

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

На правах рукописи

Каргина Дарья Михайловна

**Экспертное исследование полимерных изделий, получаемых методом 3D
прототипирования**

Специальность 40.05.03 «Судебная экспертиза»

Автореферат дипломной работы

Научный руководитель

доцент, к.х.н., Н.О. Гегель

Зав. кафедрой уголовного процесса,

криминалистики и судебных экспертиз

к. ю. н, доцент С.А. Полунин

Саратов 2020

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы экспертного исследования полимерных изделий, получаемых методом 3D прототипирования, обусловлена тем, что анализ отраслевой структуры мировой экономики показывает, что в современном мире наблюдается резкий рост производства полимеров. Исследователи приходят к выводу о том, что в общем объёме бытовых и промышленных отходов, полимерная продукция сегодня составляет примерно 40%. Также можно констатировать факт того, что в современном мире объёмы производства и использования полимеров, которые производятся из нефтехимического сырья, постоянно и достаточно значительно увеличиваются. Отметим, что наблюдается тенденция вытеснения бумаги, металла, картона, а также стекла, полимерами. Соответственно, объёмы производства изделий из полимерных материалов (в первую очередь – упаковочных изделий), постоянно увеличиваются, и впоследствии именно эта продукция в больших количествах оказывается на свалках ввиду своей одноразовости и ненужности. Данная проблема, в конечном итоге, негативно сказывается на состоянии окружающей среды, поскольку традиционные полимерные материалы разлагаются десятки и даже сотни лет, при этом следует понимать, что площади под свалками ограничены. Таким образом, проблема полимерных отходов становится в современном мире все более актуальной.

Также следует отметить, что производство полимеров с новыми свойствами связано с большими затратами, вследствие чего важным направлением становится модификация уже выпускаемых полимерных материалов. Существенную роль в расширении ассортимента выпускаемых полимеров играет и экономическая целесообразность процесса модификации, применение которого заметно снижает затраты на производство. В связи с расширением использования новых способов энергетического, волнового воздействия в различных частотных диапазонах, плазменной обработки и других способов физического и физико-химического воздействия, появляется

ВОЗМОЖНОСТЬ В СОЗДАНИИ НОВЫХ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ СПОСОБОВ МОДИФИКАЦИИ.

Все вышеуказанное определило актуальность темы работы.

Степень научной разработанности. Большой вклад в изучение различных направлений модификации внесли Разумовский С.Д., Заиков Г.Е., Потапов Е.Э., Кочнев А.М., Галибеев С.С., Тужиков О.И., Желтобрюхов В.Ф., Сяопин Ц., Кву Х.К., Озерин А.Н., Гильман А.Б., Дагостино Р., Архангельский М., Калганова С.Г., Завражин Д.О., Джунаратне Р.Д. и др.

Объект работы – исследование полимерных изделий.

Предмет - полимерные изделия получаемые методом 3D прототипирования.

Цель данного исследования – провести исследование полимерных изделий, полученных методом 3D прототипирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Рассмотреть понятие и свойства полимеров;
2. Исследовать область применения полимерных изделий;
3. Изучить особенности метода 3D прототипирования;
4. Проанализировать разновидности полимерных изделий, получаемых методом 3D прототипирования;
5. Выявить проблемы и недостатки в полимерных изделиях, получаемых методом 3D прототипирования;
6. Предложить пути совершенствования изготовления полимерных изделий, получаемых методом 3D прототипирования.

Методологическая основа. Поставленные цели и задачи были решены путем систематизации результатов анализа и проработки отечественного и зарубежного опыта в аспекте изучения полимерных изделий получаемых методом 3D прототипирования.

Эмпирическая база. В ее основу легли изучение микроскопии и метода на растяжение и сжатия.

Научная новизна. Вопрос данного исследования не является до конца изученным, несмотря на обширное его представление в научной литературе. Узкая направленность данной работы освещается впервые.

Практическая значимость. Материалы исследования могут быть использованы при чтении курса лекций и при проведении лабораторного практикума у студентов.

Структура работы. Цель и задачи написания работы определили ее структуру, которая состоит из введения, трех глав и заключения.

II. СОДЕРЖАНИЕ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы, научная новизна исследования; определяются объект, предмет, цель и задачи исследования; характеризуется научная разработанность темы, методология исследования; формулируются теоретическая и практическая значимость работы; дается характеристика эмпирической базы исследования, а также обосновываются структура и содержание работы.

