Научная статья
Original article
УДК 004.9.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗВУКОВЫХ ВОЛН В ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ В РОССИИ

THE USE OF SOUND WAVES IN 3D PRINTING TECHNOLOGY IN RUSSIA

Пухов Алексей Петрович, Студент Северо-Восточного Федерального Университета имени М.К. Аммосова, кафедры «Электроснабжение», Россия, г. Якутск

Михайлов Артем Афанасьевич, Студент Северо-Восточного Федерального Университета имени М.К. Аммосова, кафедры «Электроснабжение», Россия, г. Якутск

Pukhov Alexey Petrovich, pukhovalexey010104@gmail.com

Mikhailov Artem Afanasievich, pukhovalexey010104@gmail.com

Аннотация. Цель данной статьи рассмотрения перспектив аддитивной технологии с применением звуковых волн в России и рассмотрения самой технологии в целом. 3D-принтер — станок с числовым программным управлением, реализующий только аддитивные операции, то есть только добавляющий порции материала к заготовке. Обычно использует метод послойной печати детали.

Annotation. The purpose of this article is to consider the prospects of additive technology using sound waves in Russia and to consider the technology itself as a whole. A 3D printer is a numerically controlled machine that implements only additive

operations, that is, only adding portions of material to the workpiece. Usually uses the method of layer-by-layer printing of the part.

Keywords: 3Д печать, звуковые волны, 3Д принтер.

Ключевые слова: 3D printing, sound waves, 3D printer.

Введение

К 2020 г. охват мирового рынка 3D-печати (АТ - аддитивных технологий) достиг приблизительно 12 миллиардов долл. По прогнозам GlobalData, к 2025 г. глобальный рынок АТ составит 32 миллиардов долларов, а к 2030 г. - 60 миллиардов долл. Россия располагается на 11 месте в мире по производству и введению технологий 3D-печати. доля российского рынка в данной сфере составляет только 2%, но при этом российский рынок аддитивных технологий за последние 8 лет вырос в 10 раз.

Аддитивные технологии – АТ (3D-печать), как одно из направлений цифрового производства, являются мощным инструментом для ускорения НИОКР и вывода свежей продукции на рынок. Аддитивные технологии - процесс соединения материала с целью создания предмета из данных 3D-модели, в частности, с помощью 3D-принтера. Данные технологии позволяют быстро проектировать и воспроизводить предметы с высочайшей трудозатратностью создания в условиях обыкновенного традиционного производства (от мелких деталей, например, в аэрокосмической сферы и медицине, до больших промышленных конструкций).

Россия, которая в настоящее время находится на IV технологической стадии (по сути, в эпоху нефтяного и машинного производства), стремится достичь VI, на котором Европа и США уже находятся. Однако выход из положения невозможен без внедрения АТ, для чего государство в последние годы создало условия во всех отраслях промышленности.

Аддитивное производство - это технология, которая создает объект на основе готовой цифровой модели. 3D-печать - это принцип создания модели послойного материала постепенно повторяющегося контура изделия. По сути, 3D-печать

полностью противоположна обычным методам изготовления и обработки, таким как фрезерование и токарная обработка, где обработка осуществляется путем удаления лишней части заготовки.

С использованием ультразвуковых волн в технологиях 3D-печати можно печатать сложные геометрические формы с нулевой или переменной пористостью и размером элементов 280 мкм с помощью метода Direct Sound Printing (DSP) в термореактивном полимере термического отверждения (диметилсилоксан), который до сих пор не может быть напечатан непосредственно каким-либо способом.

