
Диэлектрическая проницаемость при частоте 10 ¹⁰ Гц	2,25...2,31	
Температура хрупкости, не выше °С	от -100 до -120	
Усадка при литье, %	1,0...3,5	
Модуль упругости (секущий), Па для полиэтилена плотностью в г/см ²	0,917...0,921	(882,3...1274,5)·10 ⁵
	0,922...0,926	(1372...1764,7)·10 ⁵
	0,928	2107,8 · 10 ⁵

По сравнению с ПЭНП линейный полиэтилен более прочен на разрыв, устойчивее к удару и проколу. Этим линейный полиэтилен сильно напоминает ПЭВП, обладая при этом столь же низкой плотностью и высокой пластичностью, как ПЭНП. При всем при этом линейный полиэтилен требует особой, более сложной технологии переработки.

Основные преимущества линейного полиэтилена низкой плотности заключаются в: высокой химической стойкости; высоких эксплуатационных характеристиках, как при достаточно высоких, так и низких, температурах; большой устойчивости к растрескиванию; улучшенной стойкости к проколу.

Линейный полиэтилен обладает самыми высокими физико-химическими показателями.

ЛПЭНП отличается наиболее высокими значениями прочности при растяжении и удлинения при разрыве. Достаточно высокая температура плавления дает возможность применять литейный полиэтилен для фасовки горячих продуктов. Благодаря присутствию большого количества боковых коротких ответвлений, при деформации скользящих друг по другу и не развивающих при этом внутренних значительных напряжений, ЛПЭВД характеризуется отличной эластичностью расплава. Что позволяет получать достаточно тонкую пленку от 6 до 25 мкм. ЛПЭНП менее прозрачен, чем другие виды полиэтилена. Чтобы получить более прозрачный ЛПЭВД в него вводят оптические специальные добавки.

2.3 Методики, приборы и оборудование, предназначенные для исследований

2.3.1 Оборудование и технология горячего прессования

С целью формирования окончательного комплекса механических свойств композиционных материалов и получения необходимой геометрической формы изделия, проводилось горячее прессование, в результате которого формировался окончательный вид образцов регулируемой толщины.

Нагревание материала производилось в электрической лабораторной печи показанной на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Внешний вид лабораторной печи

Данная печь имеет следующие преимущества:

- нагревание материала выполняется с четырех сторон;
- в процессе работы оборудование не затрачивает большое количество электрической энергии;
- в конструкции установлены нагреватели спирального вида, что позволяет сделать процесс обработки более быстрым, так как они равномерно прогревают рабочий объем;
- безопасность использования агрегата, поскольку блок управления находится в нижней части установки.

Лабораторные печи для термообработки отличаются способом нагрева. Соответственно, изменяются виды нагревательных элементов. Существуют печи сопротивления лабораторные. В них нагревательные элементы выполнены из металлических сплавов и неметаллических материалов. Они просты в эксплуатации. С помощью специальных регулирующих устройств можно контролировать температурный режим в зоне нагрева.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2.3.2 Методика и оборудование фрактографических исследований

Фрактография – методы исследования изломов; в более широком смысле – наука о строении поверхностей разрушения. Термин фрактография был введен лишь в 1944 г. (от латинского *fractis* – излом). Различают макро- и микроскопические методы исследования поверхностей разрушения. Макроскопическая фрактография – изучение поверхностей изломов невооруженным глазом или с применением макроувеличения в 20 – 60 раз. Микроскопический фрактографический анализ осуществляется с применением световых, просвечивающих (ПЭМ) и растровых (РЭМ) электронных микроскопов. Световая фрактография излома предусматривает использование световых микроскопов с увеличением от 200 до 1000. При использовании ПЭМ изображения поверхности изломов получают с помощью реплик. РЭМ позволяют непосредственно изучать поверхности разрушения без снятия реплик. Основные типы рельефа поверхности разрушения, составляющие предмет фрактография как науки: скол, квазискол, ямки, гребни отрыва, усталостные бороздки, фасетки интеркристаллитного (межзеренного) разрушения, смещенные рельефные разрушения, рельефы изломов, обусловленные химическим и термическим воздействием. Фрактография применяется для изучения механизма и кинетики разрушения, для установления закономерностей влияния структур, и прочих факторов на развитие разрушения, определение характера и причин эксплуатационного разрушения.

Фрактографические исследования для изучения поверхностей изломов исследуемых составов ПКМ проводили на электронном микроскопе.

Ввиду высоких диэлектрических свойств как полимерной матрицы, представленной ПЭНД, и керамического наполнителя исследуемые поверхности подвергали вакуумному напылению золотом толщиной до 0,5 мкм. Анализ полученных микрофрактограмм проводили с подключением системы компьютерная обработка изображения «JBAS – 200», которая позволяет производить измерение размеров порошковых частиц, выделять поверхности транс - и межкристаллитного изломов, проводить статистическую обработку, оценивать про-

центное соотношение очагов транскристаллитного излома к общей площади поверхности. Данные исследования проводили на образцах, фрактограммы которых были получены при увеличении 1000 крат.

2.3.3 Методика и оборудование оценки механических свойств

Для оценки влияния параметров горячего прессования на механические свойства был проведен комплекс исследований механических свойств образцов испытанием на предел механической прочности при растяжении (σ_p) в соответствии с ГОСТ 11262–80 на разрывной машине модели 2161Р–5 УХЛ 4.2. Внешний вид разрывной машины представлен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Разрывная машина модели 2161Р–5 УХЛ 4.2

В случае отработки рецептуры материала, режимов переработки и при научно-исследовательских работах согласно ГОСТ 11262-80 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение» допускается применять образцы 4 и 5 типа, характеризующиеся уменьшенными размерами.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ103 ПЗ

Лист

39

На рисунке 2.4 представлен эскиз, по которому готовились образцы для испытаний на растяжение. В таблице 2.5 представлены геометрические размеры образцов на одноосное растяжение.

