

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт: Промышленной автоматизации и цифровизации имени А.
Буркитбаева

Кафедра: Индустриальная инженерия

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
«Индустриальная инженерия»
доктор PhD, ассоц. профессор
Арымбеков Б.С.
« 14 » _____ 2021 г.



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: Аддитивные технологии в машиностроении

по специальности 05B071200 – Машиностроение

Выполнил

Есмухамбетова Дина Ерлановна

Рецензент

Научный руководитель

к.т.н., ассоц. профессор

Исаметова М.Е.

« _____ » _____ 20 _____ г.

« 10 » _____ 20 21 г.

Алматы 20 21

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТИ

Институт: Промышленной автоматизации и цифровизации имени А.
Буркитбаева

Кафедра: Индустриальная инженерия

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
«Индустриальная инженерия»
доктор PhD, ассоц. профессор
Арымбеков Б.С.

« 17 » мая 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Есмухамбетовой Дине Ерлановне

Тема: Аддитивные технологии в машиностроении

Утверждена приказом Ректора Университета № ___ –п от "24" 11 20 20 г.

Срок сдачи законченной работы "24" мая 20 21 г.

Исходные данные к дипломной работе: _____

Краткое содержание дипломной работы: *Аналитическая оценка данных, изучение имеющихся данных, определение главных компаний-производителей, оценка рынка производителей.*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены _____ слайдов презентации работы.

Рекомендуемая основная литература: из 6 наименований

ГРАФИК
подготовки дипломной работы (проекта)

| Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов | Сроки представления научному руководителю | Примечание |
|--|---|------------|
| Аналитическая оценка данных | 17.02.21 - 09.03.21 | выполнено |
| Определение главных компаний-производителей | 15.03.21 - 28.03.21 | выполнено |
| Оценка рынка производителей | 30.03.21 - 25.04.21 | выполнено |

Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект)
с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

| Наименования разделов | Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание) | Дата подписания | Подпись |
|-----------------------|--|-----------------|---------|
| Оформление работы | | | |
| Нормоконтролер | | | |

Научный руководитель



Исаметова М.Е.

Задание принял к исполнению обучающийся



Есмухамбетова Д.Е.

Дата « 30 » 04 2021 г

АННОТАЦИЯ

Дипломдық жұмыс 24 беттен, 17 суреттен және 6 дереккөзден тұрады.

Түйінді сөздер: аддитивті технологиялар, өндіріс, жобалау, бөлшек.

Жұмысты жазудағы зерттеу объектісі машина жасаудағы аддитивті технологиялар тақырыбы, нарықтағы қазіргі жағдайды зерттеу болды. Дипломдық жұмыс 3 бөлімнен тұрады. Кіріспеде таңдалған бағыт бойынша зерттеудің өзектілігі, зерттеудің мақсаты мен міндеттері ашылады. Бірінші және екінші бөлімде аддитивті технологиялардың пайда болуы мен қолданылуы қарастырылады. Үшінші бөлімде аддитивті технологиялардың машиналары мен жабдықтарының негізгі топтары анықталған.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа состоит из 24 стр., 17 рис., 6 источников.

Ключевые слова: аддитивные технологии, производство, проектирование, деталь.

Объектом исследования при написании работы была тема аддитивных технологий в машиностроении, исследование нынешнего положения на рынке. Дипломная работа состоит из 3-х разделов. Во введении раскрывается актуальность исследования по выбранному направлению, цель и задачи исследования. В первом и втором разделе рассматриваются темы происхождения и использования аддитивных технологий. В третьем разделе определены главные группы машин и оборудования аддитивных технологий.

ANNOTATION

Thesis consists of 24 pages, 17 figures, 6 sources.

Keywords: additive technologies, production, design, detail.

