

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский-технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Индустриальной инженерии»



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Исследование применения аддитивных технологий Fused
Deposition Modeling при изготовлении детали»

По специальности 5В071200 - Машиностроение

Выполнил:

Сарина Малика Туркменбаевна

Научный руководитель,
Заведующий кафедрой
PhD, ассоц. профессор

Б.С. Арымбеков Б.
«05» мая _____ 2021 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский-технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Индустриальной инженерии»

5B071200 - Машиностроение



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучавшемуся: Сарина Малика Туркменбаевна

Тема: *«Исследование применения аддитивных технологий Fused Deposition Modeling при изготовлении детали»*

Приказом Ректора Университета № 2131 от «24» 11 2020г.

Срок сдачи законченной работы «24» 05 2020г.

Исходные данные к дипломной работе:

Краткое содержание дипломной работы:

- a) *О технологии Fused Deposition Modeling*
- б) *Программное обеспечение FDM Insight*
- в) *Шероховатость и пористость поверхности*
- г) *Печать FDM*
- д) *Исследования и разработки в области FDM*


Рекомендуемая основная литература: из 5 наименований

ГРАФИК
подготовки дипломной работы


Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
Введение. О технологии Fused Deposition Modeling	12.01.21 - 19.01.21	выполнено
Программное обеспечение FDM Insight	04.03.21 - 11.03.21	выполнено
Шероховатость и пористость поверхности	1.04.21	выполнено
Печать FDM	5.04.21	выполнено
Исследования и разработки в области FDM	15.04.21	выполнено

Подписи

Консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты И.О.Ф. (уч. степень звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтроль	Арымбеков Б.С.	05.05.2021	

Научный руководитель  Арымбеков Б.С.

Задание принял к исполнению обучающийся  Сарина М.Т.

Дата «05» 05 2021 г.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жобада Fused Deposition Modeling (FDM) аддитивті технологиялар процестерінің бірі қарастырылады. Біз Fused Deposition Modeling технологиясының принциптерін, түрлі модельдер басып шығару принциптерін, Fused Deposition Modeling процесінің параметрлерін және 3D принтерге басып шығаруға қажетті материалдарды зерттедік, әртүрлі пластиктерді салыстырдық.

Insight бағдарламалық жасақтамасы, сондай-ақ осы бағдарламалық жасақтамада модель құрудың негізгі процедурасы қарастырылған.

Осы технологияны қолдану барысында Fused Deposition Modeling машинасында жұмыс істеу кезінде артықшылықтар мен кемшіліктер анықталды.

Температураның бетінің кедір-бұдырлығы мен кеуектілігіне қандай әсерін тигізетінін анықтадық.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассмотрен один из процессов аддитивных технологий Fused Deposition Modeling (FDM). Изучили принципы работы моделирования с плавным осаждением, принципы печати, параметры процесса Fused Deposition Modeling и материалы, которые необходимы для 3D-печати, сравнили различные пластики.

Рассмотрено программное обеспечение Insight, а также базовая процедура построения модели в данном ПО.

В ходе применения данной технологии были выявлены преимущества и недостатки при работе на машине Fused Deposition Modeling.

Выявили влияние температуры на шероховатость и пористость поверхности.

ANNOTATION

In this thesis, one of the processes of additive technologies Fused Deposition Modeling (FDM) is considered. We studied the principles of Fused Deposition Modeling, the principles of printing, the parameters of the Fused Deposition Modeling process and the materials required for 3D printing, and compared various plastics.

The software Insight is considered, as well as the basic procedure for building a model in this software.

During the application of this technology, the advantages and disadvantages of working on a Fused Deposition Modeling machine were identified.

The influence of temperature on the surface roughness and porosity was revealed.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 О технологии Fused Deposition Modeling	9
1.1 Процесс FDM	9
1.2 Параметры процесса FDM	11
1.2.1 Высота среза	11
1.2.2 Размер наконечника модели	12
1.2.3 Температура сборки модели	12
1.2.4 Ширина растра	12
1.2.5 Растровый угол	12
1.2.6 Воздушный зазор	13
1.2.7 Стилль заливки деталей	13
1.2.8 Стилль внутренней части	14
1.3 Преимущества и ограничения	15
1.4 Материалы FDM	16
2 Программное обеспечение FDM Insight	19
3 Шероховатость и пористость поверхности	22
3.1 Механические свойства	23
3.2 Влияние температуры печати	24
4 Печать FDM	27
4.1 Усилие для быстрой печати	27
4.2 Усилия по улучшению разрешения	28
5 Исследования и разработки в области FDM	31
Заключение	32
Список использованной литературы	33

ВВЕДЕНИЕ

Традиционно при литье в оболочечные формы используют восковые модели. Эти модели изготавливают в металлических пресс-формах, что делает изготовление оснащения очень дорогим процессом и может занимать до нескольких недель. Для изготовления мелкосерийной или одиночной продукции, создания пресс-форм, не является экономически эффективным решением. 3D печать, с другой стороны, дает много преимуществ, что позволяют литейным предприятиям изготавливать отдельные детали или даже мелкие серии деталей в значительно более короткие сроки.

Необходимость повышения гибкости и ускорения процесса проектирования и производства новых продуктов привела к развитию быстрых технологий, включая технологии аддитивного производства (АП) (также известные как быстрое прототипирование, быстрое производство, быстрая оснастка, аддитивное изготовление, аддитивное производство слоев, производство слоев и технологии изготовления свободной формы). Первоначально технологии АП были известны как технологии быстрого прототипирования, поскольку они использовались для визуализации и проверки дизайна; однако быстрая эволюция этих технологий позволила быстро производить детали конечного использования и быстро развивать инструментальную оснастку.

Аддитивное производство - это технология, быстро распространяющаяся на ряд отраслей промышленности. Он обеспечивает свободу проектирования и экологические/экологические преимущества. Он преобразует по существу файлы дизайна в полностью функциональные продукты.

Однако этому по-прежнему препятствуют низкая производительность, низкое качество и неопределенность механических свойств конечных деталей. Основная причина нежелательных эффектов кроется в контролируемых аспектах процесса. Оптимизация затруднена из-за ограниченных подходов к моделированию. Физические явления, связанные с процессами аддитивного производства, сложны, включая плавление/затвердевание и испарение, тепло- и массообмен и т. д.

1 О технологии Fused Deposition Modeling

Моделирование с плавным осаждением (FDM) — это процесс аддитивного производства (АП), в котором физический объект создается непосредственно из модели автоматизированного проектирования (САД) с использованием послойного осаждения исходного пластикового нитевидного материала, экструдированного через сопло. Благодаря своей безопасной и эффективной эксплуатации, долговечности, низкой стоимости и способности обрабатывать инженерные термопласты производственного класса, он стал одним из наиболее широко используемых АП-процессов в промышленности для функциональных прототипов и малообъемного производства. Используя систему FDM, инженеры могут легко преобразовать свои концептуальные модели или дизайн деталей любой сложности в точные физические модели в обычной офисной среде.

Процесс FDM был изобретен и запатентован Скоттом Крапом в 1988 году. Он основал компанию Stratasys в 1989 году в Миннесоте. Stratasys продала свою первую машину FDM, 3D Modeler, в 1992 году. За эти годы компания Stratasys несколько раз занимала позицию лидера рынка устройств аддитивного производства в мире.

После недавнего истечения срока действия оригинальных патентов Stratasys FDM на рынке появилось несколько недорогих портативных версий 3D-принтеров, подобных FDM, что добавило ему популярности и более широкого использования на любительском и потребительском рынке. Поскольку моделирование плавного осаждения и FDM являются торговыми названиями, используемыми Stratasys, производители других подобных систем используют различные названия, такие как моделирование расплавленной экструзии, изготовление плавных нитей и т. д. Помимо проектирования и применения функциональных прототипов, процесс FDM получил значительное внимание в секторе исследований и разработок в нескольких областях, включая улучшение качества деталей, совершенствование технологических процессов, разработку новых материалов и применение в биомедицинской инженерии, тканевой инженерии и инструментальной технике. В этой главе дается обзор процесса, возможностей и материалов Stratasys FDM, а также представлен подробный обзор научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных за последние годы с использованием технологии FDM.

1.1 Процесс FDM

В общем случае существует четыре этапа изготовления деталей по технологии FDM:

1. САПР-моделирование;
2. Предварительная обработка на программном обеспечении FDM;
3. Сборка деталей на машине FDM;
4. Удаление опоры на изготовленных частях.