В первой главе **«Теоретические основы изучения полимерных изделий»** раскрываются понятие, сущность полимеров, их свойства. Поводится классификация полимеров по различным основаниям, характеризуются виды полимеров и их особенности; исследуются основные способы проведения полимеризации, а также выделяются преимущества и недостатки существующих способов проведения полимеризации.

В данной главе также характеризуется область применения полимерных изделий, приводятся примеры использования полимерных изделий в различных сферах жизнедеятельности: домашних условиях, в строительной отрасли, в медицине, в кинематографе, в сельском хозяйстве, а также в пищевой промышленности.

В дипломной работе отмечается, что производство полимеров в промышленных масштабах началось в начале 20-го века. В вышеуказанный период, в промышленности был запущен выпуск искусственных полимеров,

который осуществлялся методом обработки целлюлозы. Также именно в этот период началось производство и синтетических полимеров, в основе которого лежал метод обработки низкомолекулярного сырья, в качестве которого, как правило, использовались, например, винилхлорид, фенол, стирол, акрил, формальдегид и другие вещества.

В дипломной работе установлено, что сегодня полимеры используются повсеместно, то есть практически во всех отраслях промышленного производства: из полимеров можно изготавливать детские игрушки, строительные материалы, различные имплантаты, применяемые в медицине, а также ткани, медицинские препараты, смазочные материалы для станков, различные защитные маски и очки, тенты и окна. В первой главе дипломной работы отмечается, что многие виды мебельных тканей и наполнителей, заменителей натуральной кожи, а также сами обработанные натуральные кожи, каучуки, упаковочные и рекламные материалы, корпуса различных приборов, пленки различного назначения, материалы для электротехнической и радиотехнической промышленности, ювелирные изделия, композиционные материалы, ионообменные и эпоксидные смолы, пластмассы с экстремальными свойствами (термостойкие и морозостойкие, огнестойкие и т. д.) производят с использованием полимеров.

Во второй главе **«Анализ полимерных изделий, получаемых методом 3D прототипирования»** рассматриваются особенности метода 3D прототипирования, а также характеризуются разновидности полимерных изделий, получаемых методом 3D прототипирования.

В данной главе дипломной работы установлено, что создание прототипа является важным этапом при изготовлении деталей и конструкций, поскольку данный способ позволяет оценить как достоинства, так и недостатки продукта перед началом массового производства. Таким образом, трехмерное прототипирование значительно снижает риск изготовления дефектной партии. В результате анализа полимерных изделий, получаемых методом 3D прототипирования, установлено, 3D-прототипирование используется

практически везде, поскольку именно современные аддитивные технологии позволяют изготавливать образцы практически любого продукта по низким ценам: от игрушек и сувениров до искусственных суставов и протезов.

В дипломной работе отмечается, что традиционно прототипы изготавливались вручную или с использованием фрезерных станков, как правило, поддерживающих функцию программирования, но этот метод имеет серьезные недостатки, основным из которых являются значительные временные затраты.

Также в дипломной работе установлено, что сегодня для 3D-прототипирования практически повсеместно используется трехмерная печать, преимущества которой включают относительно высокую скорость работы, низкие затраты, возможность изготовления деталей с геометрией практически любой сложности. Анализ, проведенный в дипломной работе, показывает, что материалы, используемые для 3D-печати, демонстрируют высокую прочность, термостойкость, устойчивость к влаге и агрессивным средам. Также во второй главе дипломной работы установлено, что, как и при производстве любых добавок, создание прототипов с помощью 3D-печати практически исключает образование отходов и минимизирует расход материала.

В дипломной работе проводится классификация принтеров, используемых для трехмерной печати. Устанавливается, что все принтеры для трехмерной печати можно разделить на две группы: обеспечение экструзии (распыления) или спекания (склеивания) материала. Рассматриваются основные технологии, которые работают по первому принципу (плавленное моделирование осаждения (FDM), PolyJet и объектив). и второму принципу - стереолитография (SL в английской литературе), Лазерное спекание (LS).

Рассматривая основные вопросы, связанные с исследованием 3D прототипирования, устанавливается, что наиболее популярными материалами для 3D-печати являются АБС-пластик, полимолочная кислота (PLA), нейлон, полиэтилентерефталат и полибутилентерефталат (PET и PETT),

ударопрочный полистирол (HIPS), поливиниловый спирт (PVA). Для 3D-прототипирования деталей, рассчитанных на повышенные нагрузки, можно использовать металл.