The object of research when writing the work was the topic of additive technologies in mechanical engineering, the study of the current situation on the market. Thesis consists of 3 sections. The introduction reveals the relevance of research in the chosen direction, the goal and objectives of the research. The first and second sections discuss the origins and uses of additive technologies. The third section defines the main groups of machines and equipment for additive technologies.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 8 |
| 1 Преимущества аддитивных технологий | 9 |
| 1.1 Аддитивные технологии в транспортной промышленности | 9 |
| 1.2 Reverse engineering | 9 |
| 2 История аддитивных технологий | 10 |
| 3 Машины и оборудования для производства | 12 |
| 3.1 Группа Bed Deposition | 12 |
| 3.2 Компании группы Bed Deposition | 13 |
| 3.3 Группа Direct Deposition | 19 |
| Заключение | |
| Список использованной литературы | |

ВВЕДЕНИЕ

Аддитивные технологии-одна из самых передовых и востребованных цифровых технологий в мире. Аддитивное производство - наложение и синтез объекта с использованием 3D-технологии. Одной из первых в области аддитивного производства является компания 3D Systems. В 1986 году был разработан стереолитографический 3D-принтер. Ветеран аддитивного производства относится к технологиям, позволяющим выращивать трехмерные объекты одним тончайшим слоем за один раз. Каждый последующий слой связан с предыдущим слоем расплавленного или частично расплавленного материала. Объекты определяются в цифровом виде с помощью автоматизированного проектирования, программного обеспечения САПР, которое используется для создания STL-файлов, которые в свою очередь нарезают объект на ультратонкие слои. Эта информация направляет путь сопла при печати, поскольку оно точно наносит материал на предыдущий слой. Лазерный или электронный луч избирательно плавится или частично плавится в порошковом слое. Когда материалы остывают или затвердевают, они сливаются вместе, образуя трехмерный объект. Аддитивное производство позволяет создавать более легкие и сложные конструкции, которые не слишком сложно и не слишком дорого строить с использованием традиционных кубиков, пресс-форм, коленей и механической обработки. Аддитивное производство также отлично справляется с прототипированием EBIT. Поскольку процесс преобразования цифровых данных в цифровые данные исключает традиционные промежуточные этапы, изменения могут быть сделаны на лету. Независимо от того, используется ли аддитивное производство для прототипирования или для производства, время работы часто сокращается. Кроме того, детали, когда-то созданные из нескольких собранных деталей, теперь производятся как единый объект без сборки.

1.Преимущества аддитивных технологий.

Современные аддитивные технологии могут быть использованы не только для 3D-печати неметаллических изделий, но и для производства металлических изделий для машиностроения. Посредством из послойного формирования материальных объектов можно получить элементы практически любой геометрии. Если раньше только фрезерный станок мог изготавливать зубчатые детали планетарной механической передачи, то сегодня применение аддитивных технологий позволяет решить эту проблему с помощью 3D-принтера. В список преимуществ этого метода входят следующие качества:

- высокая производительность;
- простота изготовления сложных изделий;
- быстрая замена оборудования;
- безотходное производство.

Одним из главных преимуществ является полная автоматизация процесса. По этому параметру даже самая роботизированная машина проигрывает устройству 3D-печати.

1.1 Аддитивные технологии в транспортной промышленности.

Среди всех отраслей и сфер машиностроения наибольшая рентабельность аддитивных технологий отмечается на транспорте. Сфера транспорта нуждается в снижении производственных потерь сырья при получении изделий сложной геометрии и повышенной плотности. Здесь важную роль играет скорость обмена данными между инженерами, проектировщиками, конструкторами и т. д.

Направления транспортного машиностроения:

- железнодорожное машиностроение и вагоностроение;
- судостроение;
- авиационная промышленность;
- ракетно - космическая промышленность.

Даже с учетом того, что 3D-печать повышает эффективность каждого из этих направлений, наибольшую выгоду от аддитивного производства получают авиационная, ракетно-космическая промышленность.

1.2 Reverse engineering

В любом виде машиностроения стоит обратить внимание на способ обратного проектирования. Обратное проектирование -это мощный инструмент аддитивного производства, а сочетание того и другого может значительно улучшить дизайн продукта и также сократить цикл разработки

продукта. Независимо от того, нужно ли вам изготовить устаревшую деталь, не имеющую цифровой модели, или запасную деталь для замены, обратное проектирование имеет много преимуществ. Ряд отраслей промышленности, таких как аэрокосмическая, автомобильная и медицинская, уже используют преимущества обратного проектирования наряду с аддитивными технологиями со значительной экономией времени и затрат.