Во-первых, твердотельная модель САПР должна быть создана в любой САПР-системе и преобразована в формат стереолитографии (STL), который является граненым приближением модели. Затем STL-файл модели предварительно обрабатывается с помощью программного обеспечения FDM. Эта предварительная обработка состоит из нескольких важных этапов, включая определение ориентации детали на объеме сборки, нарезку на тонкие горизонтальные слои, выбор различных параметров и генерацию опор. Ориентация модели STL подходящей детали важна для минимизации или устранения опор и улучшения отделки поверхности. В зависимости от типа используемой машины FDM параметры процесса могут включать ширину раstra, стиль сборки, угол раstra, воздушный зазор, размер наконечника сопла, температуру модели и т. д. Для каждого срезанного слоя программа предварительной обработки генерирует "пути инструмента" или инструкции по сборке для головки сжижителя для создания каждого слоя. Предварительно обработанный файл модели и опор, называемый файлом Stratasys machine language (SML) или SMB-файлом в некоторых машинах FDM, затем передается FDM-машине для сборки деталей.

В FDM-машине исходная нить из термопластичного материала вытягивается из катушки в головку сжижителя приводными колесами, в которой она нагревается до полужидкого состояния и затем экструдирована в виде ультратонких шариков через отверстие наконечника сопла, установленного в нижней части головки. Исходная нить опорного материала вытягивается из другой катушки в головку сжижителя для осаждения опорного материала через другой наконечник сопла, когда это необходимо. На рис. 1 показана схема основного процесса FDM, а на рис. 2 - схема головки сжижителя с модельным потоком материала. Головка движется под управлением компьютера и наносит материал тонкими слоями на неподвижное основание. Деталь создается слой за слоем, и материал затвердевает сразу же после осаждения с наконечника сопла и приклеивается к предыдущему слою. Камера сборки может быть установлена на температуру ниже температуры плавления экструзионного пластика, чтобы помочь процессу строительства. Затем готовая деталь готова к удалению из машины. Опорные конструкции впоследствии удаляются путем отрыва их от детали или погружения всей модели в раствор. Точность и аккуратность детали зависят от параметров процесса, и некоторые высококачественные машины FDM обеспечивают чрезвычайно высокую точность и аккуратность. Согласно Stratasys, точность и аккуратность процесса FDM также являются результатом координации скоростей подачи материала и движения головки сжижителя.

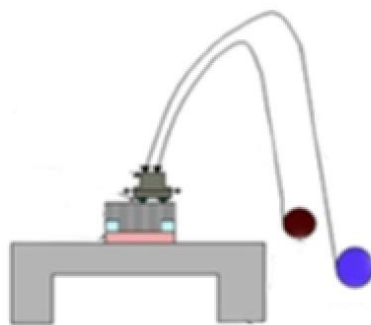


Рисунок 1 – Схематическая иллюстрация процесса FDM

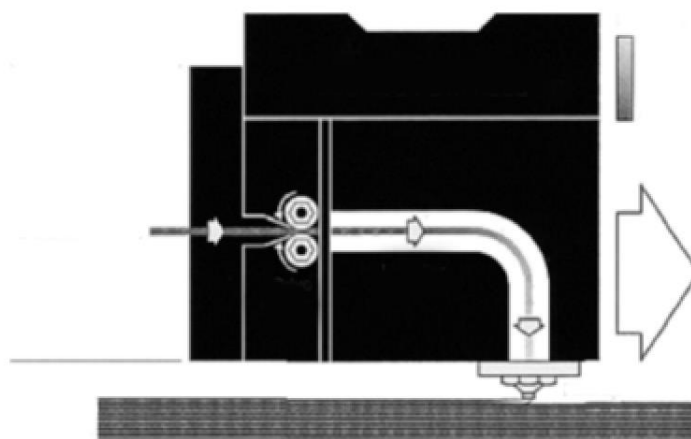


Рисунок 2 – Головка ожижителя FDM

1.2 Параметры процесса FDM

Поскольку FDM — это процесс экструзионного типа, высококачественные машины FDM предлагают ряд технологических параметров, которые позволяют пользователю контролировать форму, размер и внутреннюю структуру изготавливаемой детали. Это позволяет пользователю изготавливать детали от полностью твердых до сотовых структур с различной прочностью деталей, качеством поверхности, точностью и механическими свойствами. Они также влияют на время сборки.

Основные параметры включают высоту среза (толщину слоя), диаметр наконечника модели, температуру сборки модели, стиль заливки детали, стиль интерьера детали, ширину растра, угол растра и воздушный зазор растра. Пользователь должен выбрать эти параметры при предварительной обработке STL-файла в программном обеспечении FDM. Некоторые из этих параметров определены ниже.

1.2.1 Высота среза

Высота среза — это толщина слоя, при которой модель STL нарезается для сборки деталей. Толщина слоя относится к расстоянию, пройденному в направлении z между последовательными слоями, и оказывает прямое

влияние на время сборки и качество поверхности наклонных поверхностей. Значение выбранной высоты среза зависит от типа машины FDM, размера наконечника модели и типа используемого материала. Типовой размер наконечника, используемый на машине FDM, допускает заданное значение толщины слоя. Например, в машине FDM Vantage минимальная толщина слоя 0,1778 мм может быть использована для типоразмера наконечника модели T10. Более толстые слои требуют меньшего времени сборки, но с низким качеством отделки поверхности.

1.2.2 Размер наконечника модели

Размер модельного наконечника — это диаметр экструзионного сопла модельного материала. Наконечник заворачивается в нижней части головки ожигителя. Каждый размер наконечника позволяет использовать диапазон толщины слоя и ширины дорожки. Например, машина FDM Vantage S допускает четыре размера наконечника (T10, T12, T16 и T20) для материала ABS с высотой среза от 0,1270 до 0,3302 мм.

1.2.3 Температура сборки модели

Температура сборки модели относится к температуре нагревательного элемента для модельного материала в головке ожигителя. Он контролирует вязкость расплавленного материала, который выдавливается из наконечника.

1.2.4 Ширина растра

Ширина растра или ширина дорожки — это ширина борта, нанесенного с кончика модели на слой. Ширина растра изменяется в зависимости от размера наконечника, выбранного в машине FDM. Например, он варьируется от 0,3048 до 0,7298 мм для размера наконечника T12 для материала ABS на машине Vantage S.

1.2.5 Растровый угол

Угол растра — это угол траектории растрового инструмента, нанесенный относительно оси x таблицы построения. Типичные допустимые растровые углы составляют 0-90° или от 0° до 90° с шагом 15°. Например, выбор 45 градусов создаст траекторию растрового инструмента, наклоненную под углом 45° к оси x в первом нижнем слое, а затем в каждом последующем слое вверх направление траектории инструмента будет чередоваться. На рис. 3 показан пример некоторых технологических параметров FDM в наплавленном слое круглого сечения.

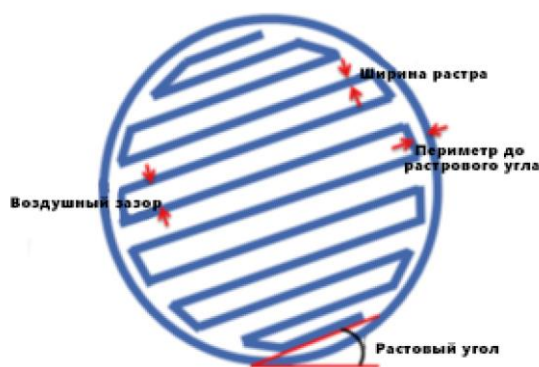


Рисунок 3 – Параметры процесса FDM в слое, созданном осажденными дорогами

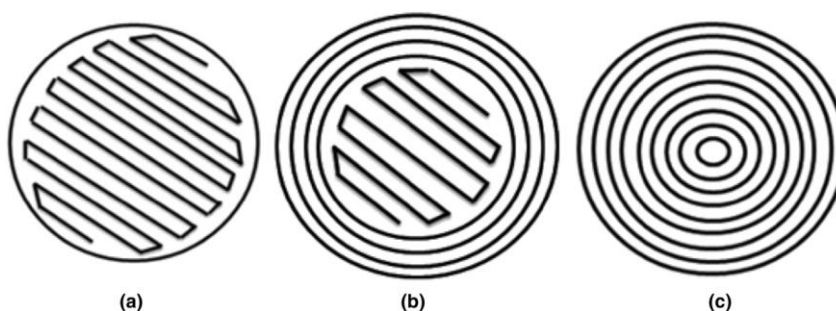


Рисунок 4 – Стили заливки деталей: (а) растры, (б) контуры/растр и (в) контуры

1.2.6 Воздушный зазор

Для траекторий инструмента в слое можно задать три типа воздушных зазоров. Воздушный зазор между растром и растром — это зазор между соседними путями растровых инструментов для твердотельно-нормального стиля внутренней части. Воздушный зазор разреженной заливки детали используется для указания зазора между соседними путями растровых инструментов при использовании внутреннего стиля разреженной заливки детали. Воздушный зазор между периметром и растром — это зазор между самым внутренним контуром и краем растровой заливки внутри контура.