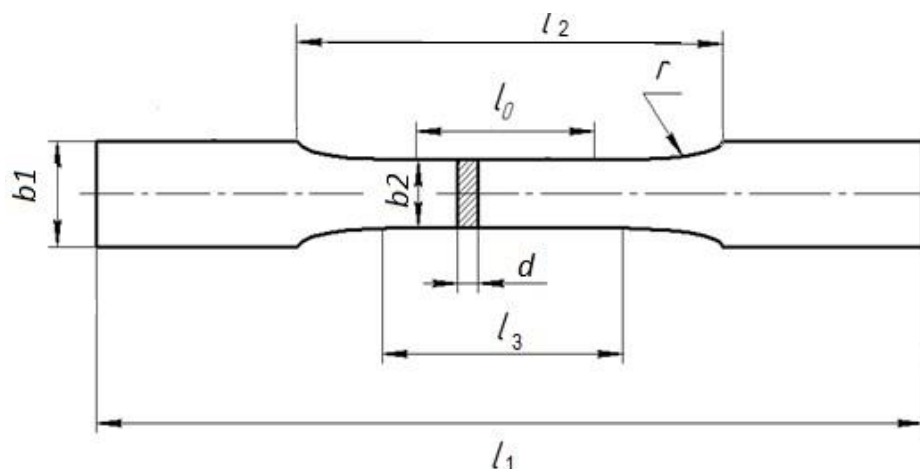


Рисунок 2.4 – Эскиз образцов для испытания на разрыв композиционного материала

Таблица 2.5 – Геометрические размеры образцов по ГОСТ 11262-80

Наименование показателя	Размеры
Общая длина l_1 , не менее, мм	80
Ширина головки b_1 , мм	$11 \pm 0,2$
Длина рабочей части l_3 , мм	$40 \pm 0,5$
Ширина рабочей части b_2 , мм	$5 \pm 0,2$
Радиус закругления r	$6 \pm 0,2$
Расстояние между метками, определяющими положение кромок зажимов на образце l_2 , мм	52 ± 1
Толщина рабочей части d , мм	3
Расчетная длина l_0 , мм	$25 \pm 0,5$

Выводы

Разработка композитов требует высокой квалификации и инженерной интуиции материаловедов, занимающихся данной проблемой, а также дополнительного проведения исследования механических и эксплуатационных свойств получаемых композитов. Решение данного вопроса возможно лишь в хорошо оборудованных лабораториях, позволяющих получить образцы КМ заданного стехиометрического состава и геометрических форм, а так же оснащенных всем необходимым оборудованием.

3 Структура и основные физико–механические свойства полимерно–керамического материала после горячего прессования

3.1 Исследование основных физико–механических свойств полимерно–керамического материала после горячего прессования

Одним из существенных достоинств КМ на основе термопластичного полимера можно считать технологичность производства: горячее прессование или экструзия позволяют достаточно быстро и технологично изготавливать как мелкие, так и крупные изделия сложной пространственной конфигурации и геометрических форм совмещая процессы получения КМ и готового изделия. Для формования изделий из термопластов, в массовом производстве обширно используются: горячее прессование, экструзия и литье под давлением.

При этом использование определенной технологии для получения готового изделия, обладающего выраженными эксплуатационными свойствами, из предложенных составов пьезокерамики ЦТС – 19 и ПЭНД с применением технологии горячего прессования, ставило задачу определения основных технологических параметров: температуры (t), времени выдержки (τ) и максимального давления прессования ($P_{\max}$).

Экспериментальные исследования по выявлению основных технологических параметров горячего прессования проводили на КМ, содержащих ПЭНД в соотношении 0,5 (далее ПК–5) и 0,3 (ПК–7) объемных долей, полученных в результате смешения массовых навесок компонентов, с последующим статическим прессованием заготовок до плотности $3,42 - 3,57 \text{ г/см}^3$ (74,3 – 77,5 % от теоретической) и $4,06 - 4,2 \text{ г/см}^3$ (69,5 – 71,5 %) соответственно. Данный диапазон составов был выбран из того, что при увеличении доли ПЭНД более 0,5 будут значительно ухудшаться пьезоэлектрические свойства в связи с ростом концентрации диэлектрического полимера. Содержание же пьезокерамики

свыше 0,7 долей приведет к недостаточности связующей матрицы термопласта, что не позволит получить высокие механические свойства

Для исследования был выбран диапазон температур нагрева КМ, содержащего 0,5 и 0,3 объема ПЭНД, составляющий: от 160 до 220 °С для состава ПК-5 и от 200 до 260 °С для состава ПК-7, давление горячего прессования варьировали от 6,57 МПа до 65,7 МПа.

В ходе экспериментов по горячему прессованию материала ПК-5 показанных на рисунке 3.1 было установлено, что выдержка при температуре 200 °С в течение 0,5 часа с последующим прессованием при давлении 6,57 МПа позволяет получить образцы с плотностью 4,3 г/см³ (93,42 % от теоретической), при увеличении давления плотность возрастает, достигая максимального значения (4,64 г/см³) при 52,56 МПа.

