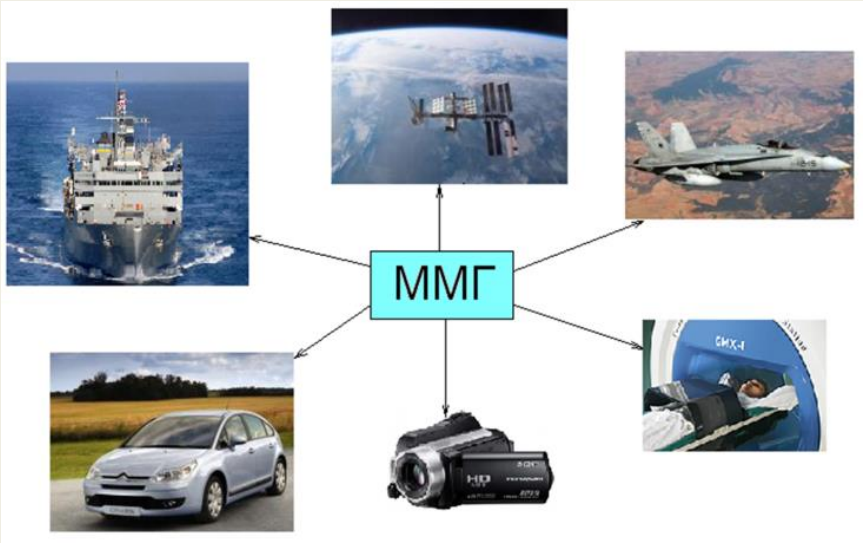
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

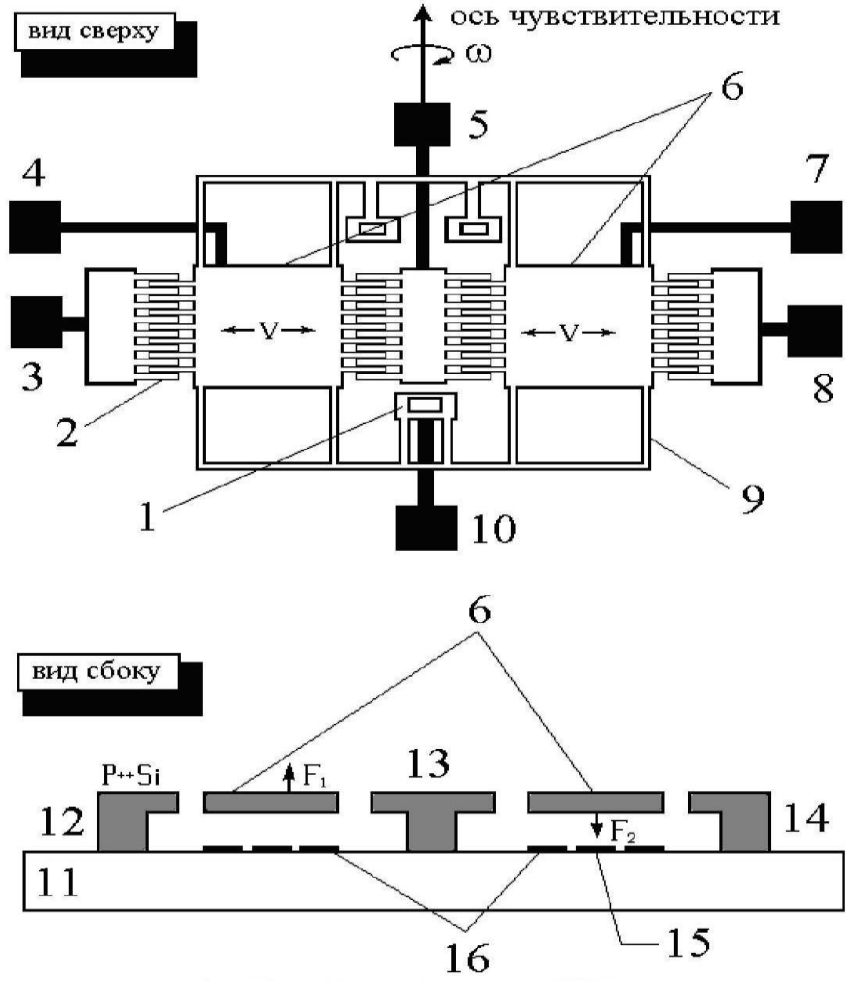
А.А. Тыртычный
Санкт-Петербургский Государственный Университет
Аэрокосмического Приборостроения