1.2.7 Стилль заливки деталей

Стилль заливки детали определяет шаблон заливки или траекторию инструмента шарика, нанесенного соплом в каждом слое для построения твердотельной модели. Во-первых, периметр или граница создается как замкнутый контур с начальной и конечной точками. Затем внутренняя часть слоя заполняется дорогами выбранной ширины и толщины одним из трех способов: растр, контур или контур/растр. Наиболее часто используется стилль заливки – растр. Как показано на рис. 4, стилль растровой заливки состоит из растрового движения наконечника вперед и назад внутри определенных

областей периметра для заполнения всей области, стиль контурной заливки состоит из нескольких замкнутых контурных движений наконечника внутри определенной области периметра до тех пор, пока выбранная область не будет полностью заполнена, контур/растровый шаблон представляет собой комбинацию первых двух подходов, так что заполнение области происходит серией контурных движений с последующим растровым заполнением остальной внутренней области. Траектория инструмента растровая заливка назад и вперед наклонена к оси x на заданный угол, называемый углом растра. Слои заполняются различными направлениями растра.

1.2.8 Стиль внутренней части

Внутренний стиль детали определяет, должен ли каждый слой заполняться без воздушного зазора или заданного воздушного зазора между путями растрового инструмента. Это позволяет внутренней части детали быть цельной или сотовой. Обычно используются три типа внутренних стилей: сплошной нормальный, разреженный и разреженный-двойной плотный. В твердом нормальном типе нет воздушного зазора между траекториями инструмента. Слой полностью заполнен, и деталь твердая, без пустот.

Каждый слой в твердотельно-нормальном типе будет таким же, но с чередующимся однонаправленным растровым рисунком, как показано на рис. 5. В разреженном типе существует определенный воздушный зазор между траекториями инструмента. Каждый слой в разреженном типе будет одинаковым, но с чередующимся однонаправленным растровым рисунком, как показано на рис. 6. Разреженный тип минимизирует количество используемого строительного материала.

Разреженный-двойной плотный тип очень похож на разреженный тип, за исключением того, что он использует перекрестный растровый шаблон (вместо однонаправленного) в каждом слое, как показано на рис. 7. Это обеспечивает дополнительную прочность внутренней конструкции, но при этом используется меньше модельного материала по сравнению с твердотельно-нормальным типом. Как в разреженном типе, так и в разреженно-двойном плотном типе система также позволяет строить небольшое заданное количество твердых нормальных слоев выше и ниже слоев, содержащих разреженную заливку. Это обеспечивает внешне выглядящую твердую деталь, сохраняя при этом экономию используемого модельного материала.

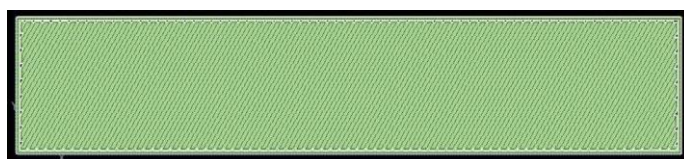


Рисунок 5 – Сплошной-нормальный тип детали внутреннего стиля

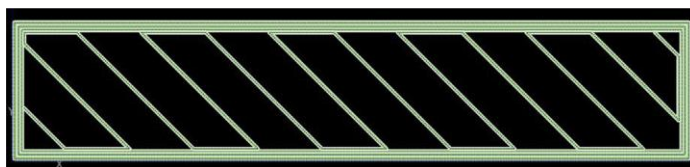


Рисунок 6 – Стиль внутренней части детали разреженного типа

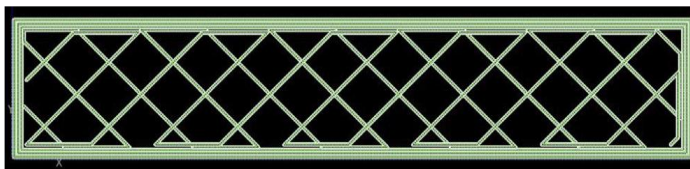


Рисунок 7 – Разреженный-двойной плотный тип детали внутреннего стиля

1.3 Преимущества и ограничения

Процесс FDM предлагает несколько преимуществ:

1. Простота, безопасность и простота использования: машины FDM безопасны, надежны, просты в использовании и удобны для офиса. Там нет токсичных материалов, обработки порошка, интенсивного нагрева или лазера. Это стало одной из главных причин широкого внедрения систем FDM. Детали можно обрабатывать практически сразу после изготовления. За исключением удаления поддержки, почти никакой постобработки не требуется. Затраты на техническое обслуживание очень низкие. Машины могут работать без присмотра часами.
2. Отсутствие потерь материала: будучи процессом, основанным на экструзии, для создания детали и создания опор используется только необходимое количество нитевидного материала. Программное обеспечение FDM также обеспечивает оценку требуемого материала модели и времени сборки до начала фактического процесса.
3. Разнообразие стилей сборки: программное обеспечение процесса FDM позволяет использовать широкие возможности стилей сборки траектории инструмента, используемых в каждом слое, изменяя соответствующие переменные процесса, такие как ширина раstra, шаблон заливки, угол раstra и воздушные зазоры. Это позволяет пользователям создавать внутренне заполненные твердые детали или пористые детали различной внутренней архитектуры.
4. Разнообразие инженерных полимеров: системы Stratasys FDM предлагают широкий спектр инженерных материалов с высокой прочностью и хорошими механическими свойствами. ABS и PC являются распространенными инженерными материалами. Следовательно, детали, изготовленные из этих материалов, хороши для функционального тестирования. Твердые детали, изготовленные из этих материалов на машинах FDM, очень подходят для предполагаемого промышленного применения.
5. Потенциал для новых материалов: простота процесса FDM дает возможность вводить новые материалы, как полимеры, так и композиты,

для этого процесса до тех пор, пока материал может быть изготовлен в виде исходной нити накала с требуемыми технологическими свойствами. Это открыло совершенно новую область исследований в области разработки новых материалов для процесса FDM.

6. Простота замены материала: машины FDM используют исходные нити в катушках или картриджах. Поэтому требуется минимальное усилие для замены материала на машине FDM.
7. Легкость удаления опоры: как правило, опоры легко отрываются вручную от моделей. Stratasys также обеспечивает водорастворимую опорную систему или отрывную опорную систему, которая позволяет легко удалять ее вручную или легко удалять в водном растворе.

FDM также имеет некоторые ограничения:

1. Поверхностная отделка и точность: По мере того, как материал нити выдавливается через круглое отверстие модельного наконечника, осажденные шарики имеют круглое сечение. Это ограничивает точность деталей. Кроме того, из-за послойного процесса осаждения эффект лестницы на наклонных или криволинейных поверхностях обычно вызывает зернистую отделку поверхности. Однако большинство систем FDM обеспечивают хорошую, приемлемую точность и чистоту поверхности для большинства применений инженерного проектирования.
2. Скорость сборки: как правило, скорость сборки медленная, потому что один наконечник модели обычно используется для нанесения материала для заполнения каждого слоя детали в стиле растрового/контурного движения. Высокая вязкость модельного материала ограничивает скорость потока материала через наконечник модели и, следовательно, ограничивает скорость сборки.
3. Исходные нити: Материал FDM должен быть изготовлен в виде нити требуемого диаметра (примерно 1,7 мм) и требуемых механических и реологических свойств. Любой новый материал, который будет введен, также должен соответствовать этим требованиям.
4. Анизотропные свойства: поскольку детали строятся путем осаждения экструдированных слоев, механические свойства деталей не одинаковы во всех направлениях. Ориентация детали на сборочном столе также влияет на механическую прочность детали в различных направлениях сборки.

1.4 Материалы FDM

Процесс FDM поддерживает широкий спектр модельных материалов. Современные машины Stratasys позволяют использовать ABSplus, ABSi, PC, PC/ABS, PPSF и ULTEM. Некоторые старые машины Stratasys допускали использование нейлона, воска для литья по выплавляемым моделям и эластомера. Все эти материалы используются потому, что их температура

плавления находится в диапазоне температур, в котором головка ожигителя FDM позволяет нагревать свою нить. Пользователи часто заявляют, что свойства материала являются наиболее важным фактором для процесса FDM. Поэтому очень важны свойства материала, соответствующие предполагаемому применению пользователей. Разнообразие высокопрочных инженерных материалов является одной из самых сильных сторон FDM.