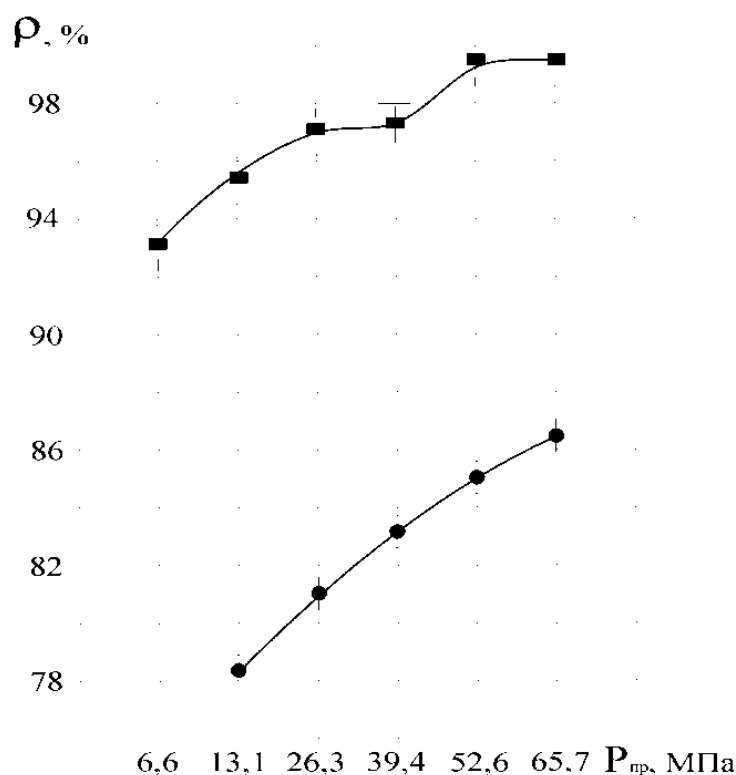


Рисунок 3.1 – Зависимость плотности полимерно–керамического материала от давления прессования: ■Материал ПК–5; ●Материал ПК–7

Исходя из полученных данных, дальнейшие исследования по выявлению зависимости плотности образцов от температуры, осуществлялись при давлении прессования в 55,5 МПа. Выбор данного значения связан с тем, что при

увеличении давления происходит выдавливание расплавленного полиэтилена и формирование облоя, что приводит к изменению стехиометрического состава.

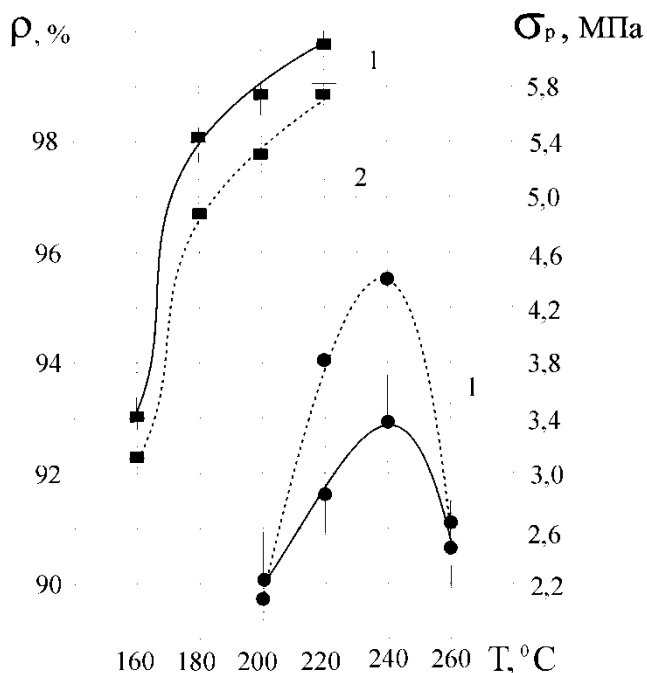


Рисунок 3.2 – Зависимость прочности и плотности от температуры прессования: 1 – относительная плотность материала; 2 – предел прочности на разрыв; ■ – Материал ПК-5; ● – Материал ПК-7

На рисунке 3.2 показано влияние температуры на плотность и предел прочности на разрыв. Как видно, существует корреляция между значениями прочности и плотности после горячего прессования смесового материала, однако, несмотря на рост прочности, при температуре 220 °С плотность ПК-5 достигает максимального значения (кривая 1), а плотность и прочность ПК-7 при $T = 260$ °С даже снижается. По-видимому, дальнейшее повышение прочности при использовании традиционной технологии без активации исходных компонентов не возможно.

Анализ кривых нагрузка – удлинение является весьма информативным в плане характеристики их механической прочности. Так, для полимерно-керамического материала кривая имеет почти прямолинейную форму и проходит очень круто, при разрыве она изогнута едва заметно. Такие материалы, подобно металлам, даже при достаточно больших растягивающих усилиях обна-

руживают небольшую деформацию, и являются, в отличие от полиэтилена, малоупругими и довольно хрупкими.

Таким образом, для горячего прессования были выбраны технологические режимы, установленные в ходе экспериментов на полимерно-керамических смесях: температура для ПК–5 от 200 до 220 °С, для ПК–7 от 230 до 245 °С с выдержкой при заданной температуре 1 час без приложения давления, и 0,5 часа свободного остывания под приложенным давлением в 55,5 МПа.

Значения плотности при указанной температуре представлены в таблице 3.1. Полученные результаты свидетельствуют, о существующей зависимости между плотностью материала после горячего прессования и прочностью образца.

Таблица 3.1 – Основные механические характеристики полимерно-керамического композиционного материала после горячего прессования

Материал	ρ , г/см ³ (%)	σ_p , МПа
ПКМ – 70 горячее прессование при $T = 240$ °С	5,4 (93)	4,4
ПКМ – 50 горячее прессование при $T = 200$ °С	4,6 (99)	5,27

Очевидно, что наблюдаемые явления объясняются различиями на структурном уровне КМ. Для выявления данного влияния образцы после испытания на разрыв подвергали микрофрактографическим исследованиям направленным на установление микроструктуры в зоне разрыва. Фрактографические исследования для изучения поверхностей изломов исследуемых составов ПКМ проводили на электронном микроскопе.

Ввиду высоких диэлектрических свойств как полимерной матрицы, представленной ПЭНД, и керамического наполнителя исследуемые поверхности подвергали вакуумному напылению золотом толщиной до 0,5 мкм. Анализ полученных микрофрактограмм проводили с подключением системы компьютерная обработка изображения «JBAS – 200», которая позволяет производить измерение размеров порошковых частиц, выделять поверхности транс - и межкристаллитного изломов, проводить статистическую обработку, оценивать про-

центное соотношение очагов транскристаллитного излома к общей площади поверхности. Данные исследования проводили на образцах, фрактограммы которых были получены при увеличении 1000 крат.