Поломка небольшой части большого оборудования может привести к остановке всего технологического процесса и значительным экономическим потерям. Быстрое создание разрушенной детали с использованием обратного проектирования и аддитивных технологий позволяет значительно сократить время простоя оборудования. Как правило, при проектировании объекта с нуля инженер-проектировщик создает чертежи с подробным описанием того, как должен быть построен объект. В противоположность этому, обратное проектирование предполагает противоположный подход: инженер-проектировщик начинает с конечного продукта, работая в обратном направлении через процесс проектирования, чтобы достичь исходной проектной информации. Теоретически любой объект может быть обратно сконструирован, будь то механическая деталь, потребительский продукт или даже древний артефакт.

2. История аддитивных технологий

Первоначальным приближением к стереолитографии в сегодняшнем представлении является задумка Отто Мюнха, предложившего метод избирательной экспозиции бесцветной фотоэмульсии в 1956 году. В данное наслоение проецировалось сечение предмета. В качестве площадки для экспонирования применялся подвижный поршень, находящийся в цилиндре.

Поршень перемещался на определенную высоту с заданным шагом и слой эмульсии наносился сверху. После чего на данный слой проецировалось изображение, затем наносился слой фиксирующего реагента. Таким образом каждый этап: поршень опускался вниз, наносилась фотоэмульсия, слой засвечивался, наносился слой фиксирующего реагента и т. д.

Фиксирующий состав наносился и на засвеченные участки, и на не засвеченные участки. В следствии трехмерный объект оказывался заключенным в прозрачный материал в форме цилиндра (рис. 1).

(Патент США № 2775758) Предшественник современной стереолитографии Отто Мюнх упоминается почти всеми авторами новых изобретений в области аддитивных технологий.

В 1977 году Вин Келли Свейнсон предложил (патент США № 4041476) метод получения трехмерных объектов путем отверждения светочувствительного полимера на пересечении двух лазеров. Приблизительно в тот же период начали появляться технологии послойного синтеза из порошковых материалов.

В 1981 году Р.Ф. Хаусхолдер (патент США № 4247508) предложил метод, при котором тонкий слой порошкового материала формируется с помощью нанесения на плоскую платформу. Затем проводится выравнивание до определенного значения с дальнейшим спеканием слоя.

В тот же год Хидео Кодамой были опубликованы результаты первых функциональных систем фотополимеризации с УФ-лампой и лазером. В 1982 году А.Дж. Герберт опубликовал работу о создании 3D-моделей с помощью XY-плоттера, УФ-лампы и системы зеркал (рис. 2).

Процесс патентования ранее не известных инженерных решений по АФ технологиям приобрел массовый нарастающий характер. Чарльз Холл В 1986 году предложил способ послойного синтеза посредством ультрафиолетового излучения, сфокусированного на тонкий слой фотополимерной смолы. Он так же внедрил термин «стереолитография». Чарльз Холл основал фирму 3D Systems, которая первой приступила к коммерческой деятельности в сфере послойного синтеза. Та пора является началом новой эры в индустрии АФ технологий.

3. Машины и оборудования для производства

Аддитивные технологии делятся на две группы: Bed Deposition и Direct Deposition.