Все машины Stratasys FDM допускают некоторую форму термопластов ABS. Стандартный ABS-пластик отличается высокой прочностью и коррозионной стойкостью по отношению к своей стоимости. После того, как деталь изготовлена с использованием этого материала, ее можно шлифовать, сверлить или иным образом манипулировать, чтобы улучшить ее отделку и посадку без ущерба для ее прочности. Его устойчивость к агрессивным химическим веществам и теплу также позволяет использовать его в условиях, когда многие другие материалы могут выйти из строя. ABS-пластик имеет дополнительный бонус в том, что он может выпускаться в различных цветах. Конкретные типы FDM-материалов Stratasys обладают специфическими свойствами, описанными ниже.

ABSplus — это настоящий производственный термопластик и идеальный материал для концептуального моделирования, подгонки и функционального прототипирования, а также конечных деталей. Он обладает более высокой прочностью на растяжение, удар и изгиб, чем стандартный ABS. Он доступен в самых разных цветах.

ABSi — это полупрозрачный материал, идеально подходящий для контроля потока материала и светопропускания, наиболее часто используемый в медицине и автомобилестроении. Он также обладает прочностью, превосходящей стандартный ABS, и является идеальным материалом для концептуальных моделей, функционального прототипирования и прямого цифрового производства.

ABS-M30 обладает большей прочностью на растяжение, удар и изгиб, чем стандартный ABS. Склеивание слоев более прочное, чем у стандартного ABS, для более прочной детали. Это подходит для более реалистичных функциональных тестов и более качественных деталей для конечного использования. Кроме того, это идеальный материал для концептуального моделирования, функционального прототипирования, изготовления инструментов и деталей конечного использования.

ABS-M30i — это высокопрочный материал, хорошо подходящий для медицинской, фармацевтической и пищевой промышленности. Он биосовместим (ISO 10993 USP Class VI) и может быть стерилизован гамма-излучением или окисью этилена (EtO). Он очень подходит для применений, требующих высокой прочности и стерилизации.

ABS-ESD7 (ABS-электростатический диссипативный) — это ABS-термопластик со статическими диссипативными свойствами для применений, где статический заряд может повредить изделия и ухудшить их эксплуатационные характеристики. Он идеально подходит для электронных изделий с печатными платами, а также для транспорта и промышленного

оборудования. Наиболее широко используется для создания приспособлений для сборки электронных компонентов, но также полезен для создания функциональных прототипов продуктов хранения и доставки топлива, а также корпусов и упаковок.

PC — это обычный промышленный пластик, широко используемый в автомобильной, аэрокосмической, медицинской и многих других областях применения. PC обеспечивает надежность, долговечность и стабильность, создавая прочные детали, которые выдерживают функциональные испытания. Он также обладает превосходными механическими свойствами по сравнению с ABS и рядом других термопластов. Он подходит для концептуальных моделей, функционального прототипирования, производственных инструментов и деталей конечного использования.

PC-ABS – один из наиболее широко используемых промышленных термопластов. PC-ABS обладает наиболее желательными свойствами обоих материалов. Он обладает превосходной прочностью и термостойкостью PC, и отличным определением характеристик ABS. Он обладает самой высокой ударной прочностью. Смеси PC-ABS широко используются в автомобилестроении, электронике и телекоммуникациях.

PC-ISO — это самый прочный, самый термостойкий биосовместимый материал, доступный с FDM. Он стерилизуется гамма и EtO и соответствует стандартам ISO 10993 и USP класса IV. PC-ISO обычно используется в упаковке пищевых продуктов и лекарств, а также в производстве медицинских изделий из-за прочности материала и медицинской совместимости.

Материал PPSF/PPSU обладает высокой термостойкостью и химической стойкостью. Он идеально подходит для аэрокосмической, автомобильной и медицинской промышленности. Он обладает самой высокой термостойкостью из всех термопластов FDM, хорошей механической прочностью и устойчивостью к нефти и растворителям. Он подходит для применения в едких и высокотемпературных средах. Кроме того, он стерилизуется гамма, EtO и автоклавом.

ULTEM* 9085 (полиэфиримид) — это огнезащитный высокоэффективный термопластик для прямого цифрового производства и быстрого прототипирования. Он идеально подходит для транспортной отрасли благодаря высокому соотношению прочности к весу и классу FST (пламя, дым и токсичность). Существующие сертификаты этого уникального материала делают его отличным выбором для коммерческой транспортной отрасли, особенно для аэрокосмической, морской и наземной техники.

2 Программное обеспечение FDM Insight

FDM-машина использует мощное программное обеспечение Insight для подготовки и обработки STL-файла модели детали для построения на машине FDM. Используя это программное обеспечение, пользователь откроет файл STL, настроит машину, сориентирует модель, сделает срез модели, сгенерирует опоры и пути инструмента для модели и опор, создаст файл пути инструмента (называемый SMB/SML-файл) и отправит файл пути инструмента на машину для сборки деталей. Файл SMB или SML — это сжатый файл, содержащий все данные, необходимые машине FDM для сборки детали. Он содержит данные о слоях, граничных контурах и контурах инструментов. Создание файла SMB требует детальных шагов нарезки модели, построения опор и вычислительных путей инструментов. На рис. 8 показано окно программы Insight.

Insight обеспечивает несколько уровней вовлечения пользователя – от кнопочного, автоматизированного управления до детальной настройки параметров и траекторий движения инструмента. Опытные пользователи могут использовать расширенные параметры настройки и встроенные стили для точного контроля качества деталей, точности, времени сборки и использования материала, а также генерировать соответствующий SMB-файл. Для более быстрой обработки программное обеспечение Insight предоставляет кнопку "Auto-Build", которая позволяет автоматически обрабатывать нарезку, построение опор и создание траекторий инструмента в последовательности с использованием текущих значений параметров.

Базовая процедура построения модели с использованием программного обеспечения Insight состоит из следующих основных шагов с использованием различных окон и всплывающих меню программного обеспечения Insight:

1. Открытие файла STL: пользователь сначала открывает файл STL модели детали в окнах Insight.
2. Настройка моделирования: пользователь выбирает тип моделирования (машина FDM), материал модели, вспомогательные материалы, размеры экструзионных наконечников модели и опоры, а также высоту среза, который будет использоваться для текущей работы.

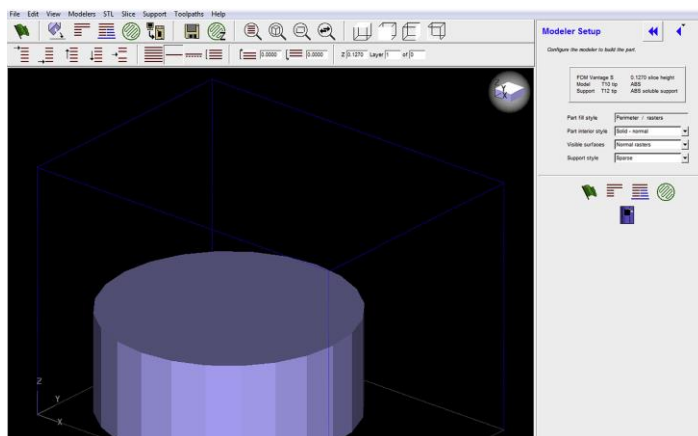


Рисунок 8 – Окно FDM обрабатывающего программного обеспечения Insight.