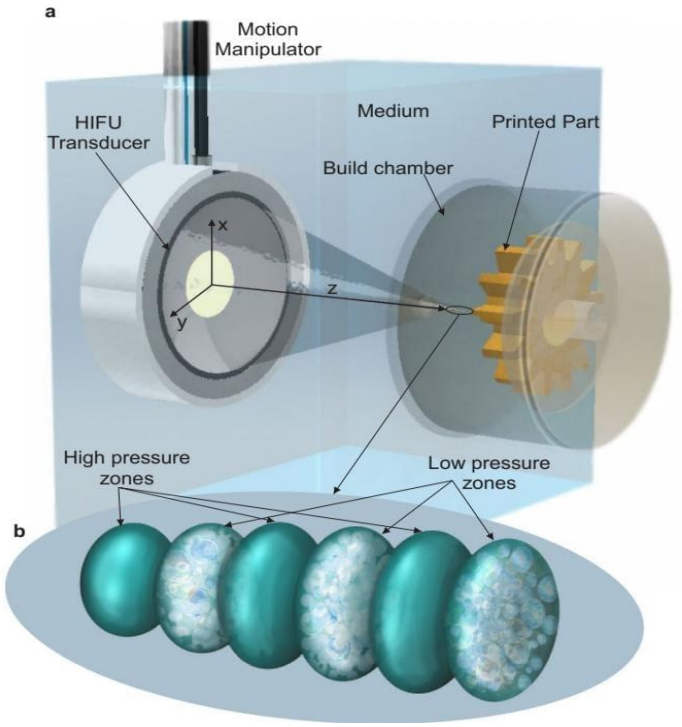
Концепция применения ультразвуковых волн

Фото- и термоактивированные реакции являются доминирующими в процессах аддитивного производства (АМ) для полимеризации или плавления и осаждения полимеров. Однако сонохимические реакции, активируемые ультразвуком, представляют собой уникальный способ создания горячих точек в кавитационных пузырьках с необычайно высокой температурой и давлением наряду с высокими скоростями нагрева и охлаждения, которые недоступны для современных технологий АМ. Здесь демонстрируется 3D-печать структур с использованием акустической кавитации, создаваемой непосредственно сфокусированным ультразвуком, который создает сонохимические реакции в высоколокализованных областях кавитации.

Несмотря на недавние значительные достижения в области технологий аддитивного производства (АМ), печатных материалов для технологических процессов, свет и тепло по-прежнему являются единственными источниками энергии, используемыми в АМ для инициирования химических реакций или физических реакций трансформации полимеров. Поэтому материалы, используемые в процессах АМ, ограничены светочувствительными смолами, такими как стереолитография (SLA) или прямое лазерное изображение (DLW), и термопластичными волокнами или порошками, аналогичными осаждению моделирование (FDM) или селективное лазерное спекание (SLS). Параметры, регулирующие химические взаимодействия, определяются количеством энергии

на молекулу, временем взаимодействия и давлением. Существующие источники энергии am, свет и тепло, не используют весь потенциал химии с точки зрения управляющих параметров, в то время как сонохимия доводит эти параметры до предела. Чрезвычайно высокая температура (более 15 000 К), высокое давление (более 1000 бар) и высокая скорость нагрева и охлаждения (более 1012 К/с) 18 внутренние активные кавитационные пузырьки, называемые горячими точками, окруженные объемной жидкостью при комнатной температуре, являются причиной сонохимических реакций.