Во второй главе дипломной работы выделяются и характеризуются этапы прототипирования 3D моделей, к которым относятся:

1. Во-первых, строительство объекта;
2. Мастер-модель выполнена с использованием трехмерного фрезерования, напечатанного на 3D-принтере;
3. Готовый макет проходит испытания;
4. При необходимости продукт корректируется и дорабатывается до идеала.

Также выделяются требования к созданию технического образца, к которым относятся:

- точность, которая обеспечивается качественным, выполненным трехмерным моделированием на профессиональном уровне программного обеспечения для создания инженерной трехмерной графики;
- видимость - на этапе проектирования используется функция визуализации;
- функциональность;
- эффективность.

Устанавливается, что существует 2 основных способа создания модели объема:

1. 3D-печать выполняется на 3D-принтере, постепенно добавляя детали. К ним относятся стереолитография, селективное лазерное спекание порошков и струйное моделирование. Используется на основе материалов: PLA, ABS, PVA-пластик и полимерных сыпучих материалов не только по назначению, но и для мелкосерийного и разового производства.

- 3D-фрезерование - это процесс создания модели изделия на фрезерном станке с ЧПУ. На основе данного способа можно создавать объекты любой сложности, спецификации и конфигурации. В дипломной работе отмечается,

что это самый точный метод. С его помощью можно работать с такими материалами, как дерево, металл, пластик.

Автор отмечает, что область применения аддитивных технологий постоянно расширяется. Таким образом, прототипирование является той областью, в которой на данный момент времени 3D-печать используется наиболее активно.

Анализ, проведенный во второй главе дипломной работы, показывает, что рынок 3D-печати очень быстро растет. Автор отмечает, что еще в 2017 году объем данного рынка превысил 7 миллиардов долларов, но по современным оценкам экспертов, уже в 2024 году, рынок 3D-печати вполне может увеличиться более чем в 5 раз, достигнув тем самым 35,6 миллиарда. Таким образом, автор выносит предположение о том, что в дальнейшем доля готовой продукции (или ее частей), произведенных с использованием данной технологии, будет увеличиваться. При этом, автор отмечает, что несмотря на очевидные преимущества, технология 3D-печати форм мало используется в отечественной промышленности. Препятствиями для проникновения являются высокая цена оборудования и стоимость его эксплуатации, низкая доступность расходных материалов и отсутствие необходимой квалификации.

Также во второй главе дипломной работы исследуется опыт разработки и использования песочных 3D принтеров. Отмечается, что в ходе НИОКР были испытаны струйные и лазерные технологии для 3D-печати песчаных форм. Каждый из них показал свои преимущества и недостатки, но формы, полученные с их помощью, имели сопоставимые характеристики.

В ходе эксперимента удалось доказать, что для отдельных отливок и небольших партий продукции пресс-форма и стержни могут быть полностью напечатаны на 3D-принтере. В случае более крупной партии можно использовать стержни, изготовленные на 3D-принтере, а форма - традиционный песок. В серийном производстве сложные стержни, напечатанные на 3D-принтере, могут быть использованы для серийной обработки.

На основании исследований, проведенных во второй главе дипломной работы, автор приходит к следующим выводам: 1. Существует необходимость поддержания PLA в сухих помещениях. 2. Необходимо знать природу и свойства красителя и добавок для обработки материала, используемого при 3D печати. Автор считает, что дальнейшее исследование 3D печати должно быть направлено на более углубленное изучение реологических характеристик и определение природы красителя.

В третьей экспериментальной главе дипломной работы автор сравнивает технологии 3D-моделирования и 3D-печати с используемыми в настоящее время методами удаления следов (обуви) человека.

Целью эксперимента, проведенного в третьей главе дипломной работы, было сравнение технологии фиксации и удаления следов обуви с использованием гипса и 3D-моделирования (3D-сканеры и 3D-принтеры). Автор отмечает, что зачастую следы человека остаются на месте преступления, поэтому, своевременное обнаружение правильного удаления такого следа имеет важное значение при раскрытии преступления. Автор указывает, что с помощью изъятых следов можно делать предположения о поле, росте, возрасте, весе, физиологических характеристиках подозреваемого, идентифицировать его ноги (туфли) с изъятым следом. Отмечается, что оставленный след хрупок, поэтому его необходимо правильно и быстро удалить, поэтому обычно его сначала фотографируют.