Анализ полученных микрофрактограмм приведенных на рисунке 2.3 свидетельствует, что прочностные свойства полимерно–керамического материала, в конечном счете, зависят от равномерности распределения полимерной составляющей.

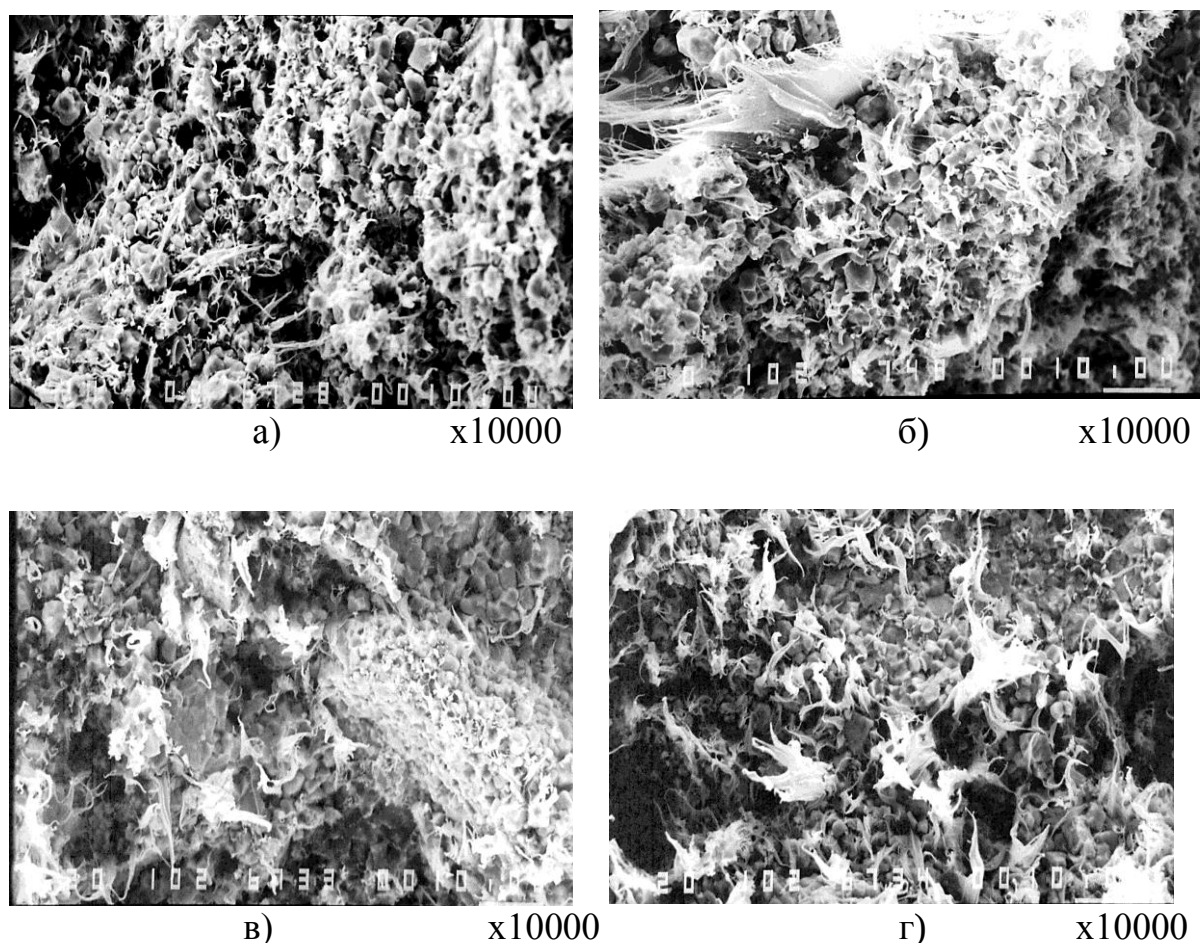


Рисунок 2.3 – Микрофрактограммы поверхности излома полимерно–керамического материала (пкм–50) после статического горячего прессования: а) – температура нагрева при прессовании 160 °С; б) – температура нагрева при прессовании 180 °С; в) – температура нагрева при прессовании 200 °С; г) – температура нагрева при прессовании 220 °С.

При этом имеет место существенное снижение ударной вязкости, работы разрушения. Модуль упругости растет с увеличением количества наполнителя,

но при этом увеличиваются размер и количество трещин, «псевдопор», возникающих в процессе нагружения при отслаивании матрицы от дисперсных частиц в момент достижения напряжений, соответствующих адгезионной прочности системы. Теоретические данные показывают, что путем уменьшения размеров частиц наполнителя и разброса их диаметров можно существенно снизить вероятность появления крупных дефектов. Другим направлением в создании дисперсно-наполненных полимеров является их модификация частицами каучука для снижения хрупкости и повышения ударостойкости. По литературным данным известно, что результаты были получены для ударопрочного полистирола, эпоксидных и других матриц. Механизм упрочнения материалов весьма сложен, но главная роль отводится торможению развития трещины каучуковыми частицами. Многие авторы указывают на целесообразность создания в целях повышения прочности переходного слоя, обладающего высокой адгезией к матричному полимеру и каучуковой фазе [7]. Дисперсные наполнители повышают вязкость и температуру переработки полимеров, снижают технологическую усадку, повышают размерную стабильность готовых изделий, увеличивают модуль упругости материала. Введением в композиты наполнителей можно повысить теплостойкость, снизить горючесть, изменить твердость и прочность, повлиять на другие свойства материала [17, 19].

Выводы

Исследования, проведенные на полимерно–керамическом материале составов ПКМ–50 и ПКМ–70, позволили определить рациональный диапазон давления и температуры, приемлемый для горячего прессования изделий из полимерно–керамического материала на основе полиэтилена низкого давления и керамического наполнителя. Показано влияние режимов прессования на механические свойства материала.