3.1 Группа Bed Deposition

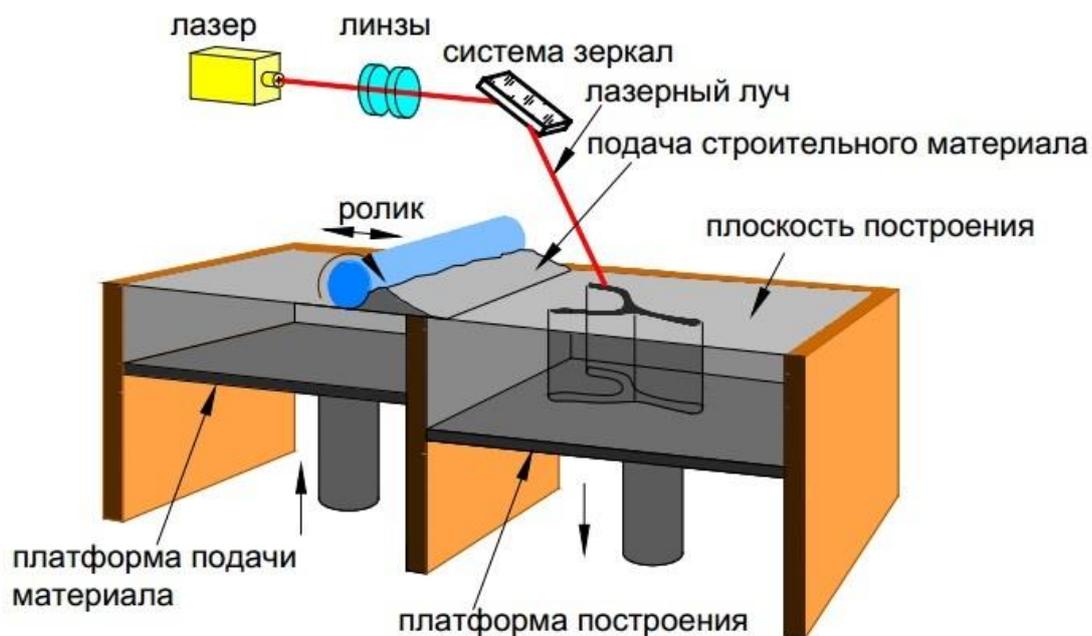


Рис. 3. Технология Bed Deposition

Способ заключается в том, что существует определенная платформа, на которой сначала формируется слой необходимого порошкового материала, а затем выборочно на этом слое происходит отверждение согласно сечению CAD-модели. Положение плоскости бывает неизменным и часть материала в созданном слое остается неповрежденной. Данной технологии в точности подходит термин «селективное лазерное спекание» (SLS – Selective Laser Sintering).

Самая многочисленная группа по количеству производителей и многообразию моделей на рынке - это машины SLS. Значительная доля компаний-производителей используют лазер в качестве источника энергии для объединения частиц металлического порошка.

3.2 Компании группы Bed Deposition

- Concept Laser (Germany);
- EOS (Germany);
- Phenix Systems (France);

- SLM Solutions (Germany);
- Realizer (Germany);
- Renishaw (United Kingdom);
- Arcam (EBM-технология), (Sweden);
- 3D Systems (USA).

Компания **Concept Laser** является частью группы Hofmann также изготавливает АМ-машины с 2002 года. Технология называется LaserCUSING. В машинах применяются волоконные лазеры с иттербиевым легированием (Yb-луч). Производство выполняется с использованием предохранительного газа (N₂, Ar).

В модельном ряду пять машин. Самый малый образец M-Labor, выпущенная в 2011 году, была изобретена для исследовательских целей, ювелирного и медицинского рынков. Диаметр лазерного пятна составляет 25 мкм, это даёт высокое качество поверхности (рис. 4). Самая крупная машина X-Line 1000R с площадью конструкции 630x400x500 мм был изобретен и выпущен в сотрудничестве с Институтом лазерных технологий Фраунгофера (FILT) при участии Daimler AG в 2013 году. С момента своего создания X-Line 1000R позиционировала себя как машина для серийного производства.



Рис. 4. Машина M-lab, презентация машины X-Line 1000R, 2012г.

Одна из популярных и успешных АМ-технологий на рынке компания **EOS** за последние 2 года продала более 100 машин, третья часть из которых - "металлические". EOS является компанией, занявшей жесткие позиции на рынке США. Американская компания Morris Technology, в составе GE Aviation имеет 20 АМ-машин от EOS.

Компания называет свою технологию DMLS - Direct Metal Laser Sintering, но некоторые металлографические исследования [4, 5] показали, что при внедрении технологии металл плавится, не спекается (рис. 5).