Применение микромеханических датчиков

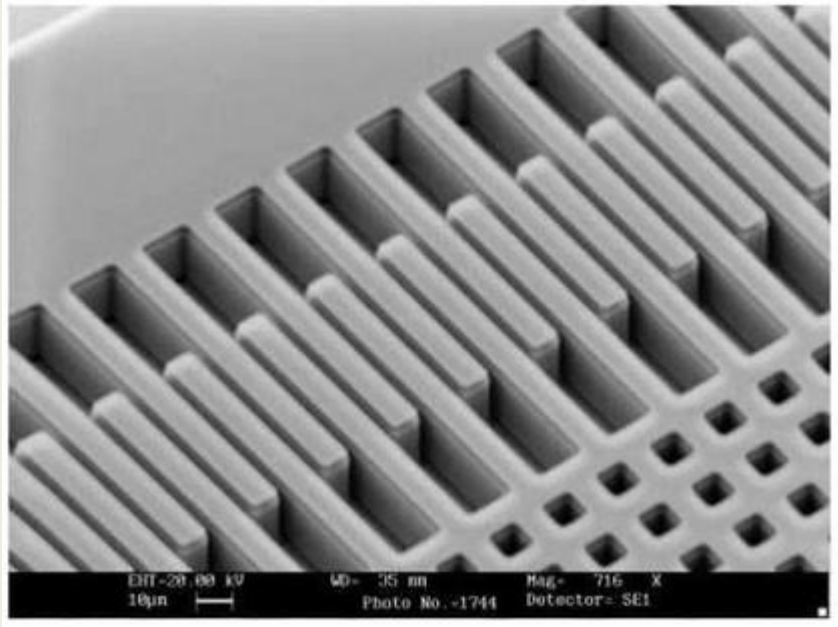


- Автомобилестроение
  - Навигационные датчики
  - Датчики торможения
  - Датчики давления
  - Датчики подушек безопасности
- Медицина
  - Датчики кровяного давления
  - Имплантируемые датчики давления
  - Протезирование
  - Миниатюрные инструменты
  - Электрокардиостимуляторы
- Электроника
  - Головки жестких дисков
  - Головки струйного принтера
  - Сейсмодатчики
  - Авиационные датчики давления
- Оборона
  - Управление боеприпасами
  - Наблюдение
  - Микровооружение
  - Встроенные в амуницию датчики
  - Боевые микророботы

Технологии МЭМС



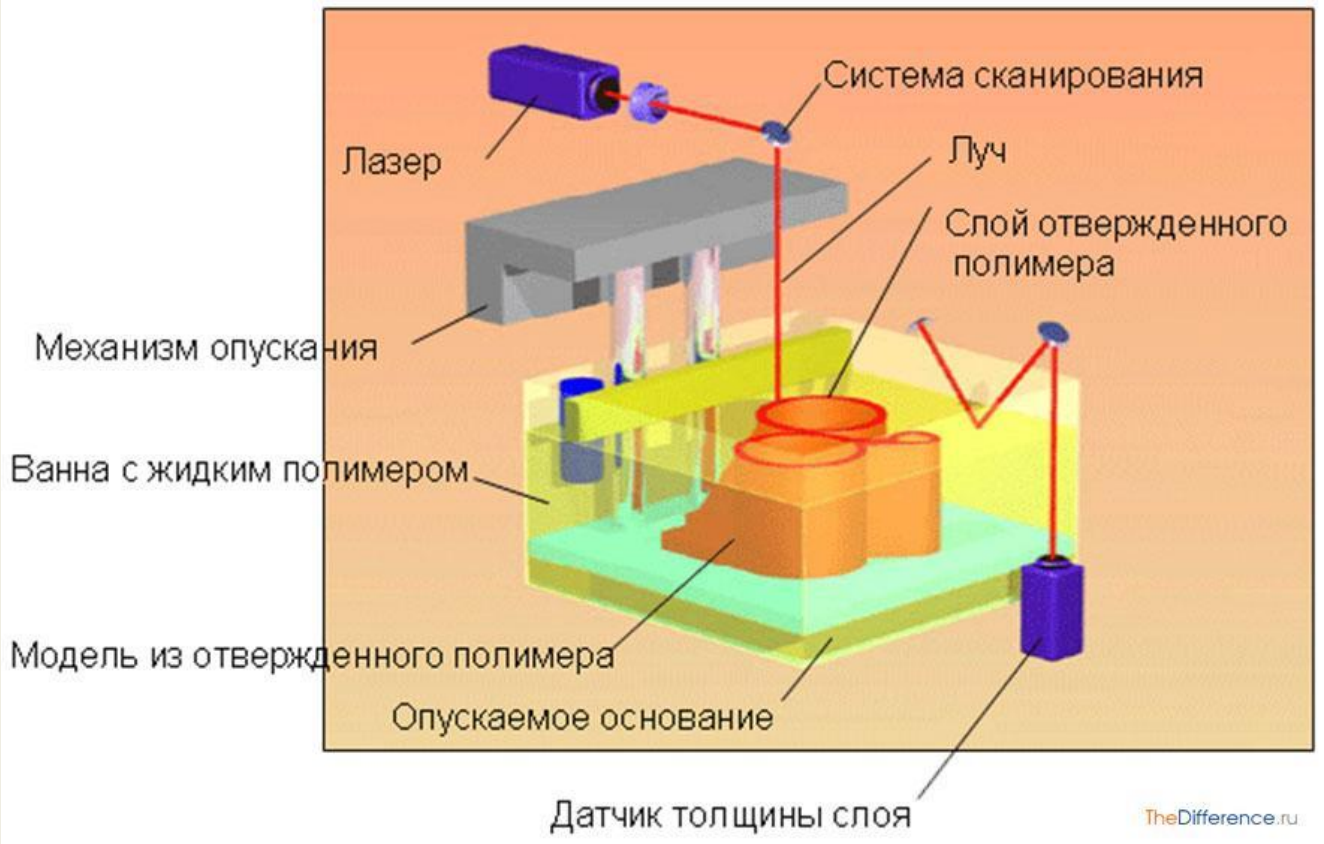
Плоский микромеханический ДУС.
1 - точка опоры (якорь); 2 - гребёнчатая структура; 3 - электрод левого привода; 4 - электрод левого датчика; 5 - электрод центрального привода; 6 - колеблющиеся массы; 7 - электрод правого датчика; 8 - электрод правого привода; 9 - упругий подвес; 10 - выход; 11 - стеклянная подложка; 12 - левый привод; 13 - центральный привод; 14 - правый привод; 15 - балансировочные электроды; 16 - электроды датчиков.

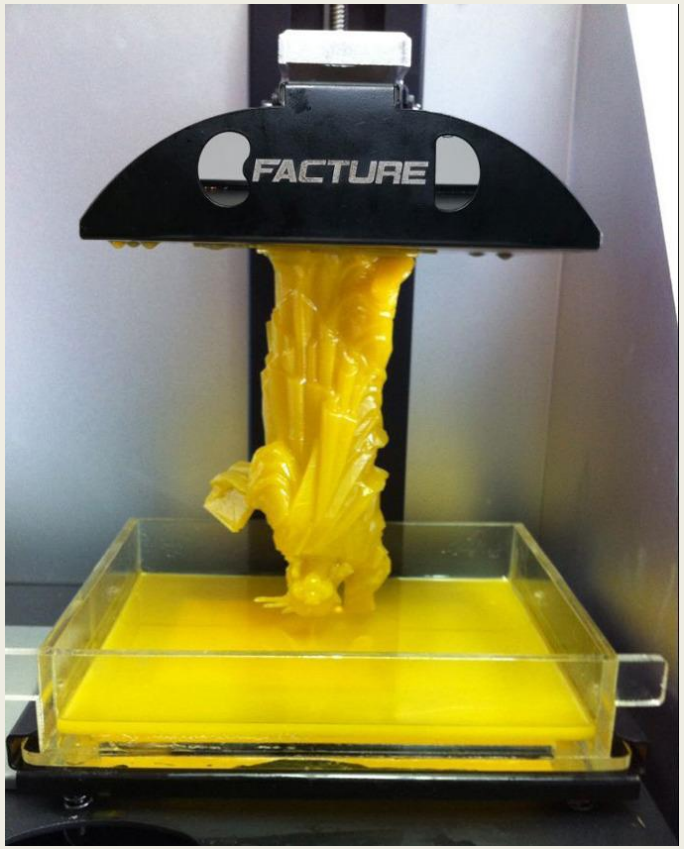


- Схема микромеханического акселерометра компании Analog Devices и фото его гребенчатого датчика силы

Обзор технологий неметаллической трехмерной печати

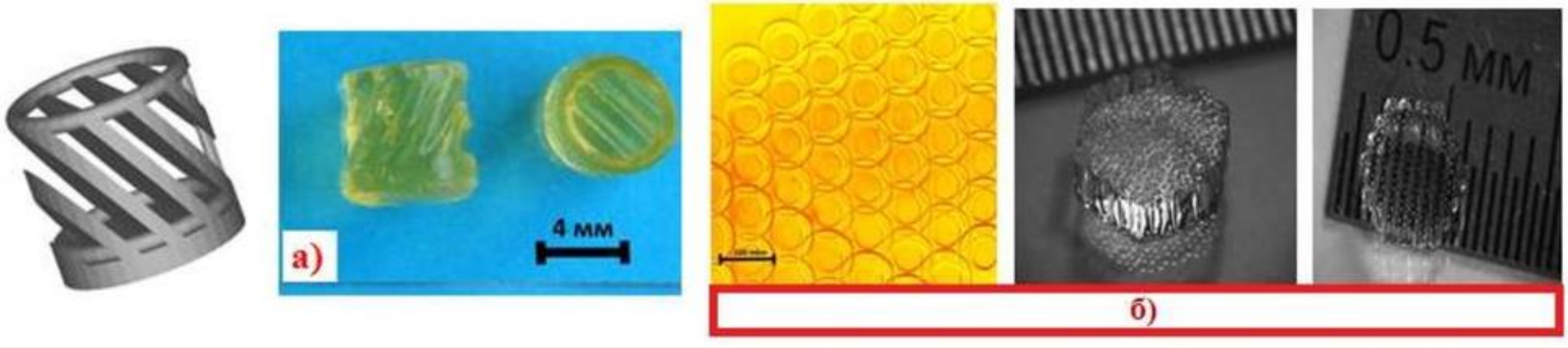
Стереолитография (SLA)





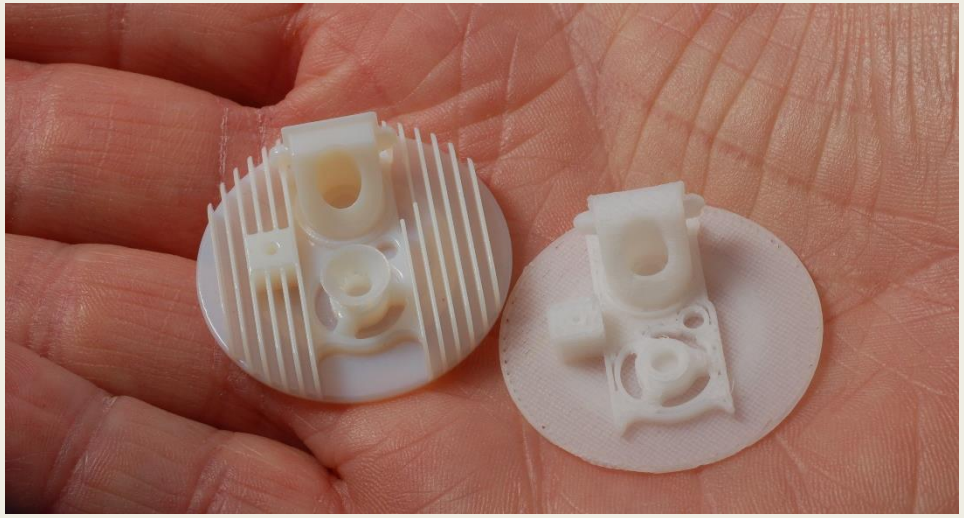
- Дополнительные нежелательные химические реакции могут привести к изменению размеров модели и трещинам.
- Толщина поляризуемого слоя 50-150 мкм
- Шероховатость поверхности от 50 мкм

Микростереолитография



- Структуры, полученные на установке лазерной микростереолитографии Института проблем лазерных и информационных технологий РАН
- Использование высокоточных оптических систем и стабилизированных платформ позволяет повысить разрешение печати до 2 мкм
- Нестабильность размеров деталей, изготовленных из фоточувствительных смол, и даже их разрушение под воздействием видимого света, ультрафиолетового излучения, различных газовых и жидких сред

Технология PolyJet



- Фотополимер наносится печатной головкой, а для его затвердения используется ультрафиолетовое излучение.
- Разрешение до 16 мкм.
- Температурная стабильность материалов, используемых в данном методе, ниже по сравнению с материалами других технологий 3D-печати.
- Возможность создания смесей материалов.

Создание МЭМС

Материал	Предел прочности, МПа	Модуль упругости при растяжении, МПа	Температура стеклования, °C
PC	68	2,3	161
PC-ISO	57	2,0	161
PC-ABS	41	1,9	125
ULTEM9085	72	2,2	185
PPSF	55	2,1	230
RGD5160-DM	55-60	2,600-3,000	50
RGD525	70-80	3,200-3,500	65
FullCure720	50-65	2,000-3,000	50
VeroClear FullCure810	50-65	2,000-3,000	53
VeroGray FullCure850	50-65	2,000-3,000	53
VeroBlue FullCure840	50-60	2,000-3,000	50
DurusWhite FullCure430	20-30	1,000-2,000	35
TangoBlackPlus	0.8-1.5	-	-
TangoBlack Full Cure970	1.8-2.4	-	-
TangoGray FullCure950	3-5	-	-
Кремний	7	190	1414
Алюминий	170	69	660

- Точность произвоства моделей указанных методов и технологии МЭМС сопоставимы.
- Низкие механические характеристики материалов.

Обзор технологий трехмерной печати металлом

- Плавление и быстрое затвердевание приводят к изменению микроструктуры.
- Современные научные работы признают возможность достичь при трехмерной печати металлом механических свойств объекта сопоставимых с металлическим объектом, произведенным традиционными методами.
- Важный вопрос – выбор материала. Например, при кристаллизациии расплава алюминия образуются продолговатые зерна, а расплав между ними при охлаждении уменьшается в объеме, что приводит к полостям и трещинам. Решается проблема покрытием порошка наночастицами, становящимися центрами кристаллизации.

3D-принтеры для печати металлом

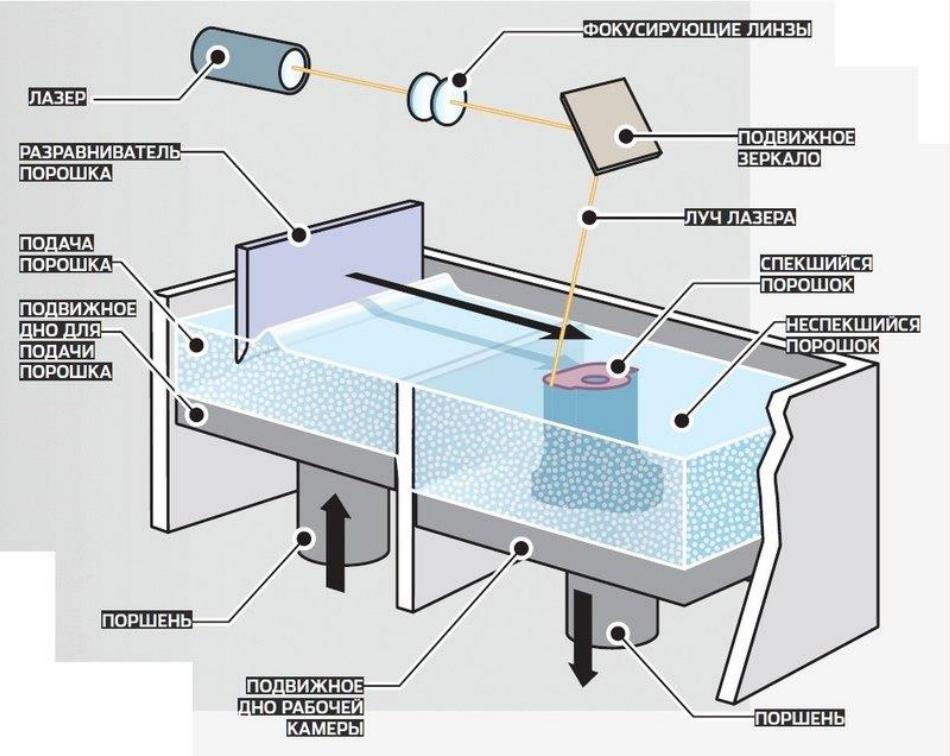
- Струйные принтеры, которые работают с пластиком и легкоплавкими металлами, например, свинцом или оловом.
- 3D-принтеры, работающие на основе металлического порошка со склеивающим веществом. На основе таких устройств печатаются прототипы, которые в дальнейшем подвергаются дополнительному обжигу.
- 3D-принтеры, которые работают на основе технологий плавки лазером.

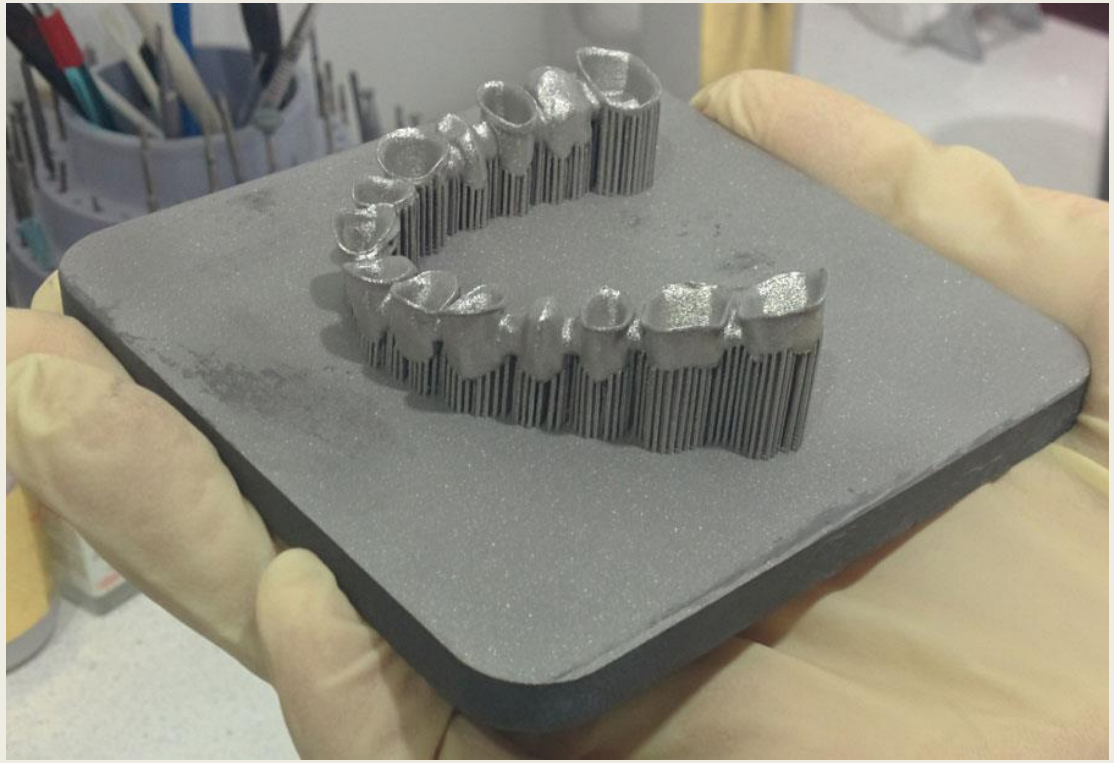
Больше точность изготовления. Такие устройства широко применяются в промышленности.

3D-принтерына основе технологий плавки лазером

- Выборочное лазерное спекание, SLS (Selective Laser Sintering);
- Выборочное лазерное плавление, SLM (Selective Laser Melting);
- Электронно-лучевую плавку EBM (Electron Beam Melting);
- Распыление наночастиц (NanoParticle Jetting).

Выборочное лазерное спекание (SLS)



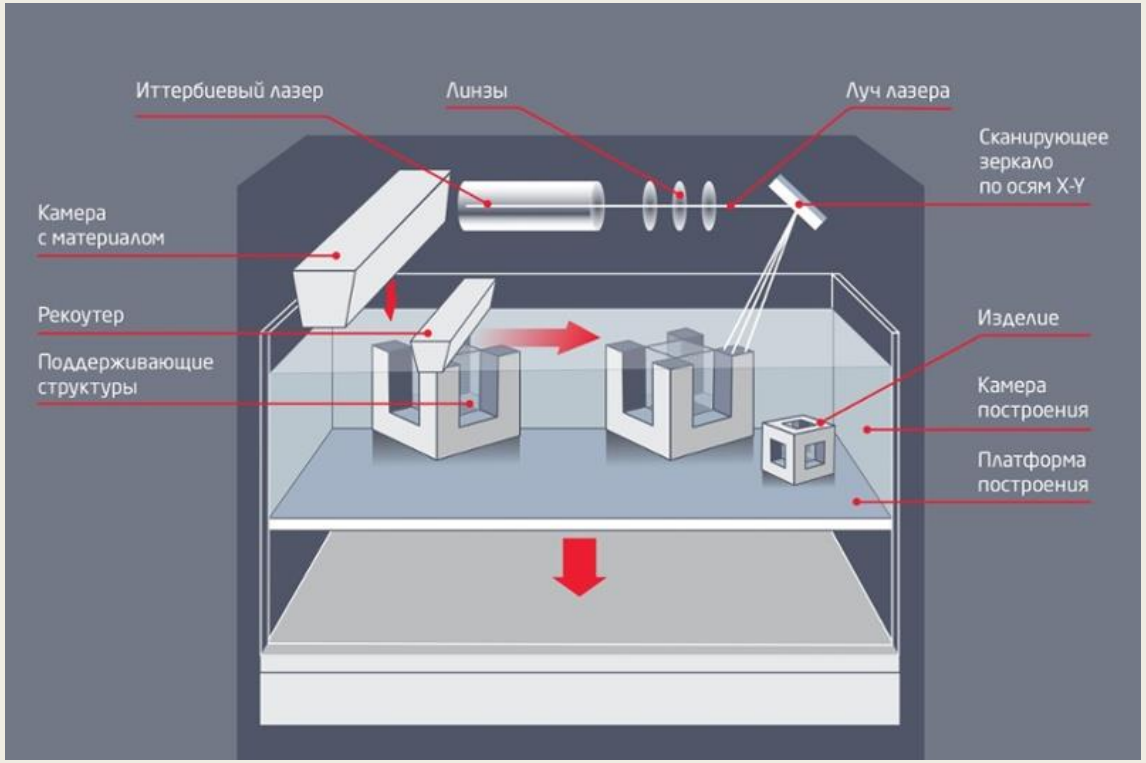


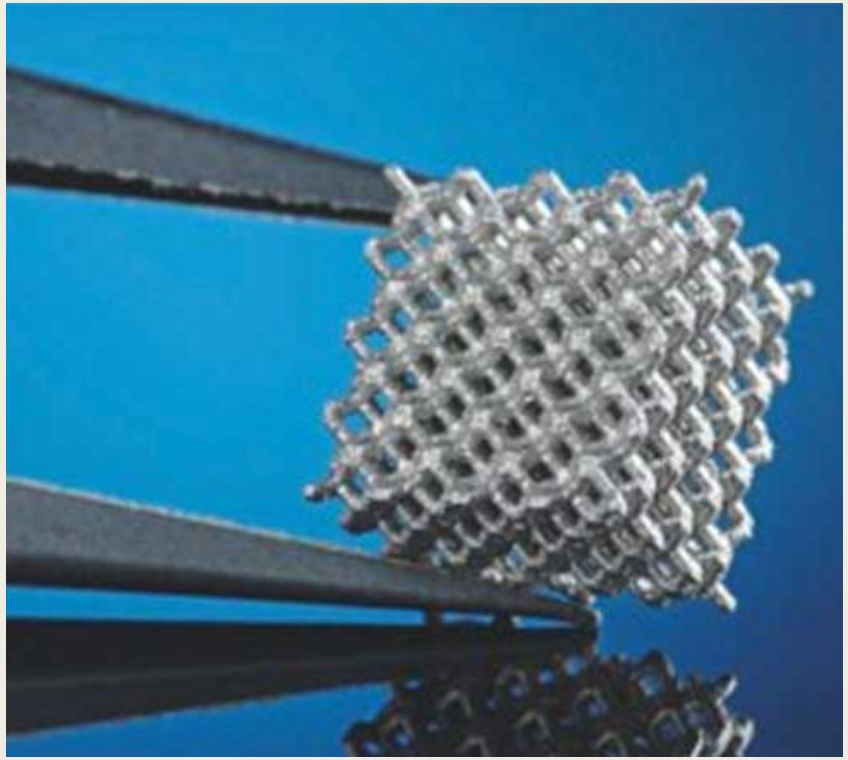
- Материалы: пластмассы, различные материалы на основе нейлона, молибдена, титана и нержавеющей стали 316L.
- Пористость и прочность лучше по сравнению с традиционными методами.
- Неэкологичность и опасность производства (металлический порошок в воздухе.
- Сложность последующей обработки (обжига) после печати, в специальной печи для окончательного спекания порошка.
- Усадка детали после обжига, достигающая порой значений 30% (а в среднем 8-10%) от исходного объема, что накладывает ограничения на допуски точности и требует последующей механической обработки.

Распыление наночастиц (XJet)

- Металлические наночастицы из картриджа наносятся распыляющим соплом. Оператору не надо касаться материала.

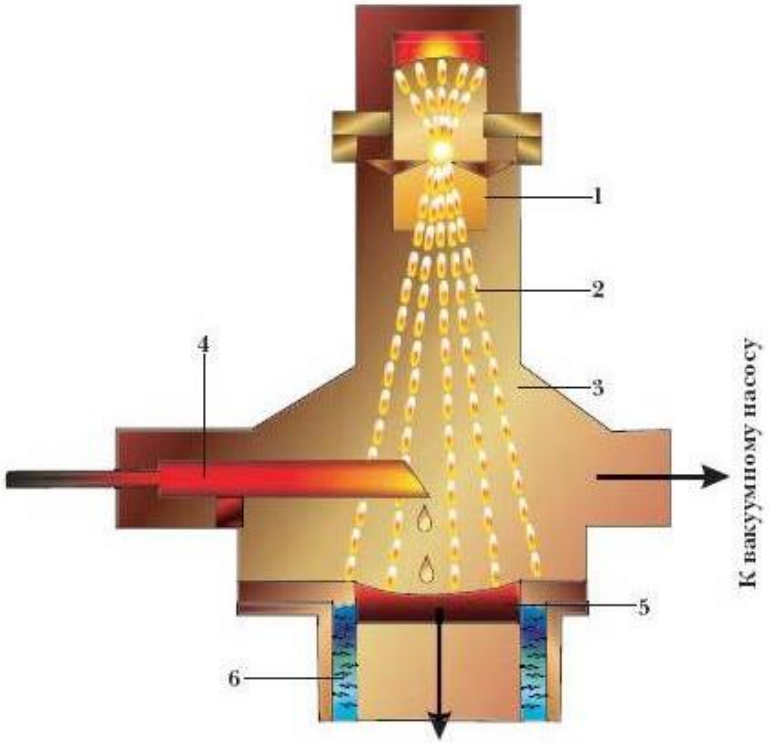
Выборочное лазерное плавление (SLM)





- Нанесение слоя мелких металлических частиц и последующего их плавления лазерным лучом.
- Необходима вакуумная камера, заполненная инертными газами.
- Материалы: сплав бронзы и никеля, нержавеющая сталь, суперсплавы на основе никеля или кобальта, легкие сплавы на основе алюминия или титана, тугоплавкие и драгоценные металлы (золото, серебро и др.).
- Есть риск взрыва металлов, обладающих высокой реакционной способностью (титан и алюминий).
- Точность 400 мкм и менее.

Электронно-лучевая плавка (ЕВМ)



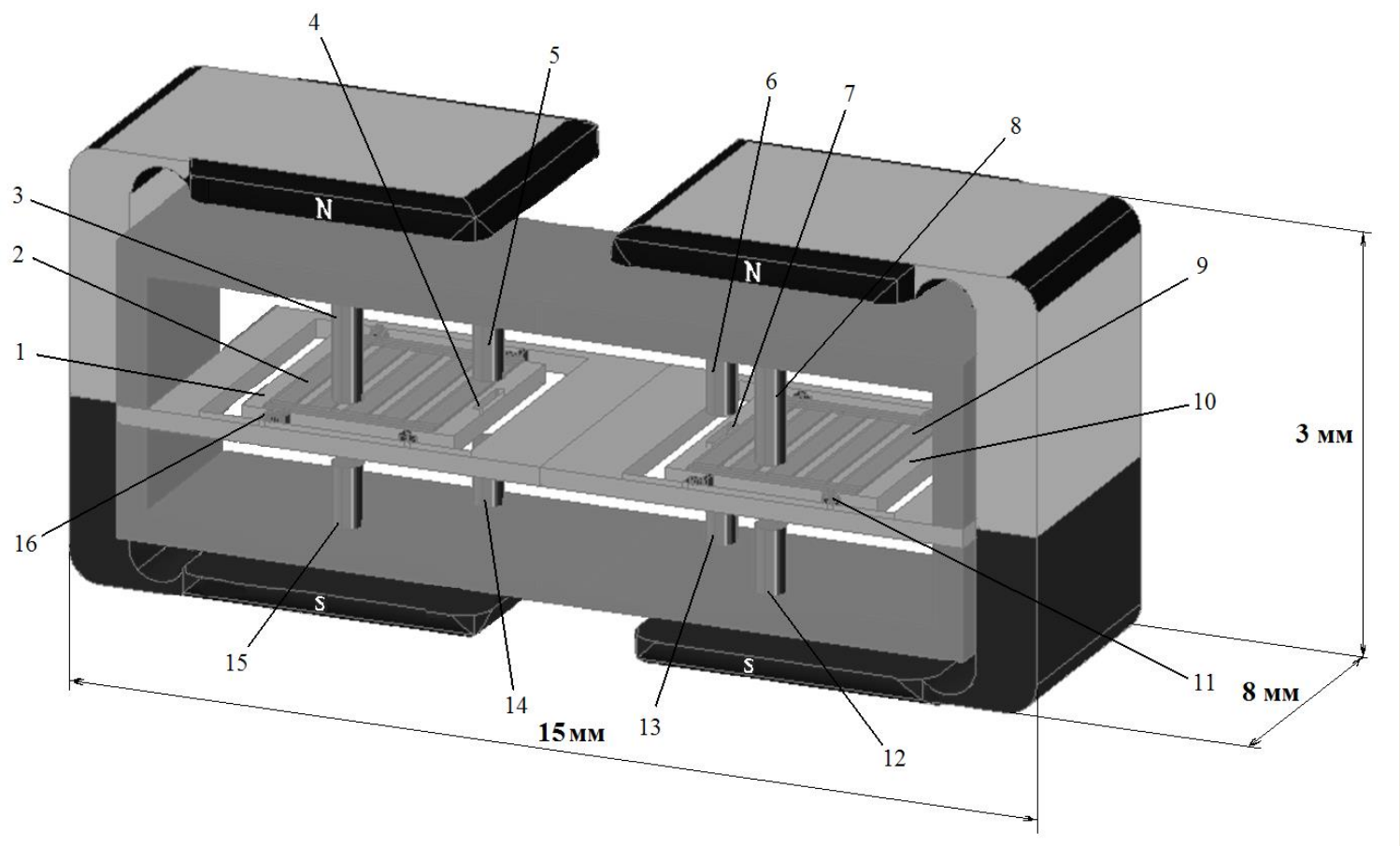
1 – электронная пушка; 2 – электронный пучок; 3 – плавильная камера; 4 – расплавляемый образец; 5 – выплавляемый слиток; 6 – охлаждаемый водой медный катализатор

- Металлический порошок плавится посредством воздействия электронных лучей.
- Технология позволяет создавать крупные конструкции до десятков метров.

Печать магнитных и диэлектрических слоев

- Технологии SLS, SLM или EBM - поверхность шероховатая или слоистая, минимальная толщина слоя составляет около 0,1–0,15 мм.
- Методы прямой печати (SLA, SLS) позволяет создавать в конструкции функциональные слои из пьезоэлектрических и магнитных (в том числе ферромагнитных) материалов.
- Возможна комбинация методов прямой печати и «капельных» методов.

АММГ



1. первая инерционная масса, 2. первые токопроводящие дорожки, 3. второй излучатель, 4. первая оптическая щель, 5. первый излучатель, 6. третий излучатель, 7. вторая оптическая щель, 8. четвёртый излучатель, 9. вторые токопроводящие дорожки, 10. вторая инерционная масса, 11. вторые упругие элементы подвеса, 12. второй фотоприёмник, 13. второй двухсегментный фотоприёмник, 14. первый двухсегментный фотоприёмник, 15. первый фотоприёмник, 16. первые упругие элементы подвеса.

Использование трехмерной печати для создания АММГ

- Реализация автоколебательных режимов и высокие (относительно емкостных преобразователей) силовые характеристики магнитного силового преобразователя позволяют увеличить массу чувствительного элемента, что приводит к увеличению чувствительности датчика. Это позволяет использовать материал 3D-печати, имеющий относительно высокий удельный вес.
- Увеличение массы чувствительно элемента приводит к увеличению размера упругих элементов подвеса, что снижает требования к точности их изготовления.
- Методы прямой печати (SLA, SLS) позволяет создавать в конструкции функциональные слои из пьезоэлектрических и магнитных (в том числе ферромагнитных) материалов.

Проблема качества поверхности и точности изготовления отдельных элементов конструкции

Параметр	SLA	PolyJet	SLS	MLS
Толщина слоя, мкм	50-150	16-30	100	2-4
Минимальные размеры, мкм	250-890	1100	750-1000	32
Основные материалы	ABS-подобные пластмассы; поликарбонат; полиэтилен	ABS-пластмассы, полипропиллен	Нейлон	Молибден SS316L, сплав бронза-хром, сплав алюминий-никель, нейлон
Максимальные размеры модели, мм	~ 600 × 700 × 500	~ 500 × 400 × 200	~ 300 × 300 × 400	~ 55 × 55 × 30
Комментарии	ABS-пластмассы могут быть подвергнуты ультразвуковой сварке	Самостоятельный выбор материала путем комбинирования материалов из библиотеки	Материалы с тепловой и химической устойчивостью	Проводящие материалы

- Минимальные размеры конструктивного элемента 30-1000 мкм

Спасибо за внимание