Заключение

Композиционные материалы постепенно занимает все большее место в нашей жизни. Области применения композиционных материалов многочисленны и постоянно расширяются. Возможности проектирования КМ практически неисчерпаемы, поскольку число сочетаний, которое можно сделать из огромного количества компонентов, пригодных для их получения просто огромно. Причем, это количество сочетаний следует еще увеличить с учетом числа различных структур компонентов, которые можно получить, управляя их формированием путем изменения технологии изготовления материалов.

Аналогично свойства различных КМ можно варьировать в широких пределах подбирая составы и структуры а также способы получения. Такие особенности КМ позволяют материаловедам конструировать материалы с учетом их области применения и заданных эксплуатационных свойств.

Таким образом, научный подход позволяет конструировать и проектировать КМ и изделия с заданным комплексом эксплуатационных свойств.

Современная наука о полимерах позволяет конструировать на их основе материалы с заданными свойствами, отличающимися на несколько порядков от исходных компонентов. Достигается это путем создания композиционных материалов с использованием различных наполнителей. Современные достижения материаловедения, информационных технологий, наличие объемных баз данных позволяют значительно облегчить проектирование полимерных композитов, однако для определения процентного соотношения зачастую требуется проведение серии экспериментов. Только в процессе экспериментального исследования возможно точно определить механические и эксплуатационные свойства полученного композиционного материала, точно определить наилучший состав и соотношение компонентов.

Однако, конструирование композиционных материалов, каждый из которых индивидуален, представляет собой творческий процесс, теория которого находится пока в стадии накопления результатов аналитических и эксперимен-

тальных исследований. Наиболее обоснованы в настоящее время методы создания порошковых металлических композитов, стекловолоконитов и дисперсно-наполненных пластиков.

Разработка композитов требует высокой квалификации и инженерной интуиции материаловедов, занимающихся данной проблемой, а также дополнительного проведения исследования механических и эксплуатационных свойств получаемых композитов. Решение данного вопроса возможно лишь в хорошо оборудованных лабораториях, позволяющих получить образцы КМ заданного стехиометрического состава и геометрических форм, а так же провести комплексную оценку всех необходимых механических и эксплуатационных испытаний.

Исследования, проведенные на полимерно–керамическом материале составов ПК–5 и ПК–7, позволили определить рациональный диапазон давления и температуры, приемлемый для горячего прессования изделий из полимерно–керамического материала на основе полиэтилена низкого давления и керамического наполнителя. Показано влияние режимов прессования на механические свойства материала.

Поставленные цели и задачи в выпускной квалификационной работе выполнены.

Список используемой литературы

1. **Мельниченко, М. А. Влияние состава наполнителей на свойства полимерных композиционных материалов** [Текст]: статья / Мельниченко М. А., Ершова О. В., Чупрова Л. В. // Молодой ученый. – 2015. – №16. – С. 199-202.
2. **Шайерс, Дж. Рециклинг пластмасс: наука, технологии, практика** [Текст]: монография. Пер с англ. – СПб.: Научные основы и технологии, 2012.- 640с.
3. **Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология** [Текст]: учеб. пособие / Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С.; под ред. А.А Берлина – СПб.: Профессия, 2008.- 560 с.
4. **Нестеренкова А. И., Осипчик В. С. Тальконаполненные композиции на основе полипропилена** [Текст]// Пластические массы. – 2007. – № 6. – с. 44–46.
5. **Пахаренко, В. А. Наполненные термопласты** [Текст]: Справочник / Пахаренко В. А., Зверлин В. Г., Кириенко Е. М.; под ред. Липатова Ю. С. – К.: Техника, 1986–182 с.
6. **Фесенко, Е.Г. Новые пьезокерамические материалы** [Текст]: монография/ Е.Г. Фесенко, А.Я. Данцигер, О.Н. Разумовская. – Ростов н/Д., 1983. – 156 с.
7. **Электроника** [Текст]: Энциклопедический словарь/ Гл. ред. В.Г. Колесников. – М.: Сов. энциклопедия, 1991. – 688 с.
8. **Лучейкин, Г.А. Полимерные пьезоэлектрики** [Текст]: монография – М.: Химия, 1990. – 176 с.
9. **Материалы пьезокерамические. Технические условия** [Текст]: ОСТ 11 0444-87. – М.: Электростандарт, 1987.
10. **Материаловедение** [Текст]: учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макаров, Г. Г. Мухин и др. ; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – 5-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 648 с.

11. **Маттьюз, Ф. Композитные материалы. Механика и технология**/ Ф. Маттьюз, Р. Ролингс. – М.: Техносфера, 2004. – 408 с.
12. **Новые материалы** [Текст]: Колл. Авторы. Под ред. Ю.С. Карабаева. М.Е: МИСИС, 2002, - 736 с.
13. **Портной, К.И. Структура и свойства композиционных материалов** [Текст]: /Портной К.И., Левинский Ю.В., Салибеков С.Е., Чубаров В.М.- М.: Машиностроение, 1979. - 255 с.].
14. **Композиционные материалы** [Текст]: справочник / Под ред. Карпиноса Д.М. – Киев: Наукова думка, 1985.- 592 с.
15. **ГОСТ 11262–80 (СТ СЭВ 1199–78) Пластмассы. Метод испытания на растяжение (с Изменением N 1)**
16. **Современные композиционные материалы** [Текст]: / Под ред. П. Крока и Л. Броутмана. Пер. с англ. - М., Мир, 1970. 236 с.
17. **Чупрова, Л. В. Технологические особенности производства упаковки из вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ)** [Текст]: статья / Чупрова Л. В., Муллина Э. Р. // Молодой учёный. – 2013. – № 5. – С. 123–125.
18. **Ивановский, С. К. Экологические аспекты проблемы утилизации отходов полимерной упаковки и техногенных минеральных ресурсов** [Текст]: статья / Ивановский С. К., Бахаева А. Н., Ершова О. В., Чупрова Л. В. // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1–5. – С. 813–815.
19. **Барашков Н. Н. Полимерные композиты: получение, свойства, применение** [Текст]: монография – М.: Наука, 1984. –128 с.
20. **Кербер, М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология** [Текст]: учеб. пособие / Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С., под ред. А.А Берлина – СПб.: Профессия, 2008.- 560 с.
21. **Ершова, О. В. Современные композиционные материалы на основе полимерной матрицы** [Текст]: статья / Ершова О. В., Ивановский С.К., Чупрова Л. В., Бахаева А. Н. //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 4–1. – С. 14–18.