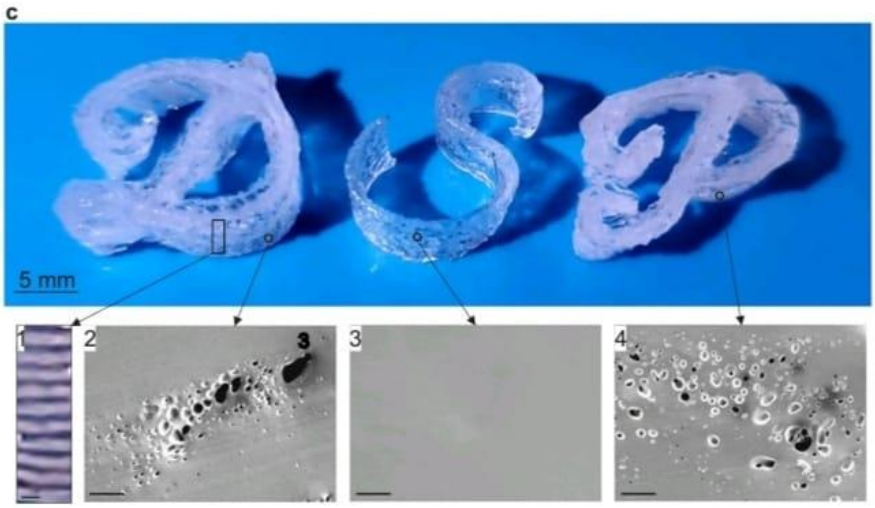
Если бы было возможно раскрыть потенциал сонохимии в процессах АМ, это также стало бы нетрадиционным способом обычной печати, поскольку печать с использованием обычных источников энергии невозможна. Примерами таких материалов являются термореактивные и термоотверждаемые полимеры. Термореактивные материалы могут отверждаться как оптически, так и термически. Аддитивное производство оптически отвержденных термореактивных материалов возможно методами АМ на основе света. Однако эффективное отверждение термореактивных полимеров по требованию до сих пор не реализовано из-за трудностей области применения очень низкая скорость нагрева и охлаждения небольших локальных областей. Сонохимия может стать решением для печати таких материалов благодаря своей высокой локализованной температуре при быстрых затратах на нагрев и охлаждение. Полимеризация с акустическим сопровождением широко изучена. Однако эти исследования проводились с использованием ультразвуковой ванны или рупора, которые не имеют сильно сфокусированной зоны реакции (аналогично SLA или DLW с лазерным лучом) и высокой скорости полимеризации, необходимой для 3D-печати.



Здесь, как показано на рисунке. 1a, печатается 3D объекты внутри сборочной камеры, заполненной строительным материалом (крахмал, смешанный с мономером, или различные смеси), выявляя их в сфокусированном ультразвуковом поле. Этот метод называется прямым звуком Печать (DSP). Генерируемое им ультразвуковое поле достигает здания с монолитным сферически сфокусированным материалом преобразователя после прохождения через оболочку монтажной камеры. В фокусе находится строительный материал, как показано на рис. 1a и подробно на рисунке. 1b, область химически активной акустической кавитации он затвердевает с помощью жидкой смолы или смеси и наносится на платформу или поверх ранее нанесенных и затвердевших участков.

Эта область называется ультраактивным микрореактором (UAMR), где образовавшиеся пузырьки и полимеризованная смола появляются в зонах низкого давления, а затем немедленно мигрируют в зоны высокого давления, пока не достигнут платформы или предыдущего затвердевшего пикселя, где они осаждаются. Датчик перемещается с помощью манипулятора перемещения среды для определения местоположения области фокусировки, рассчитанной вдоль траектории сборочной камеры, для создания желаемого часть пикселя. Входные параметры процесса DSP влияют на микроструктуру печатных деталей. Этими