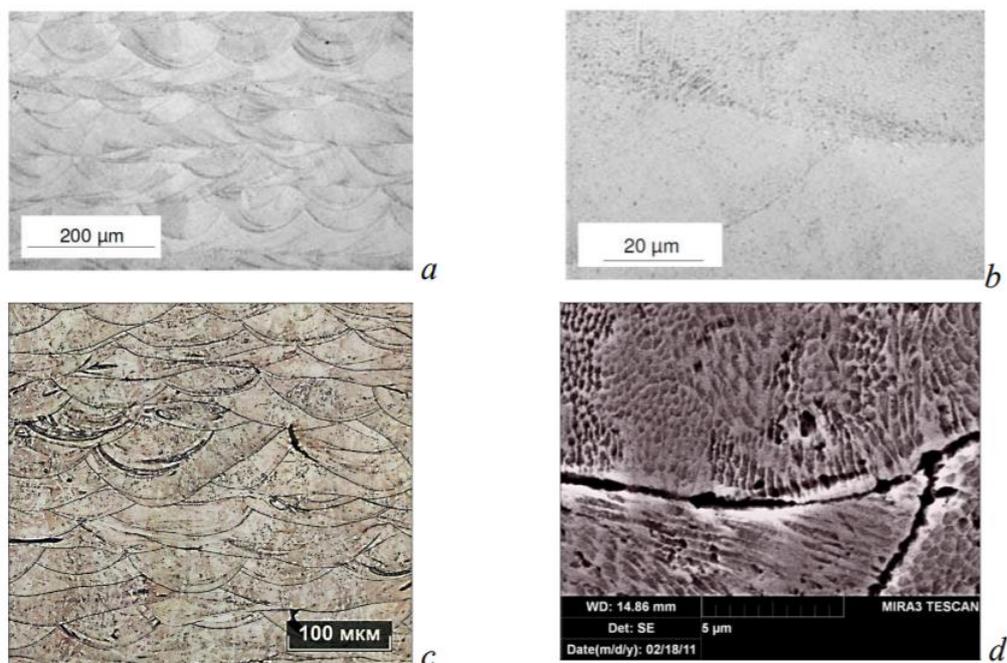


Рис. 5 Структура образца из мартенситно-твердеющей стали: а, б – по данным С.Л. Кампанелли [4]; с, d – по данным Н.Г. Колбасникова [5].

На сегодняшний день EOS производит машины EOSINT 280 (рис. 6а) и PRECIOUS M 080 (рис. 6б). EOSINT 280 имеет интегрированный генератор азота, применяемый при разработке деталей из металлических порошков на основе железа, для титановых, никелевых также алюминиевых составов используют аргон. Машина производится в 2-ух вариантах – с лазером 200 и 400 Вт для работы с повышенным шагом построения. PRECIOUS M 080 (рис. 6б) способен работать с драгоценными металлами и сплавами.

Кроме Того EOS работает с машинами, имеющими технологию Micro Laser Sintering с целью производства медицинского оборудования, микроэлектроники и др. Машина с размерами рабочей площади Ø50 и высотой 30 мм дает возможность производить детали с шагом от 1 до 5 мкм и шероховатостью Ra приблизительно 2 мкм.



Рис. 6. а – EOSINT 280; б – PRECIOUS M 080

Компания **Phenix Systems**. Отличительной особенностью машин Phenix Systems (Рис. 7) является уникальный метод создания слоя строительного материала с шагом строительства 20 мкм. В качестве модельных материалов применяются металлические порошки со средним размером частиц $d_{50} = 6-9$ мкм. На этих машинах допустимо производство керамических деталей, которым затем необходимо спекание в высокотемпературной печи. В частности, могут изготавливаться керамические стержни для специальных видов литья. Около 50 аппаратов PXS Dental были установлены в разных лабораториях для производства стоматологических изделий из сплавов Co-Cr. Также машины PXS могут эффективно использоваться для исследований и разработок с целью изучения особенностей рабочих процессов лазерного синтеза и разработки технологий SLM для различных порошковых составов.



Рис. 7. Машины Phenix Systems: а – PXL; б – PXM; с – PXS

Компания **SLM Solutions**. Результатом сотрудничества с FILT стал SLM 280, который значительно улучшил производственный процесс. Опционально в устройство можно интегрировать второй лазер мощностью 1000 Вт. Наружная рама и тонкие стенки секции обрабатываются первым лазером мощностью 400 Вт, а тело секции обрабатывается вторым мощным лазером.

Регулировка мощности лазера - необходимый этап при изготовлении сложных деталей. Высокая мощность лазера быстро расплавляет металл, но дает большое количество энергии в точку плавления, и наблюдаются взрывные свойства частиц расплавленного металла, а когда металл закипает, часть строительного материала выбрасывается из точки плавления. Это может увеличить пористость и значительно снизить качество поверхности. В таких условиях может быть очень сложно создать элементы с тонкими стенками, потому что металлические детали отлетают в сторону и не плавятся. Для формирования данных элементов требуется низкая мощность лазера, но это снижает производительность. Машины SLM сочетают в себе несколько

мощностей, что значительно повысило скорость (до пяти раз) и качество производства.