22. Шайерс Дж. Рециклинг пластмасс: наука, технологии, практика [Текст]: монография / Пер с англ. – СПб.: Научные основы и технологии, 2012. 640 с.

23. Ершова, О. В. Получение композиционного материала на основе вторичного поливинилхлорида и техногенных минеральных отходов [Текст]: статья / Ершова О. В., Чупрова Л. В. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 5–1. – С. 9–12.

24. Ершова, О. В. Изучение влияния состава неорганического наполнителя на физико-химические свойства полимерного композиционного материала [Текст]: статья /Ершова О. В., Муллина Э. Р., Чупрова Л. В., Мишурина О. А., Бодьян Л. А. // Фундаментальные исследования. – 2014. № 12–3. – С. 487–491.

25. Ершова О. В. Исследование возможности совместной утилизации техногенных минеральных и полимерных отходов [Электронный ресурс]: статья / Ершова О. В., Коляда Л. Г., Чупрова Л. В. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1. – С. 206; URL: www.science-education.ru/115-11886.

26. Ершова, О. В. Минеральные техногенные отходы как наполнитель композиционных материалов на основе полимерной матрицы [Текст]: статья / Ершова О. В., Ивановский С. К., Чупрова Л. В., Бахаева А. Н. //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 6–2. – С. 196–199.

27. Ферричио Т. Х. Основные принципы выбора и использования дисперсных наполнителей [Текст]: монография – М.: Химия, 1981, 30 с.

28. Крыжановский В. К. Технические свойства полимерных материалов [Текст]: учеб. – справ. пособие – СПб.: Профессия, 2005. 240 с.

29. Нестеренкова А. И., Осипчик В. С. Тальконаполненные композиции на основе полипропилена [Текст]: статья// Пластические массы. – 2007. – № 6. – с. 44–46.

Приложение А

					ПГУ.ВКР.22.03.01.14МТ103 ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



ФГБОУ ВО ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет машиностроения и транспорта

Кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

*Исследование структуры и механических свойств
полимерно-керамических композиционных
материалов на основе полиэтиленовой матрицы
полученных методом горячего прессования*

**Быкова Анастасия
Андреевна**

Группа 14MT1

**Руководитель: к.т.н.,
доцент Логинов О.Н.**

Пенза - 2018

Цель бакалаврской работы

Объект: высоконаполненный полимерно-керамический композиционный материал на основе полиэтиленовой матрицы с содержанием керамического компонента 50 и 70 %.

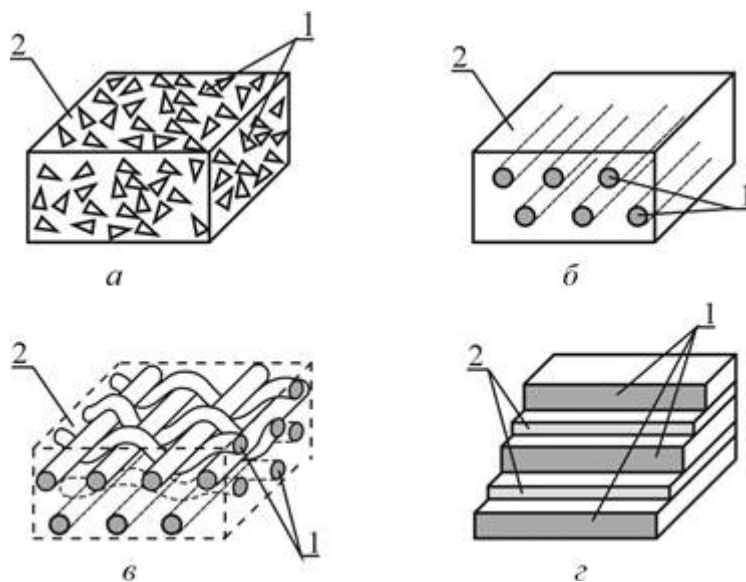
Цель работы – исследовать влияние технологических параметров горячего прессования на структуру и механические свойства высоконаполненного полимерно-керамического композиционного материала на основе полиэтиленовой матрицы с содержанием керамического компонента 50 и 70 %.

В связи с этим необходимо выполнить следующие задачи:

- провести литературный обзор используемых в настоящее время полимерно-керамических материалов;
- определить влияние технологических параметров горячего прессования на структуру и механические свойства высоконаполненного полимерно-керамического композиционного материала на основе полиэтиленовой матрицы;
- исследовать взаимосвязь структуры и механических свойств высоконаполненного полимерно-керамического композиционного материала на основе полиэтиленовой матрицы с содержанием керамического компонента 50 и 70 %.

Актуальность работы

Композиционные материалы (КМ) открывают широкие возможности для улучшения существующих и разработки новых конструкций, все шире используются в различных отраслях, где преобладают обычные, далекие от экстремальных условия эксплуатации, но имеется необходимость применения материалов или составляющих сборочных элементов, различающихся как по геометрическим, так и по физическим параметрам от традиционно применяемых.



1 – наполнитель; 2 – связующее; а – дискретные частицы;
б – волокна, нити, жгуты; в – ткань; г – листовой материал

Например изготовление датчиковых или магнитных элементов сложной геометрической формы, снижение хрупкости традиционных керамических изделий, повышение механических свойств при сохранении функциональных свойств.

Однако внедрение КМ связано с рядом специфических факторов, которые надо учитывать при разработке элементов конструкций на их основе.

Исходные материалы

В качестве исходных материалов:

Пьезокерамика состава ЦТС-19 (цирконат-титанат свинца) и Полиэтилен низкого давления ПЭНД (высокой плотности).