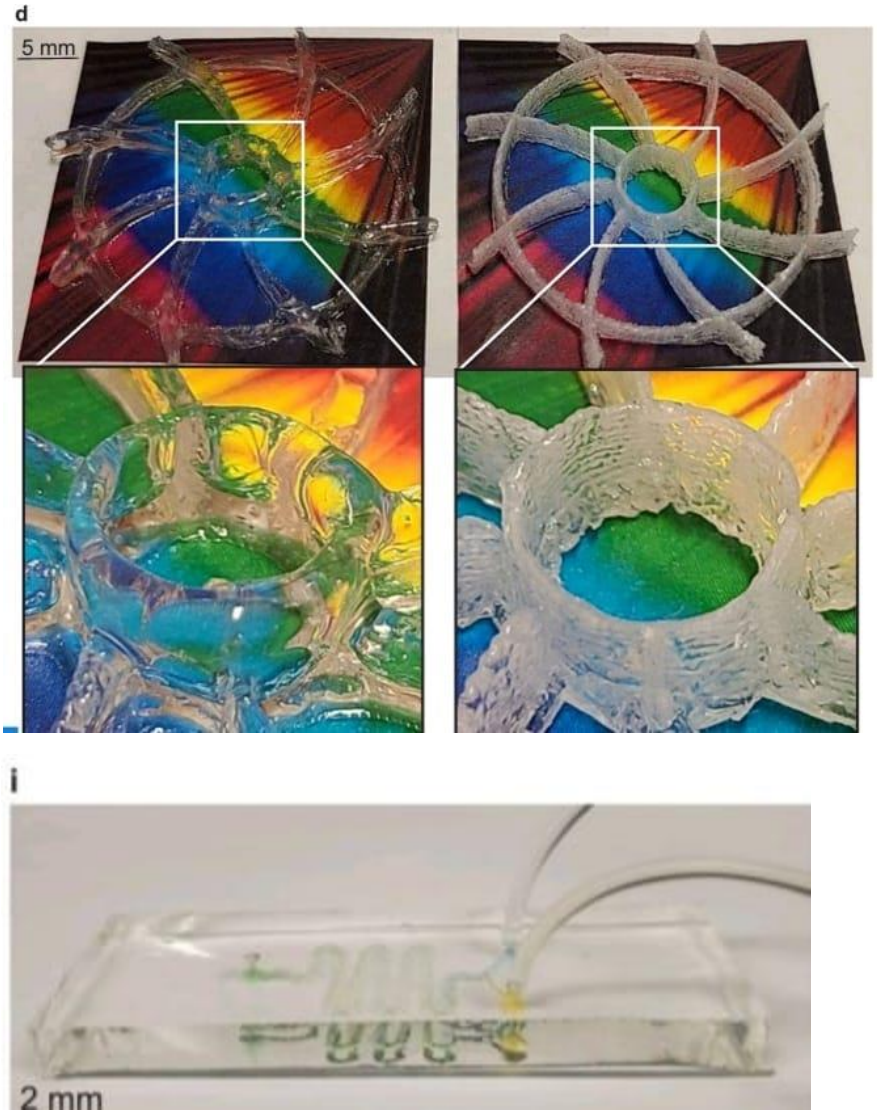
параметрами являются характеристики управляющего импульса преобразователя (например, электрическая мощность, частота и рабочий цикл, который является активной частью периода управляющего импульса), строительные материалы (например, соотношение мономера и отвердителя при смешивании, соотношение смеси, вязкость и поверхностное натяжение) и перемещение датчика (например, скорость и ускорение датчика). Различные микроструктуры приводят к оптически прозрачным или непрозрачным частям в DSP. В результате непрозрачность обусловлена пористой структурой печатной детали, которой можно управлять и манипулировать с помощью входных параметров DSP.



Как показано на рисунке. 1c, буквы "DSP" напечатаны при различных соотношениях смешивания базового полидиметилсилоксана (PDMS) один крахмал. Соотношение смешивания 10:1 (крахмал на полимерной основе) дает слоистую пористую/прозрачную структуру букв "D" и "P", как показано на рис. 1c-1, 1c-2 и 1c-4. Однако соотношение 13:1 дает прозрачную структуру, как показано на рисунке. 1c-3. Таким образом, DPS способен печатать детали от оптически прозрачных до непрозрачных (пористых) деталей. Хотя прозрачная ПДМС желательна во многих областях применения, пористая ПДМС (губка) имеет широкий диапазон область применения варьируется от гибких направляющих до тканевых технологий.

На рисунке 1D также показаны две напечатанные детали с одинаковой геометрией крыльчатки, одна прозрачная, а другая пористая/непрозрачная. Мы добавили краситель (коммерческую масляную краску) для создания цветных

деталей, как показано на рисунке. 1e-h. на рисунке 1I показан формованный микрофлюидный канал PDMS с использованием основной формы silanized PDMS, напечатанной DSP.