В дипломной работе отмечается, что в настоящее время используется довольно сложный и длительный процесс создания следового оттиска, например гипсовая отливка, недостатки этого способа выражаются в длительной подготовке и сушке гипса, необходимости тщательной подготовки следа к удалению (удалению) различных видов мусора от следа). То есть гипсовый слепок легко разрушается, следовательно, этот слепок не всегда может отражать истинную картину следа.

Автор отмечает, что с развитием современных технологий, таких как 3D-моделирование и 3D-печать, стало возможным быстрее и точнее удалять

следы, эти функции уже используются в зарубежных странах. Технологии 3D извлечения и фиксации облегчат работу судмедэксперта на месте преступления, поскольку скорость работы увеличится, конфискованный отпечаток пальца будет полностью совпадать с левым, поскольку 3D-сканер имеет высокую точность измерения, след будет записан в цифровом виде, что позволит для быстрого компьютеризированного сравнения отпечатков пальцев. 3D-сканер имеет сильное приближение, поэтому теоретически он может сделать отпечаток жирного следа рук.

Дипломница приходит к выводу о том, что наиболее распространенным методом пластиковой печати является метод экструзии (метод FDM), который заключается в послойном осаждении материала. Популярность метода FDM обусловлена довольно низкой стоимостью принтеров и расходных материалов. Кроме того, на широкую доступность этой технологии влияет наличие компонентов для сборки принтеров FDM.

Эксперимент проводился на экспериментальных образцах, которые были получены из АБС-пластика с использованием 3D-принтера MakerBot Replicator 2X со следующими режимами печати: температура экструдера - 250 ° C; скорость печати 80 мм / с; скорость подачи пластика - 0,97; диаметр сопла экструдера 0,3 мм; ширина резьбы - 0,45 мм; высота слоя - 0,25 мм; температура стола первого слоя составляет 115 ° C; температура стола остальных слоев составляет 105 ° C. Прочность на растяжение определяли на испытательной машине INSTRON 3369. Скорость испытания на растяжение составляла 5 мм / мин. Целью экспериментальных исследований было получение зависимости удельного веса и предела прочности при изгибе образца от внутренней структуры изделия из АБС-пластика.

Для расширения области применения изделий, полученных по технологии FDM, автором были протестированы образцы АБС-пластика на прочность на растяжение, изгиб и сжатие, определены их удельный вес и усадка.

В результате экспериментальных действий, проведенных с целью определения прочности образца на растяжение, была установлена зависимость прочности на растяжение изделия из АБС-пластика от количества нитей на оболочке поверхностного слоя. Зависимость показала, что количество нитей на оболочке поверхностного слоя оказывает существенное влияние на их прочность. Для 8 и 10 нитей предел прочности составляет 37,5-38 МПа, а максимальная деформация материала для 10 нитей. Таким образом, было установлено, что деформация материала при его растяжении зависит от количества нитей на оболочке поверхностного слоя и достигает максимальных значений для образцов, содержащих восемь (0,218 мм) и десять (0,242 мм) нитей при напряжении 38 МПа.

В результате экспериментальных действий, проведенных с целью определения предела прочности на изгиб, было установлено, что образцы с тетраэдрической структурой плотнее, чем образцы с гексагональной структурой с одинаковыми режимами печати и заполнения.

Определение предела прочности на сжатие показало, что образцы с материалом заполнения 80% выдерживают напряжение сжатия 22 МПа. Когда образец уменьшается с заполнением материала на 40%, напряжение уменьшается почти вдвое (12,3 МПа). Это необходимо учитывать при проектировании нагруженных деталей для их изготовления из АБС-пластика методом экструзии по FDM-технологиям.

Экспериментальные данные по усадке материала для моделей показали, что при заполнении модели материалом от 20 до 80% усадка составляет 1%. При 100% заполнении модели материалом усадка составила 0,78%.

Экспериментальные данные были использованы при проектировании литейного оборудования и изготовлении заготовок для деталей кузова узла сцепления железнодорожного вагона методом послойного напыления АБС-пластика.

В заключении изложены основные выводы по результатам проведенного исследования.