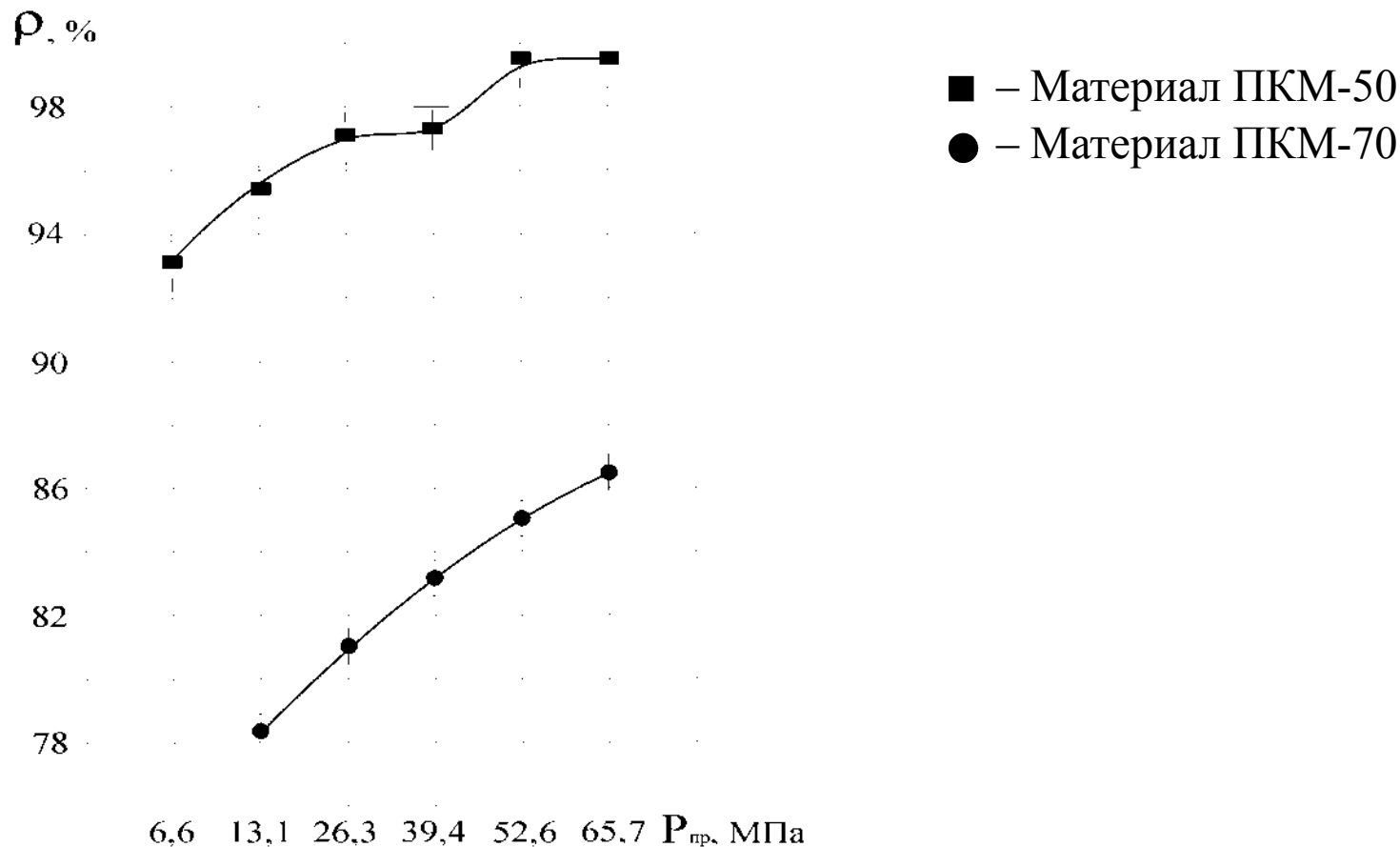
Исследования по выявлению основных технологических параметров горячего прессования проводили на материалах, содержащих 0,5 (ПКМ-50) и 0,3 (ПКМ-70) объемных долей ПЭНД.

Основные методы исследования

Процесс исследования проводился следующими методами:

- анализ технической литературы и нормативно-правовой документации по теме работы;
- обобщение полученной теоретической информации;
- плотность заготовок определяли гидростатическим методом (ГОСТ 2409-80);
- механические свойства по пределу механической прочности при растяжении (σ_p) (ГОСТ 11262-80) на разрывной машине модели 2161P-5 УХЛ 4.2;
- исследования микроструктуры проводили на установке «JSCXF-733».