С 2013 г. выпускается машины SLS 500 с размерами зоны построения – 500x280x335 мм и базовой системой из двух лазеров (рис. 8).



Рис. 8. Лазерная система SLS 500.

Немецкая компания **Realiser** с 2010 г. отделилась от SLM Solutions и имеет много общего с машинами SLM. Машины Realiser обладают уникальной оптической системой, которая позволяет уменьшать диаметр лазерного пятна, что помогает сокращать зону работы с деталью.

Модель SLM 50 (класс Desktop) является самой маленькой по габаритам среди металлических машин и подходит для изготовления ювелирных, стоматологических изделий, проведения научно-исследовательских работ (рис. 9а). SLM 50 может также использоваться как агрегат лазерной сварки.



Рис. 9. а - SLM 50, б - SLM 100

Станок SLM 100 предназначен для производства небольших деталей малыми сериями с высокой точностью изготовления (рис. 9 б). Размеры строительной зоны 125x125x100 мм, усовершенствованная оптическая система позволяет фокусировать лазерный луч до 20 мкм, создавая 60-ти микрометровые стенки.



Рис. 10. Машина SLM 250

Renishaw - одна из ведущих компаний в сфере измерительных технологий. Компания в 2010 г. купила MTT Technology, расширив свой бизнес аддитивными технологиями. В свою очередь MTT Technology не так давно отделилась от компании SLM Solutions, продолжая уже независимо производить машины SLM. В США эти машины брендированы как 3D Systems. Приоритеты Renishaw при разработке новых технологий AM - решение экологических проблем, снижение затрат на электроэнергию и сокращение дорогостоящих расходных материалов.

Renishaw на сегодняшний день производит две машины - AM 125 и AM 250. Преимущество данных машин - высокий уровень герметичности камеры, что дает возможность откачивать воздух перед началом работы и после заполнения камеры газом (аргоном или азотом) обеспечивает рабочий процесс с концентрацией кислорода меньше 50 ppm и крайне низким расходом инертного газа.

Arcam AB использует технологию EBM (Electron Beam Melting). Суть технологии описывается [6] следующим образом: электроны испускаются нитью накала, нагретой до 2500 ° C, и ускоряются через анод до половины скорости света. Электроны фокусируются одним магнитным полем, другое магнитное поле контролирует отклонение пучка электронов. Когда электроны достигают порошка, кинетическая энергия преобразуется в тепло, что плавит металлопорошок. Мощность можно регулировать количеством электронов. При производстве используются чистые порошки без связующих компонентов и добавок. EBM технологии уступают SLM в том, что их зона расплава на

порядок больше лазеров, соответственно чистота поверхности хуже. Но большое количество специалистов отмечают качество производства Arcam в однородности и плотности материала.



Рис. 10. Arcam A2

Компания **3D Systems**. Машины 3D Systems и ExOne [1] представляют другой тип технологии послойного синтеза, заключающегося в предварительном создании «грин-модели» в АМ-машине. Металлический порошок предварительно смешивают со связующим веществом, которое обволакивает его частицы. При производстве лазер расплавляет частицы металла, «склеивая» их между собой. Связующее вещество удаляется уже с готового изделия в печи, затем проводится инфильтрация (пропитка расплавленной бронзой).