3. Выбор стили сборки деталей: пользователь выбирает параметры для определения различных аспектов построения задания. Наконечник сопла будет осаждать материал в соответствии с этими стилями сборки. Они варьируются в зависимости от того, какой тип моделирования (машина FDM) используется. Они могут включать в себя следующее:
- a) Выберите стиль заливки детали: выбор периметра/растров используется для большинства деталей, поскольку он создает заливку детали, состоящую из одного внешнего периметра и внутренней растровой заливки. Выбор контуров по глубине заполняет деталь внешним периметром, внутренними контурами и внутренними растровыми заливками;
 - b) Выберите стиль интерьера детали: *solid-normal* полностью заполняет деталь, *sparse* построит деталь с полым сотовым интерьером с твердой внешней стенкой, *sparse-double dense* похож на *sparse*, но использует растровый узор перекрестия для сот (вместо однонаправленного, используемого в *sparse*) для дополнительной прочности;
 - c) Выбор видимых поверхностей: выбор параметра *fine* позволит обнаружить открытые поверхности в файле и использовать более узкие траектории инструментов на этих слоях для улучшения внешнего вида модели;
 - d) Выберите стиль поддержки: разреженный стиль минимизирует количество используемого материала поддержки. Это хорошо работает для всех частей. Большинство опорных конструкций будут окружены опорной периметральной дорожкой. Базовый стиль — это стандартная структура поддержки растрового рисунка. Объемное звучание используется для высоких, тонких деталей, и такие опоры полностью окружают элементы детали. Стиль отрыва использует дискретные коробки и может быть легче удален;
 - e) Выберите режим сборки: режим *draft* подчеркнет скорость сборки детали, а нормальный режим подчеркнет качество сборки детали. Эта опция видна только для моделистов FDM Titan и FDM Vantage с определенными комбинациями модельного материала и высота среза. Нормальный режим может быть выбран для незначительного снижения скорости сборки и улучшения качества деталей.
4. Ориентация модели STL: пользователь проверяет ориентацию и масштаб файла STL перед нарезкой. Правильная ориентация влияет на прочность, время сборки и внешний вид детали. В зависимости от формы, это может также иметь значение между тем, помещается ли деталь в оболочку моделирования или нет. Чтобы сократить время сборки, деталь ориентирована так, чтобы требовались минимальные опоры. Чтобы придать детали наилучший внешний вид, ее ориентируют так, чтобы срезы наслаивались один на другой по вертикальной плоскости.
5. Срез модели STL: операция среза срезает деталь, используя текущее

значение высоты среза (толщины слоя), заданное на панели управления срезом. Значение высоты среза зависит от материала и размера наконечника. Когда операция среза будет завершена, окно сообщения уведомит пользователя о любых проблемах в кривых детали. Особенно важно, чтобы все кривые детали были замкнутыми кривыми. Пользователь может использовать опцию редактирования кривой, чтобы исправить любые открытые кривые, прежде чем приступить к созданию опор.

6. Генерация опор: пользователь генерирует опоры, нажав на значок опор на главной панели инструментов. Поддержка по умолчанию, сгенерированная Insight, приведет к успешной сборке.
7. Генерация траекторий инструментов: пользователь генерирует траектории инструментов, нажав на значок траектории инструментов на главной панели инструментов. Это позволит сгенерировать траектории инструмента как для модели, так и для опор на основе геометрии кривой и заданных параметров.
8. Осмотр траекторий инструмента: настоятельно рекомендуется, чтобы пользователь визуально осмотрел траектории инструмента на каждом слое детали перед отправкой ее моделисту. Любые проблемы (отсутствующие пути инструмента, области детали, которые слишком малы для сборки и т. д.) могут быть найдены и исправлены в это время.
9. Отправка в окно Pack и загрузки: как только пользователь удовлетворен тем, как была обработана деталь, пути инструмента загружаются в окно Pack и загрузки, нажав на значок сборки.
10. Отправка SMB-файл в систему FDM: нажав на кнопку Build Job в окне Pack Центра управления FDM, вы отправите файл SMB на машину FDM для сборки.

3 Шероховатость и пористость поверхности

Среди критических свойств обработанных FDM-изделий – качество их поверхности и точность размеров. На шероховатость поверхности больше всего влияет толщина слоя, а затем ширина растра и ориентация здания детали. Последний параметр значительно влияет на точность размеров, а затем и на толщину слоя. Небольшая толщина слоя, а также небольшая растровая ширина нитей улучшают качество поверхности. Пустота между наплавленными нитями, называемая “воздушным зазором”, являющаяся важнейшим параметром конечной части FDM, оказывает большее влияние на точность размеров, чем шероховатость поверхности.

Существует три типа воздушных зазоров. Положительный воздушный зазор означает наличие пустоты между дорогами; нулевой зазор означает, что между ними нет пустот (они касаются друг друга); отрицательный - что дороги перекрываются. Пористость детали незаменима в случае изделий FDM-режима, благодаря способу изготовления, основанному на дорожном осаждении рядом друг с другом. Использование отрицательных коэффициентов воздушного зазора может снизить пористость, что уменьшает размерные погрешности, но ухудшает качество поверхности конечных деталей. Поэтому для достижения минимальной размерной погрешности и обеспечения хорошего качества поверхности рекомендуется использовать следующую комбинацию: малая толщина слоя, средняя ширина растра, нулевой воздушный зазор и ориентация стержней $0^{\circ}/90^{\circ}$. Кроме того, некоторые эстетические дефекты могут быть устранены методами постобработки, в том числе механическими, такими как фрезерование, ЧПУ, абразивная или вибрационная обработка чаши, или химическими методами путем применения пара или небольшого количества ацетона для растворения шероховатых или пористых деталей с целью достижения наилучшего конечного качества.

Исследовано также влияние растрового угла на эстетические свойства конечных деталей. Установлено, что влияние этого параметра зависит от печатаемого материала. Как правило, углы $+45^{\circ}/-45^{\circ}$ дают наилучшее качество поверхности и точность размеров. Эстетические свойства конечных изделий из FDM в основном зависят от толщины слоя и ориентации печати.

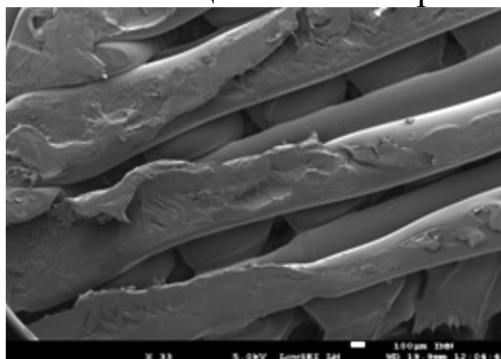


Рисунок 9– Низкая адгезия вдоль стыка между слоями в детали с FDM-печатью

3.1 Механические свойства

При печати функциональных деталей их важнейшими характеристиками являются модуль Юнга, предел прочности при растяжении, предел текучести и пластичность. Эти параметры в разной степени влияют на механические свойства деталей, изготовленных машиной FDM.

Следует отметить, что основным параметром FDM для получения функциональной детали является заполнение детали, определяющее процентное содержание материала. Этот параметр должен быть зафиксирован на высоких значениях, которые связаны с отрицательными значениями параметра воздушного зазора.

Существует широкий спектр исходных материалов FDM, из которых акрилонитрил бутадиен стирол (ABS) и полилактид (PLA) широко изучены благодаря их хорошим механическим свойствам. Ориентация модели и угол раstra являются факторами, которые наиболее существенно влияют на растягивающие свойства изделий, включая модуль Юнга, предел прочности при растяжении и пластичность, а затем толщину слоя и другие параметры FDM. Построение деталей ABS и PLA в плоском направлении является оптимальным направлением для обеспечения наибольшего модуля Юнга, но воздействие угол раstra существенно отличается. Наибольшая предельная прочность достигается при печати под углами 45° и $0^\circ/90^\circ$ для образцов PLA и ABS соответственно. Толщина слоя также является важным входным параметром, влияющим на их растягивающие свойства. Небольшие толщины слоев (менее 1 мм) являются наиболее адекватными для реализации деталей FDM с хорошими механическими характеристиками. Межслойные и межрастровые связи являются одними из самых слабых в процессе FDM. Поэтому ширина раstra должна быть большой, чтобы покрыть всю адгезионную поверхность, чтобы обеспечить высокую степень сцепления в детали.

Исходное сырье FDM не ограничивается материалами ABS и PLA. Существует несколько полимеров, которые также классифицируются как жесткие и прочные FDM-материалы, например, поликарбонат (PC), полипропилен (PP), PEEK, UTEM и полиамид (PA).

Что касается вязкости разрушения, то она наиболее высока при нулевом угле раstra, что может увеличить вязкость разрушения K_c примерно до 2 и 5 МПа* м^{1/2} для ABS и PLA соответственно. Вязкость разрушения также может быть улучшена за счет увеличения степени шероховатости смеси материалов, поскольку зерна, присутствующие в материале, имеют тенденцию сопротивляться росту трещин.

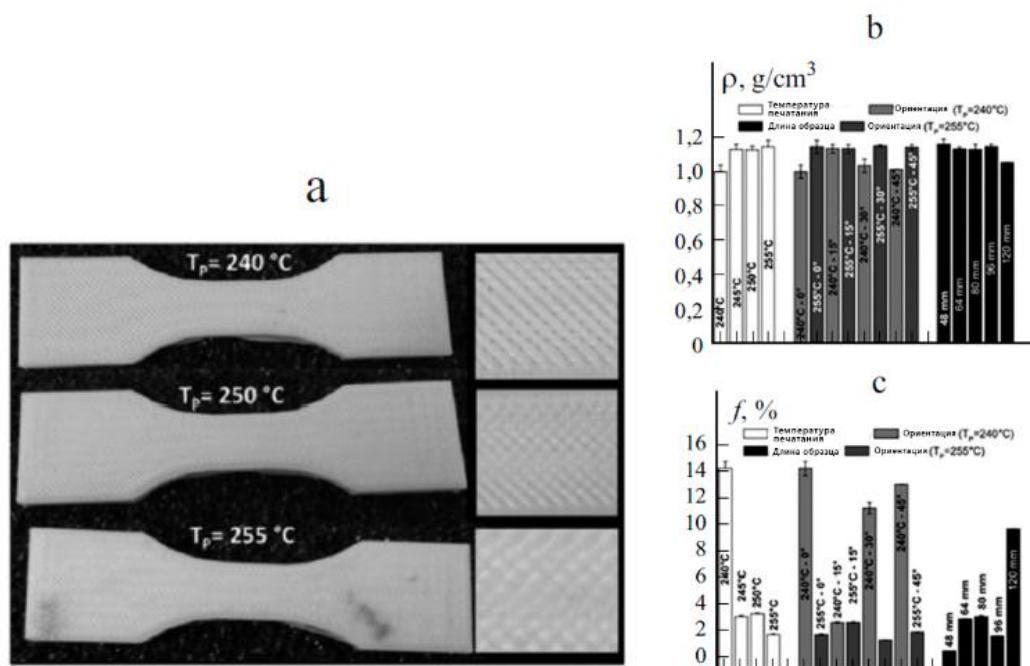


Рисунок 10 – Когезионность нити при различных температурах печати (а) и объемная плотность ρ (б) и пористость f (с) как функции температуры печати

3.2 Влияние температуры печати

Большое внимание было уделено поиску оптимальных параметров траектории движения инструмента и выяснению их влияния на рисунок печати и объект 3D-печати. Но, отношением между этими параметрами печати и температурой печати часто пренебрегают. Одной из основных проблем, связанных с процессом моделирования плавленого осаждения, является поддержание адекватной температуры печати для обеспечения плавной работы печати. Неадекватный температурный диапазон экструзии может привести к повреждению продукта. Низкие температуры могут привести к низкой адгезии слоя (рис. 9), отслаиванию слоев и даже засорению сопла. При высокой температуре печати могут возникать большие температурные градиенты, и попытки поддерживать постоянную высоту слоя могут изменить желаемую геометрию деталей.

Во всех условиях рекомендуется высокая или умеренная температура. Повышенная температура повышает среднюю температуру между слоями, и тратится больше времени выше T_g , что улучшает межслойную сварку. Кроме того, угол и ширина раstra становятся более регулируемыми и обеспечивают высокую адгезию в слоях. Слои сглаживаются, и шероховатость поверхности всей детали уменьшается.

Анизотропия печатных деталей лучше поддается контролю при высоких температурах печати. Пустоты в мезоструктуре с поперечно-сшитым расположением нитей являются основным фактором увеличения пористости f . Низкая температура препятствует адекватному осаждению потока через

сопло и может генерировать разрывные растры и снижать когезию между осажденными нитями. Высокая температура печати снижает пористость печатных деталей за счет минимизации теплопередачи наплавленных растров и максимизации времени охлаждения в процессе печати (рис. 10).

Приближенная формула (1) для пористости f и температуры печати T_p на основе микротомографических измерений:

$$f(\%) = 19.2 - 0.06T_p(^{\circ}\text{C}) \quad (1)$$

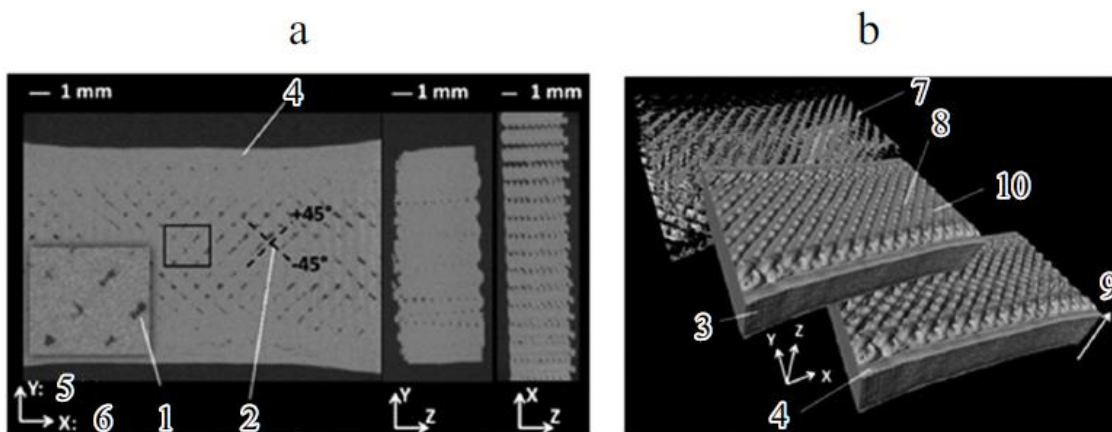


Рисунок 11 – Пористость f 3D-печатного PLA, выявленная методом рентгеновской микротомографии: вид поперечного сечения (а) и расположение сети пористости (б): 1 — пустота, 2 — растр, 3 — слой, 4 — рамка, 5 — ширина, 6 — длина, 7 — сеть пористости, 8 — поверхностная пористость, 9 — направление построения, 10 — филамент РА

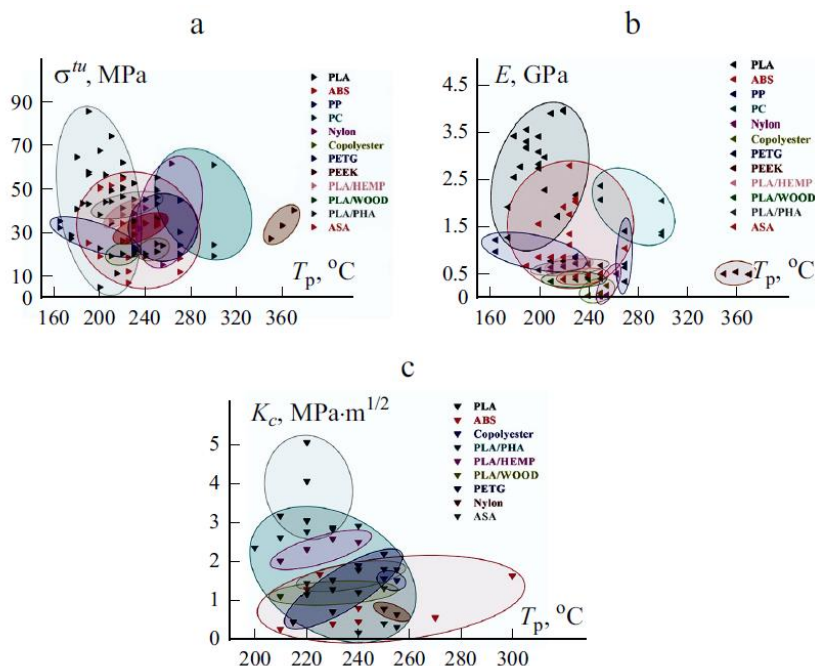


Рисунок 12 – Одноосная прочность на растяжение (Uniaxial tensile strength) (а), модуль Юнга E (б) и вязкость разрушения K_c (в) в зависимости от температуры печати T_p

Эта линейная модель показывает, что поры не распределены произвольно в печатной части — они сосредоточены на пересечении печатных растров (рис. 11).

Температура печати сильно коррелирует с механическими свойствами, причем анизотропия печатного рисунка является основной причиной его механической слабости. Как уже упоминалось, высокая температура печати улучшает межфиламентную сварку и приводит к высокой адгезии между слоями, что повышает модуль упругости и прочность на растяжение. Краткое изложение результатов литературных исследований представлено на рис. 12, где показано, что механические свойства различных полимерных композитов, изготовленных из FDM, зависят от температуры печати.

4 Печать FDM

Если производительность материала определяет верхний предел производительности печатных устройств, то соответствующая настройка параметров процесса является эффективной стратегией достижения верхнего предела производительности. Параметры процесса FDM можно разделить на четыре категории, включая температуру, иерархию, скорость и растр. FDM печатает функциональные устройства с помощью экструзионных сопел шириной около 0,1–1 мм. FDM-подобная техника использует сопла сантиметровой ширины. Система аддитивного производства большой площади, также с сантиметровыми масштабными соплами, может печатать 3D-структуры размером порядка нескольких метров. Несмотря на рекордно высокую скорость экструзии, решение проблемы компромисса между скоростью и разрешением имеет важное значение для ускорения внедрения FDM и индустриализации.

4.1 Усилие для быстрой печати

Начиная с первой коммерческой системы FDM, продаваемой компанией Stratasys, все они являются экструзионными 3D-принтерами с зубчатым приводом. Филамент подается шестернями в камеру, где нить полностью расплавляется, как показано на рис. 13. Приложенная режущая сила между филаментом и шестернями приводит в движение расплавленный полимер, протекающий через сопло. Умножая площадь поперечного сечения сопла и скорость экструзии, он дает скорость экструзии. В настоящее время размер нити FDM стандартный с диаметром 1,75 мм. Согласно закону сохранения массы, скорость экструзии FDM-принтера в основном определяется скоростью подачи зубчатого колеса. Были предприняты усилия по увеличению скорости подачи зубчатого колеса, как показано на рис. 14, с целью улучшения скорости экструзии и дальнейшего увеличения скорости печати FDM. Например, вал двигателя (большой круг) прижимает нить накала к шариковому кольцу (малый круг), загоняя ее вниз через камеру и выталкивая через сопло, как показано на рис. 14(б). На рис. 14(в) показано другое решение для увеличения силы зажима, тем самым улучшая скорость подачи нити накала. Однако, учитывая внутреннее высокое сопротивление тепловому проникновению полимерной нити, более высокая скорость подачи нити приведет к более высокому риску щелчка экструдера, проскальзывания шестерен и засорения сопла.

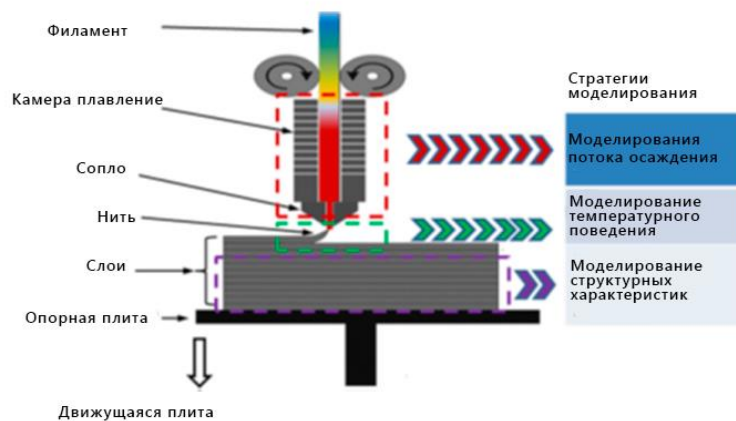


Рисунок 13 – Схема стратегий моделирования процесса FDM

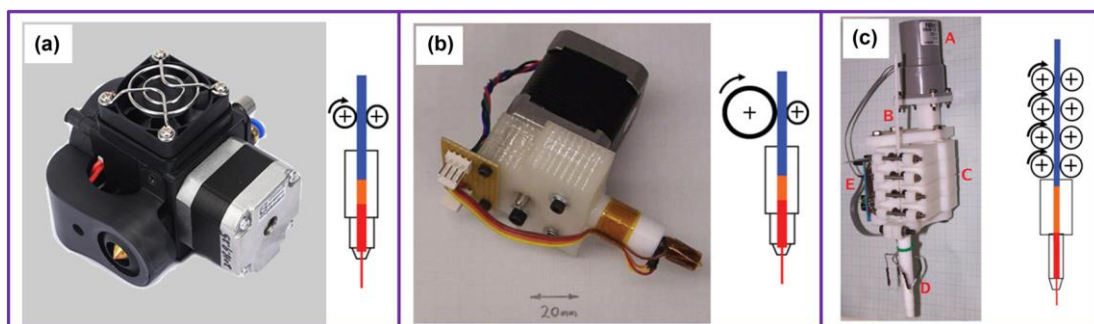


Рисунок 14 – Зубчатые экструзионные сопла для принтеров FDM:

- (а) ведущая шестерня, имеющая тот же диаметр, что и опорный ролик;
- (б) ведущая шестерня, имеющая больший диаметр, чем опорный ролик;
- (в) несколько ведущих шестерен и опорные ролики, но ведущие шестерни имеют тот же диаметр, что и опорные ролики.

4.2 Усилия по улучшению разрешения

В 3D-печати разрешение — это качество или уровень детализации, при котором создается продукт. Более высокое значение разрешения означает больше деталей печати. В общем случае при использовании FDM движение печатающей головки как в плоскости X–Y, так и в плоскости Z определяет, насколько тонким будет разрешение. На самом базовом уровне разрешение X–Y контролируется размером сопла и движением печатающей головки. Но, для разрешения Z тепло является доминирующим фактором в определении результата. Это происходит потому, что из-за теплопередачи небольшая высота слоя будет искажать предыдущие слои. В этой обзорной работе основное внимание уделяется усилиям по улучшению разрешения X–Y. На рис. 15 показаны типичные сопла FDM с различными размерами, а также примеры, показывающие разницу в разрешении между соплами 0,25 и 0,4 мм. Очевидно, что меньшее сопло дает более высокое разрешение печати (то есть более детальные отпечатки). Но, при меньшем размере сопла (например, диаметр 0,2 мм) недостатками процесса печати являются блокирование и

изгиб, и даже проскальзывание проволоки на зажимном колесе. Это происходит потому, что нить экструдирется до очень плотного диаметрального допуска с помощью сопла с зубчатым приводом. Изменение диаметра нити накала может привести к блокировке и/или проскальзыванию проволоки на зажимном колесе.

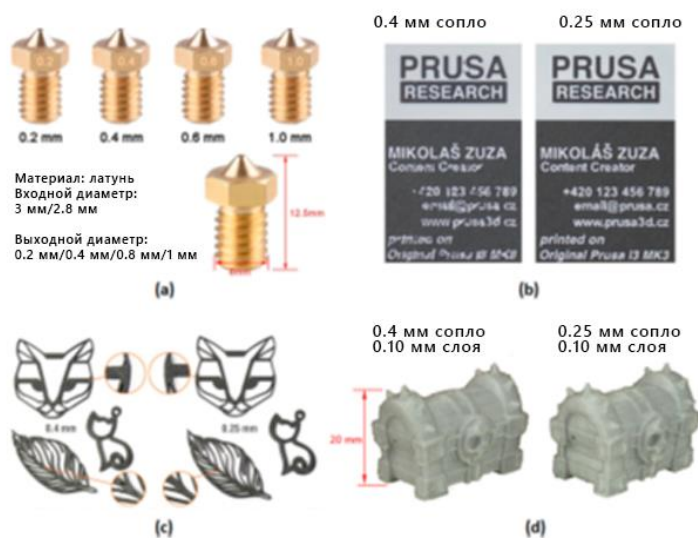


Рисунок 15 – (а) Типичное промышленное сопло FDM с различными размерами; (б) печатные тексты FDM с различными размерами сопла; (в) ювелирные изделия FDM с различными размерами сопла; (г) миниатюры FDM с различными размерами сопла.

Одна из больших проблем, возникающих из-за небольших сопел, — это создание противодействия против выдавливания филамента. Обычные решения этой проблемы заключаются либо в том, чтобы печатать на низкой скорости, либо в том, чтобы избегать использования небольших сопел. При более высокой скорости печати противодействие накапливается за счет геометрии сопел. Таким образом, высокая скорость печати обычно не рекомендуется при использовании сопла с небольшим размером. Были предприняты усилия по преодолению этих проблем. Ученые предложили сменную насадку на основе мини-шнековой экструзии для быстрой печати при использовании сопла 0,4 мм. Разница между коммерческим соплом FDM и винтовым соплом показана на рис. 16. На рис. 16(а) нить приводится в движение штифтовыми колесами и выдавливается через сопло с относительно низкой скоростью, обеспечивая полное расплавление в камере. Как показано на рис. 16(б), мини-шнековый экструзионный сопловой блок FDM состоит из сопла, шнека и цилиндра, а также периферийных устройств. Печатный материал продвигается вперед мини-винтом, но выдавливается через сопло с относительно высокой скоростью. Путем экструзии PCL скорость экструзии была улучшена до 65 см³/ч. После оптимизации конфигурации сечения шнека и геометрии шнека скорость экструзии была значительно улучшена до 167 см³/ч для PEEK. Конфигурация и геометрия винтового соплового блока FDM

проиллюстрированы на рис. 16(в). Однако недостатком винтового соплового агрегата является то, что для обеспечения полного плавления требуется несколько типов нагревателей, окружающих ствол. Следовательно, вес минишнекового экструзионного сопла FDM намного выше, чем сопла на основе нити. Из-за большого веса это приводит к большой инерционной силе в процессе печати, что приводит к затруднению контроля точности печати.

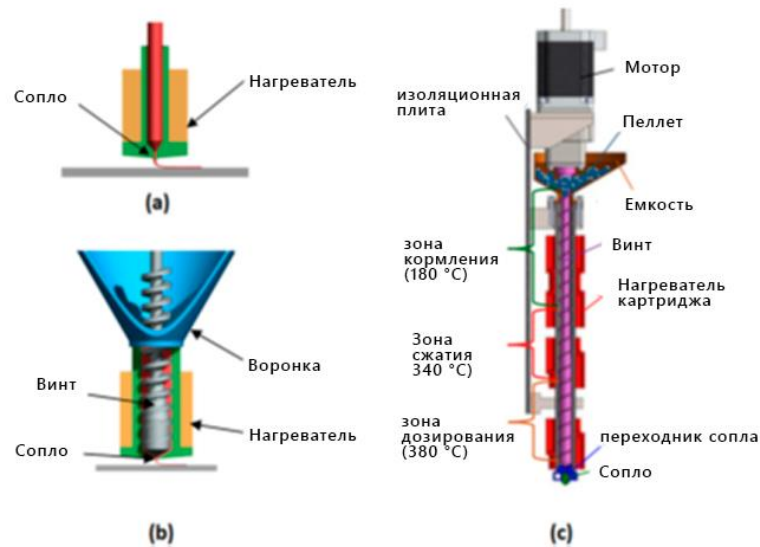


Рисунок 16 – (а) сопло FDM на основе филамента; (б) сопло FDM на основе винта; (в) конфигурация и геометрия блока сопла FDM на основе винта.

Стоит отметить, что набухание штампа существует как при FDM на основе нити, так и при FDM на основе винта. Это происходит, когда неньютоновская жидкость течет в пресс-форме в процессе экструзии. Из-за напряжения сдвига, образующегося вдоль стенки матрицы, полимерные цепи выравниваются с направлением потока. Когда они достигают выхода из сопла, ограничения исчезают, и, таким образом, поскольку конформационная энтропия имеет тенденцию к увеличению, эти цепи вынуждены возвращаться в свое первоначальное и несоосное состояние, что приводит к увеличению объема (т.е. диаметра экструдата). В результате размер экструдата больше, чем размер матрицы. Форма поперечного сечения также изменяется, когда неньютоновская жидкость вынуждена выдавливать выходную матрицу. На сегодняшний день, как сообщалось, наименьший диаметр сопла составлял 0,15 мм. Хотя было заявлено, что FDM-принтер может печатать объект размером 50 микрон или даже выше, очень важно отметить, что заявленное разрешение ограничено по оси Z. Из-за набухания матрицы разрешение или ширина печати по оси X-Y никогда не достигают 0,15 мм или выше.

5 Исследования и разработки в области FDM

За последние два десятилетия были предприняты обширные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с использованием технологии FDM. Эти усилия были направлены на улучшение качества деталей, производимых в процессе FDM, улучшение обработки в рамках FDM, расширение ассортимента материалов для FDM, а также применение этой технологии в различных областях машиностроения. Основываясь на опубликованной литературе в научных журналах, исследования и разработки в области FDM можно разделить на следующие основные категории:

- улучшение качества деталей;
- совершенствование процесса;
- разработка новых материалов;
- свойства материала;
- приложения.

Для того чтобы улучшить качество деталей, производимых методом FDM, многие исследователи направили свои усилия на повышение точности размеров, на улучшение шероховатости поверхности производимых деталей. Также были проведены исследования по разработке новых стратегий нарезки, алгоритмов ориентации сборки и оптимизации стратегий сборки для улучшения качества деталей.

Кроме того, были проведены исследования по улучшению общего процесса FDM путем разработки лучшей генерации поддержки, проектирования и оптимизации процессов, а также понимания характеристик процесса с помощью численного моделирования процесса FDM.

Также, была проведена обширная исследовательская работа по разработке новых материалов в форме нитей для обработки FDM. Для различных новых применений был разработан целый ряд новых материалов, включая металлы, керамику, композиты из металлов и полимеров, а также биоматериалы. Значительная работа была проделана в определении механических и термических свойств деталей, изготовленных методом FDM.

Из-за уникальной обрабатывающей способности процесса FDM были проведены значительные исследования по применению процесса FDM в производстве каркасов для тканевой инженерии, изготовлении моделей биомедицинских устройств, а также в производстве инструментов и штампов для литья под давлением и других процессов литья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе написания диплома все поставленные цели были достигнуты в полном объеме.

Рассмотрены различные параметры печати и их влияние на качество печатных рисунков, а также оценены последние результаты влияния температуры на их шероховатость и пористость в процессе Fused Deposition Modeling. Были изучены важнейшие факторы, которые необходимо учитывать перед сборкой детали, и было установлено, что наиболее значимыми являются те, которые связаны с параметрами траектории инструмента, такими как толщина слоя и ориентация сборки детали. Было обобщено влияние температуры печати на пористость и механическое поведение печатных полимеров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Masood, S. H. Intelligent Rapid Prototyping with Fused Deposition Modelling. Rapid Prototyping J. 1996.
2. Heimenz, J. 3D Printing with FDM – How It Works. White Paper; Stratasys Inc: Eden Prarie, MN, 2011.
3. Stratasys FDM Thermoplastics Material Overview.
URL: www.stratasys.com/materials/fdm.
4. Insight V6 Manual; Stratasys Inc: Eden Prairie, MN, 2007.
5. Everything about nozzles with a different diameter. URL:
https://blog.prusaprinters.org/everything-about-nozzleswith-a-different-diameter_8344/.

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

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

Автор: Сарина Малика Туркменбаевна ,

Название: Бйымдарды дайындау кезінде аддитивті Fused Deposition Modeling технологиясын қолдануды зерттеу

Координатор: PhD д-ф, Арымбеков Бекен Сагатбекович ,

Коэффициент подобия 1: 0.5

Коэффициент подобия 2: 0

Замена букв: 2

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

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

Обоснование:

..... *допускается к защите*

.....
Дата *05.05.2021*

.....
Р.И.Р.
Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

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

Автор: Сарина Малика Туркменбаевна ,

Название: Бўйымдарды дайындау кезінде аддитивті Fused Deposition Modeling технологиясын қолдануды зерттеу

Координатор: PhD д-ф, Арымбеков Бекен Сагатбекович ,

Коэффициент подобия 1:0.5

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:2

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки:0

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

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

Обоснование:

..... *допускается к защите*

.....

.....

.....

.....

.....

Дата 05.05.2021



Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Дата 05.05.2021



Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Метаданные

Название

Буйымдарды дайындау кезінде аддитивті Fused Deposition Modeling технологиясын қолдануды зерттеу

Автор

Сарина Малика Туркменбаевна .

Научный руководитель

PhD д-ф. Арымбеков Бекен Сағатбекович .

Подразделение

ИПАиЦ

Список возможных попыток манипуляций с текстом

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся манипуляций в тексте, с целью изменить результаты проверки. Для того, кто оценивает работу на бумажном носителе или в электронном формате, манипуляции могут быть невидимы (может быть также целенаправленное вписывание ошибок). Следует оценить, являются ли изменения преднамеренными или нет.

Замена букв		2
Интервалы		0
Микропробелы		0
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		3

Объем найденных подобиий

Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



25
Длина фразы для коэффициента подобия 2



6115
Количество слов



47603
Количество символов

Подобия по списку источников

Просмотрите список и проанализируйте, в особенности, те фрагменты, которые превышают КП №2 (выделенные жирным шрифтом). Используйте ссылку «Обозначить фрагмент» и обратите внимание на то, являются ли выделенные фрагменты повторяющимися короткими фразами, разбросанными в документе (совпадающие сходства), многочисленными короткими фразами расположенные рядом друг с другом (парафразирование) или обширными фрагментами без указания источника ("хрипосчитаты").

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	
1	https://www.3dtoday.ru/blogs/ecelt/properties-of-polycarbonate-for-3d-printing-the-results-of-the-tests/	16	0.26 %
2	https://fdm-shop.ru/p385125812-abs-m30-plastik.html	13	0.21 %

из базы данных RefBooks (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из домашней базы данных (0.00 %)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из программы обмена базами данных (0.00 %) ■

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из интернета (0.47 %) ■

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	
1	https://www.3dtoday.ru/blogs/ecelt/properties-of-polycarbonate-for-3d-printing-the-results-of-the-tests/	16 (1)	0.26 %
2	https://fdm-shop.ru/p385125812-abs-m30-plastik.html	13 (1)	0.21 %

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---