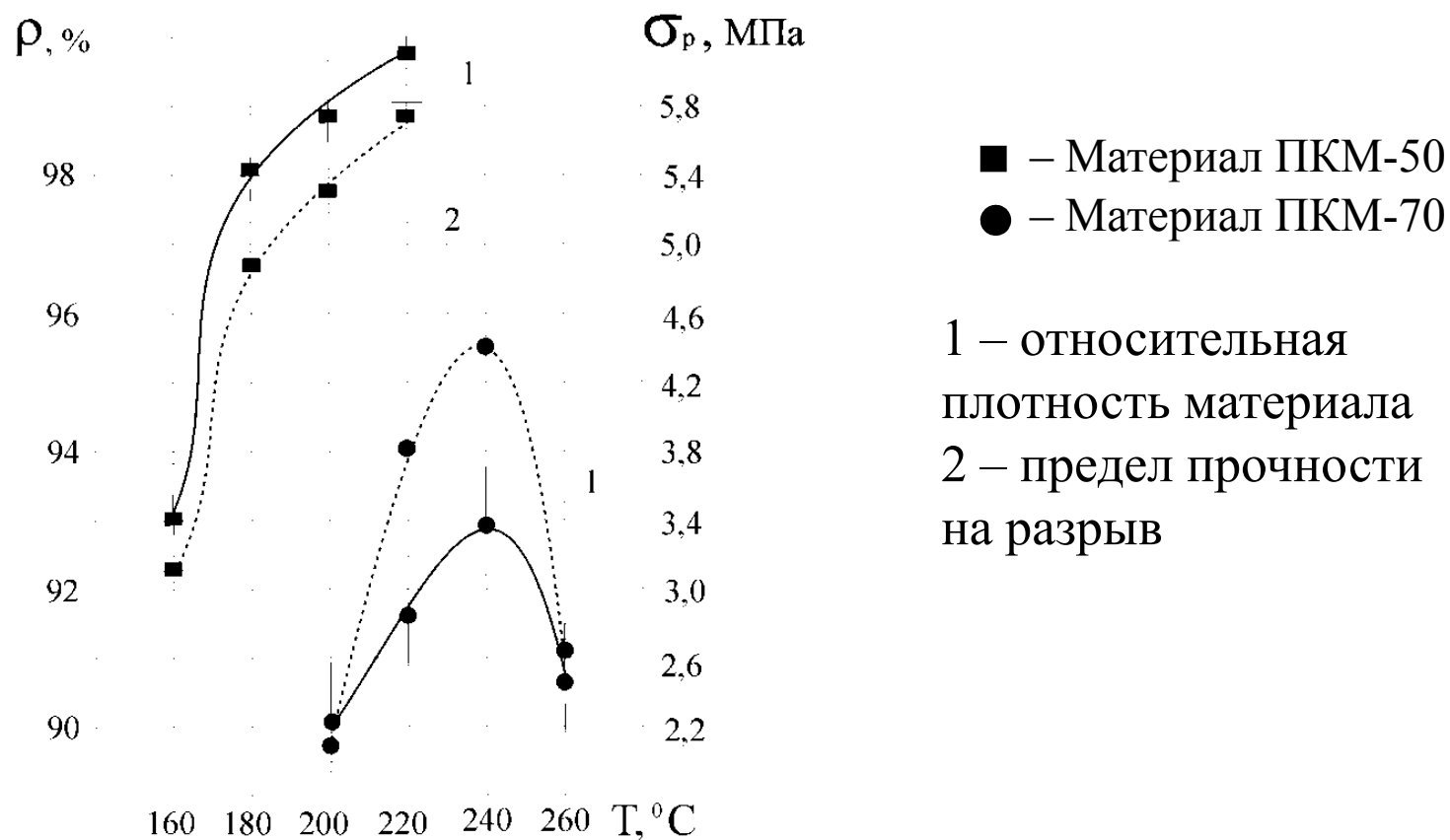
Определение давления горячего прессования ПКМ



Зависимость плотности полимерно-керамического материала от давления прессования

Исследование Влияния температуры горячего прессования

7



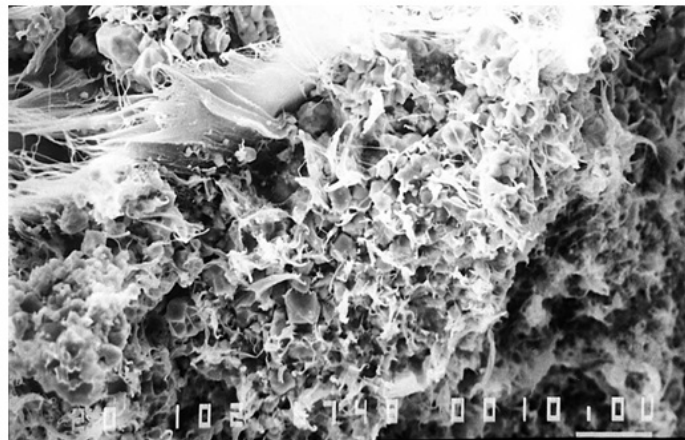
Зависимость плотности и прочности полимерно-керамического материала от температуры прессования

Микрофрактограммы поверхности излома ПКМ-50



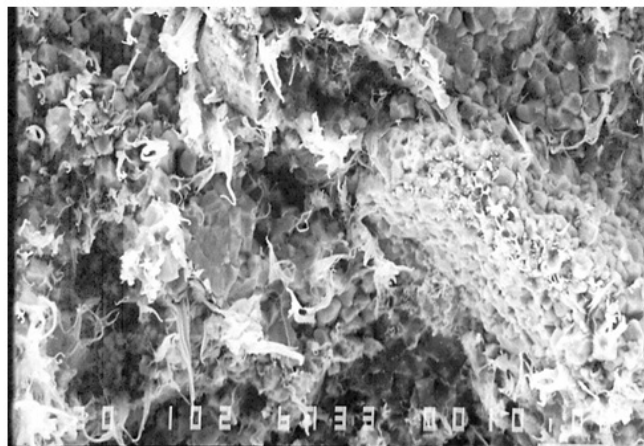
а

x10000



б

x10000



в

x10000



г

x10000

а – температура
нагрева при
прессовании
160⁰С;

б – температура
нагрева при
прессовании
180⁰С;

в – температура
нагрева при
прессовании
200⁰С;

г – температура
нагрева при
прессовании
220⁰С

Результаты исследования

Основные механические характеристики полимерно-керамического композиционного материала после горячего прессования на выбранных режимах нагрева при давлении прессования 55,5 МПа

Материал	ρ горячего прессования, г/см ³ (%)	σ_v , МПа
ПКМ – 70 горячее прессование при $T = 240$ °С	5,4 (93)	4,4
ПКМ – 50 горячее прессование при $T = 200$ °С	4,6 (99)	5,27

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- проведен литературный обзор перспективности использования полимерно-керамических материалов;
- определено влияние технологических параметров горячего прессования на структуру и механические свойства высоконаполненного полимерно-керамического композиционного материала составов ПКМ-50 и ПКМ-70 на основе полиэтиленовой матрицы;
- исследовано влияние режимов горячего прессования и показана взаимосвязь структуры и механических свойств высоконаполненного полимерно-керамического композиционного материала.