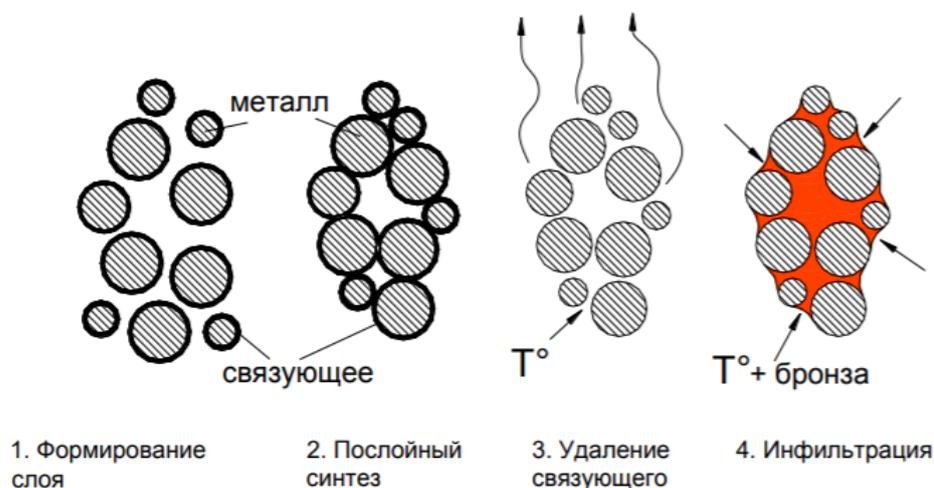


Рис. 11. Процесс получения модели из стали и бронзы

Обеспечение необходимой микроструктурой является главной проблемой SLM-технологий. Ряд исследований показал, что пористость зависит и от материала, и от параметров режима плавления [3, 4, 5]. К примеру, пористость стальных сплавов до 0.2%, титановых до 2%, алюминиевых до 4-5% (рис. 12). Для устранения пористости деталей используются специальные методы обработки давлением и термообработки, в том числе HIP (Горячее Изостатическое Давление).



Рис. 12. Микроструктура сплава AlSi9Mg

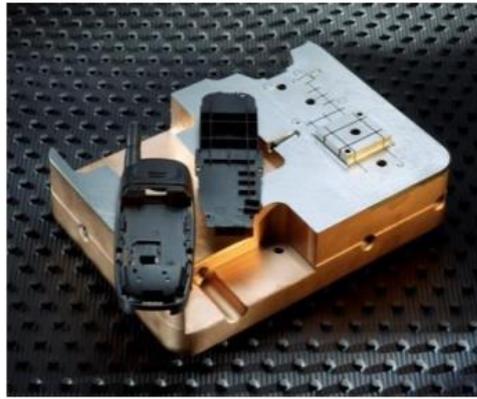
3.3 Группа Direct Deposition

Компании производители группы Direct Deposition:

- POM Group (США);
- Optomec (США);
- Ipera Laser (Франция);
- InssTek (Южная Корея);
- Sciaky (США).

Компания **POM** (Precision Optical Manufacturing), приобретенная американской компанией DM3D в декабре 2012 года, является разработчиком технологии DMD. Технология DMD обеспечивает параллельную или последовательную подачу двух типов материалов с разными физическими и химическими свойствами. Это позволяет изготавливать биметаллические детали (рис. 13а), и покрывать специальным материалом кулачковые валы, гильзы цилиндров, поршневые кольца (рис. 13б).

Компания так же производит градиентные материалы путем послойного нанесения и сплавления двух или более материалов с различными свойствами. Система управления регулирует размер точки плавления в зависимости от конфигурации элементов детали. В качестве материалов используются инструментальные и титановые сплавы, инконели, стеллиты. Стоимость машин и работы довольно высока - более 500 тысяч долларов.



а



б

Рис. 13. Технология DMD: а- комбинированная вставка, б- покрытие износостойким составом седла клапанов.

Optomec - одна из ведущих мировых компаний поставщиков технологий Direct Deposition. Машины оборудуются несколькими бункерами, получая возможность подавать в зону плавления разные материалы. Процесс производства деталей осуществляется в аргоновой среде. Преимущество машин Optomec в том, что материалы можно быстро заменить- почти за минуты. Благодаря высокой скорости охлаждения, превышающей 1000°C , можно регулировать и контролировать микроструктуру строящейся детали. Базовые версии LENS 750, LENS MR-7 (рис. 14а) имеют 3 оси управления. Опционально может быть установлен поворотный стол для обеспечения четвертой и пятой осей управления. Точность позиционирования - 0,25 мм, производительность - до 100 г / час. Модели LENS 850-R в базовой версии имеют 5 осей управления и оснащены двумя бункерами по 14 кг (рис. 14б). В машинах используются порошки фракционного состава от 36 до 150 мкм.



а



б

Рис. 14. Машины компании Optomec.

Компания **InssTek** (Южная Корея) имеет машину MX-3 (Рис. 15) с CO₂-лазером Trumpf, пятью осями управления и оборудованную многоканальной системой подачи материала.