Первоначальная идея DSP возникла во время наших экспериментов с сонохемилюминесценцией (SCL) на щелочном водном растворе люминола (3-аминофталгидразида) под сфокусированным воздействием ультразвука для определения пространственного распределения активных химических областей. Гидроксильные радикалы и образующаяся перекись водорода сонохимически реагируют с люминолом, испуская синий цвет свет. При определенных экспериментальных условиях в фокальной области наблюдался локализованный

свет. Если бы мы могли использовать эту реакционную способность из локализованной области печатного полимера, мы могли бы стимулировать его полимеризацию в этой области, следовательно, затвердевает материал. Пятно лазерного луча SLA вдохновило нас на поиск возможности печати с использованием акустических волн. В фотохимии (как и в SLA) за короткое время вводится очень большое количество энергии в виде электрического возбуждения. Однако в сонохимии (как и в DSP) эта энергия представляет собой тепловую энергию с очень высокими скоростями нагрева и охлаждения кавитационного пузырька, чтобы он не переходил в окружающую жидкость. Эта короткоживущая тепловая энергия может привести к полимеризации термостойких полимеров в DSP.

Характеристики материала образцов PDMS с нормальным отверждением сравниваются с напечатанными стенками при комнатной температуре с использованием метода DSP для различных соотношений смешивания PDMS с использованием спектроскопии комбинационного рассеяния света. Спектр комбинационного рассеяния света печатных материалов хорошо согласуется с нормально отвержденными PDMS. Это показывает, что технология DSP позволяет производить тот же материал, что и обычно отверждаемые PDMS.

Система PDMS, используемая в этой статье, - Sylgard 184, которая представляет собой двухкомпонентная система. Эластомеры и крахмалы они содержат силоксановые фрагменты с виниловыми концами и Si-H соответственно.

Области применения

В этом разделе представлены несколько возможных применений DSP, включая 3D-печать полимеров, металлических и керамических композитов, биопечать в организме, многофункциональную платформу интегрированных плазмонных биосенсоров и микрожидкостные чипы PDMS. Однако DSP - это в первую очередь AM-метод для печати материалов, которые было трудно напечатать с использованием существующих AM-методов. Термореактивные термореактивные материалы являются одним из примеров таких материалов, и

Sylgard-184 (как система PDMS) является одним из наиболее изученных таких термореактивных материалов как в пористой, так и в непористой (прозрачной) форме. Пористый (губчатый) PDMS29 имеет широкий спектр применений, таких как абсорбенты, разделение масла и воды, гибкие проводники и собирающие устройства и хранения энергии, в то время как применение прозрачных PDMS включает в себя: лабораторные устройства на чипе, устройства для тканей и органов на чипе и биологические машины, улучшаются благодаря их биосовместимости, прозрачности и газопроницаемости.

Современная технология печати на основе света позволяет печатать оптически отвержденные силиконовые эластомеры. Однако этот метод требует последующую обработку некоторых печатных деталей для удаления остаточных токсичных побочных продуктов фотополимеризации и непрореагировавших соединений с растворителями. Кроме того, не существует практического решения для печати термореактивных, термореактивных материалов, в данном случае термореактивных PDM, поскольку всегда необходимо вводить добавку для изменения реологии печатного материала, главным образом для увеличения вязкости нанесенного материала, чтобы он сохранялся достаточно долго для термореактивного материала, или полностью освобожден на долгое время.

Добавление другой детали в систему PDMS (полимерная основа и отвердитель) изменяет свойства материала, а использование заполняющей структуры или ванны может привести к геометрическим неточностям из-за веса PDMS, и требуется постобработка для удаления материала поддерживающей ванны. Плазменный нагрев термически отвержденных PDM с добавлением наночастиц золота показал, что результирующие плазмонные наносекундные циклы нагрева и охлаждения могут увеличить скорость отверждения и обеспечить отверждение по требованию. Однако практическое применение наночастиц золота еще предстоит доказать, кроме того, золото стоит дорого, поэтому его необходимо извлекать после печати, что оказывается, это непросто. Здесь мы показали, что DSP способен печатать этот материал непосредственно без добавок, вспомогательных ванн или технологии производства материала, сохраняя при

этом свойства материала Sylgard-184. В дополнение к Sylagrd-184 мы успешно напечатали DSP на различных промышленных термореактивных материалах и эластомерах, таких как DOWSIL EE-1010, DOWSIL EE-3200, DOWSIL ei-1184, SYLGARD ei-182 и SYLGARD ei-186. Мы ожидаем, что DSP найдет более подходящие материалы, в основном другие термореактивные материалы с низкими экзотермическими свойствами, для обеспечения надлежащего разрешения печати.

Заключение

Хотя механизм внедрения технологии DSP Этот документ носит очень общий характер и имеет некоторые уникальные аспекты, такие как RDP, имеет некоторые ограничения в сложности печатных деталей. Трудно печатать на нескольких материалах, используя механизм, поскольку сборочная камера должна каждый раз заполняться новым материалом для печати. Еще одной трудностью является печать нависающих конструкций с использованием механизма, потому что пространство для печати должно быть сохранено. Альтернативный механизм, основанный на той же концепции DSP, а также использование вспомогательных материалов могут помочь решить эти проблемы. Это тема будущих исследований авторов. DSP был нанесен со скоростью объемного осаждения ~15 000 мм3/ч, что сопоставимо с FDM и прямой печатью чернилами (DIW). Схематическое целостное сравнение скорости объемного разделения и разрешения между AM и DSP, основанное на освещении и тепле.

Мы выбрали эту тему, чтобы представить альтернативный метод печати, DSP, для печати 3D-объектов с использованием звуковых волн. Акустическая кавитация создает химически активные области в среде печатной смолы или смеси смол, в которых смола подвергается быстрому фазовому переходу из жидкого состояния в твердое в результате сонохимических реакций. С помощью DSP термически отвержденные полимеры, такие как термореактивные реагенты, которые не могли быть напечатаны непосредственно с помощью фотографий или источников тепла в процессах AM, теперь могут быть напечатаны напрямую. Основной механизм DSP показан с использованием экспериментов SCL.

Химически активная область 3D-печати в DSP аналогична пятну лазерного луча в традиционных фото- или тепловых технологиях АМ.

Список литературы:

1. Все о 3D-печати. URL: http://www.itemprint.ru.
2. Доступная 3D-печать для науки, образования и устойчивого развития / Э. Канесса, К. Фонда, М. Зеннаро. Международный центр теоретической физики Абдус Салам. 2013. 191 с.
3. Зленко М.А. Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении // пособие для инженеров. М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.
4. Barnatt C. 3D-Printing: Second Edition / CreateSpace Independent Publishing Platform. 2014. 306 p.
5. Kelly J. F. 3D-Printing: Build Your Own 3D-Printer and Print Your Own 3D-Objects/ Que Publishing. 2013. 192 p.
6. Mohsen Habibi, Shervin Foroughi, Vahid Karamzadeh & Muthukumaran Packirisamy: Direct sound printing/1 Optical Bio Microsystems Laboratory, Micro-Nano-Bio Integration Center, Department of Mechanical, Industrial and Aerospace Engineering, Concordia University, Montreal, QC, Canada. 2022.

List of literature:

1. All about 3D printing. URL: http://www.itemprint.ru .
2. Affordable 3D printing for science, education and sustainable development / E. Canessa, K. Fonda, M. Zennaro. Abdus Salam International Center for Theoretical Physics. 2013. 191 c.
3. Zlenko M.A. Nagaytsev M.V., Dovbysh V.M. Additive technologies in mechanical engineering // handbook for engineers. M. SSC RF FSUE "NAMI" 2015. 220 p.
4. Barnett S. 3D printing: Second Edition / CreateSpace Independent Publishing platform. 2014. 306 pages.
5. Kelly J. F. 3D Printing: Create your own 3D printer and print Your Own 3D Objects/ Que Publishing. 2013. 192 pages.

6. Mohsen Habibi, Sherwin Forugi, Vahid Karamzade and Mutukumaran Pakirisami: Direct Sound Printing/1 Laboratory of Optical Biomicrosystems, Center for Micro-Nano-Bio Integration, Faculty of Mechanical Engineering, Industrial and Aerospace Engineering, Concordia University, Montreal, QC, Canada. 2022.

© Пухов А.П., Михайлов А.А., Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022.

Для цитирования: Пухов А.П., Михайлов А.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗВУКОВЫХ ВОЛН В ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ В РОССИИ// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022