Рис. 15. Машина InssTek MX-3

Оригинальную аддитивную технологию используют **Sciaky** (США), которая специализируется на разработке оборудования и технологий для сварки. В машине АМ фирмы Sciaky (рис. 16) деталь изготавливается методом послойной сварки материала в расплаве, образованном электронным лучом (рис. 17). Эта технология известна как EBDM - Electron Beam Direct Manufacturing. Высокая производительность (7-18 кг / ч) технологии EBDM позволяет выращивать достаточно крупные детали, что очень дорого для других технологий АМ. Данный принцип производства дает низкое качество поверхности синтезируемой детали. Однако использование технологии EBDM с традиционными технологиями механической обработки позволяет получить результат по приемлемой цене.



Рис. 16. Машина EBDM

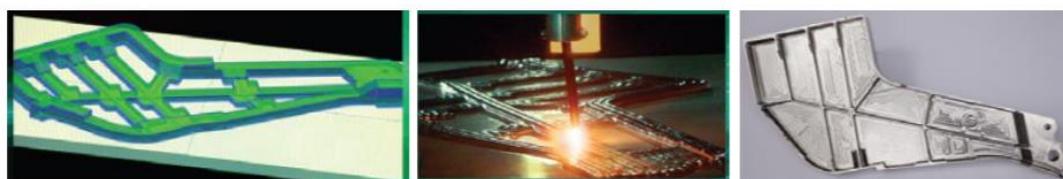


Рис. 17. Изготовление детали EBDM технологией

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аддитивные методы, применяемые в машиностроении, позволяют без применения специальных инструментов, экономически эффективно и гибко производить единичные агрегаты и небольшие серии. Эти методы также способствуют разработке новых компонентов системы с оптимизированной функциональностью и генерируют прикладные решения автоматизации. Проектируя все, от мостов до небоскребов, инженеры долгое время стремились минимизировать вес и при этом максимально увеличить долговечность. С помощью аддитивного производства дизайнеры реализуют мечту об использовании органических структур для значительного снижения веса объектов. Эта технология позволяет инженерам разрабатывать детали со сложной конструкцией, которую невозможно получить другими методами. Сложные конструкции, такие как конформные каналы охлаждения, могут быть включены непосредственно в конструкцию. Детали, которые ранее требовали сборки и сварки или пайки нескольких деталей, теперь можно выращивать как одну деталь, обеспечивая большую прочность и долговечность. Дизайнеры больше не ограничиваются традиционными машинами и могут создавать детали с большей свободой проектирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. 3-D Printing Manufacturing Process is Here; Independent global forum for the Unmanned Aircraft Systems community, UAS Vision [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.uasvision.com>.
2. Ahsan M.N. et. al. A comparison of laser additive manufacturing using gas and plasma-atomized Ti-6Al-4V powders // Innovative Developments in Virtual and Physical Prototyping. – London: Taylor & Francis Group, 2012.
3. Louvis E. et. al. Selective laser melting of aluminium components. Journal of Materials Processing Technology. Department of Engineering, The University of Liverpool, Liverpool L69 3GH, United Kingdom. – 2011. – Vol. 211. – P. 275-284.
4. Sabina L. Campanelli et. Al. Capabilities and Performances of the Selective Laser Melting Process. Polytechnic of Bari, Department of Management and Mechanical Engineering, Viale Japigia, 182 Italy [Электронный ресурс]. URL: <http://cdn.intechweb.org/pdfs/12285.pdf>.
5. Безобразов Ю.А. и др. Анализ структуры образцов, полученных DMLS- и SLM-методами быстрого прототипирования. – Екатеринбург, 2012.
6. Шабров Н.Н. Реальные достижения виртуальной реальности // Rational Enterprise Management. – 2011. – № 2. – С. 46-48

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: Есмухамбетова Дина Ерлановна ,

Название: Аддитивные технологии в машиностроении

Координатор: Ассоциированный профессор Исаметова М.Е ,

Коэффициент подобия 1: 10.9

Коэффициент подобия 2: 1.2

Замена букв: 4

Интервалы: 0

Микропробелы: 1

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:

.....
10.05.2021

Дата

.....


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: Есмухамбетова Дина Ерлановна ,

Название: Аддитивные технологии в машиностроении

Координатор: Ассоциированный профессор Исаметова М.Е ,

Коэффициент подобия 1:10.9

Коэффициент подобия 2:1.2

Замена букв:4

Интервалы:0

Микропробелы:1

Белые знаки:0

После анализа отчета 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:

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

Дата 10.05.2021



Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

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

Дата 10.05.2021



Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения