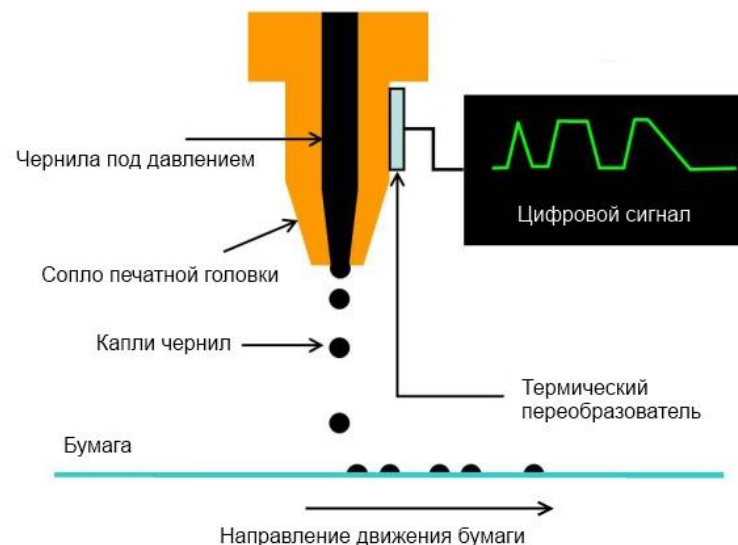
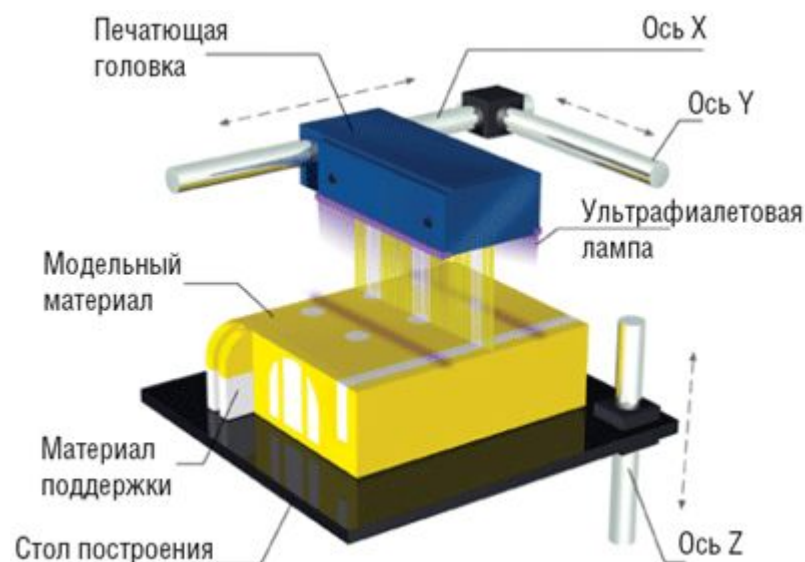


ТРЕХМЕРНАЯ ПЕЧАТЬ И ЛАМИНИРОВАНИЕ

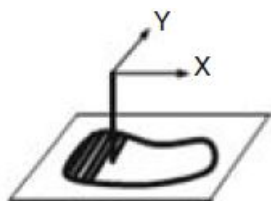
ТРЕХМЕРНАЯ ПЕЧАТЬ

- Базируется на широко известных принципах **струйной 2D печати**.
- Ее возникновение (1960е) связано с необходимостью вывода информации с цифровых устройств.



МЕСТО В КЛАССИФИКАЦИИ

Линейный канал



Жидкий полимер

Отдельные частицы

Расплавленный материал

Твердые листы

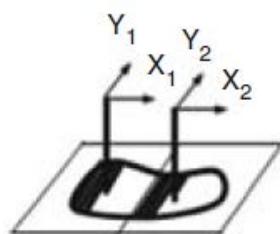
Стереолитография (SLA)

Избирательное лазерное спекание

Моделирование методом наплавления

Ламинирование

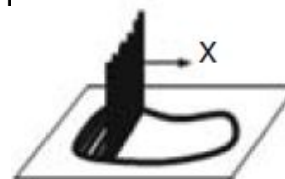
Два линейных канала



Двухлучевая стереолитография

LST (EOS)

Массив линейных каналов

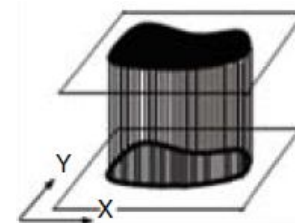


Objet

Трехмерная печать связующего

Прямая трехмерная печать

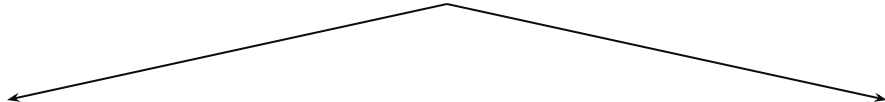
Двумерный (плоский) канал



Отверждение на твердом основании

DPS

ТРЕХМЕРНАЯ ПЕЧАТЬ



Прямая печать

- «Чернила» - основной материал детали;
- Впервые представлена в патенте в 1980х
- **Материалы:** преимущественно термопласты
- Толщина слоя 0,0005-0,0016 дюйма.

Печать связующего

- «Чернила» - связующее для порошковой подложки.
- Разработана в МИТ в начале 1990х.
- **Материалы:** широкий диапазон полимеров, металлов и керамики.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ПЕЧАТИ

Преимущества

- Низкая стоимость
- Высокая скорость
- Масштабируемость
- Возможность использования нескольких материалов;
- Возможность печати в цвете.

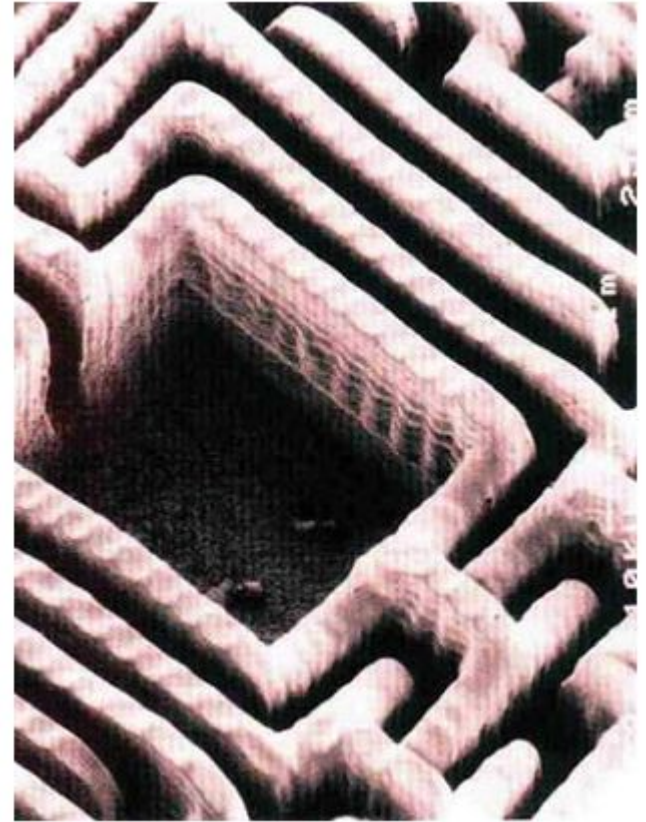
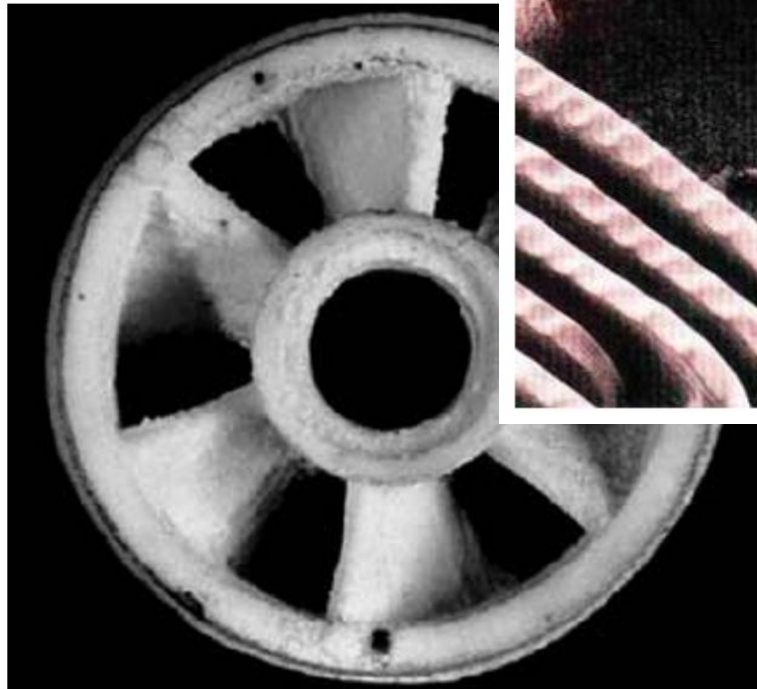
Недостатки

- Ограниченный выбор материалов.
- Невысокая точность моделей, особенно для крупногабаритных деталей.

МАТЕРИАЛЫ

- Наиболее часто для 3D печати используются:
- Полимеры,
- Металлы,
- Керамика.

Также возможно использование **органических соединений.**



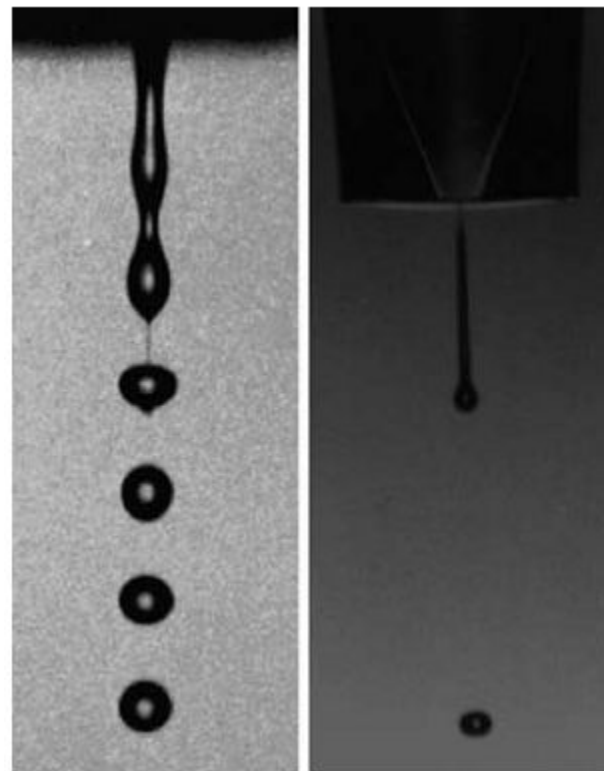
ТРУДНОСТИ ПРОЦЕССА ПЕЧАТИ

Основные технологические трудности процесса 3D печати связана с **механизмом формирования капель**:

- Необходимо поддерживать материал в **жидком** состоянии.
- Необходимо создавать **дискретные** капли малого объема – для обеспечения разрешения.
- Необходимо **контролировать** процесс осаждения капель и их связывания с подложкой или предыдущим слоем.

ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ КАПЕЛЬ

- Выделяют 2 основных механизма формирования капель:
- Непрерывный поток (CS)
- Импульсная (DOD)

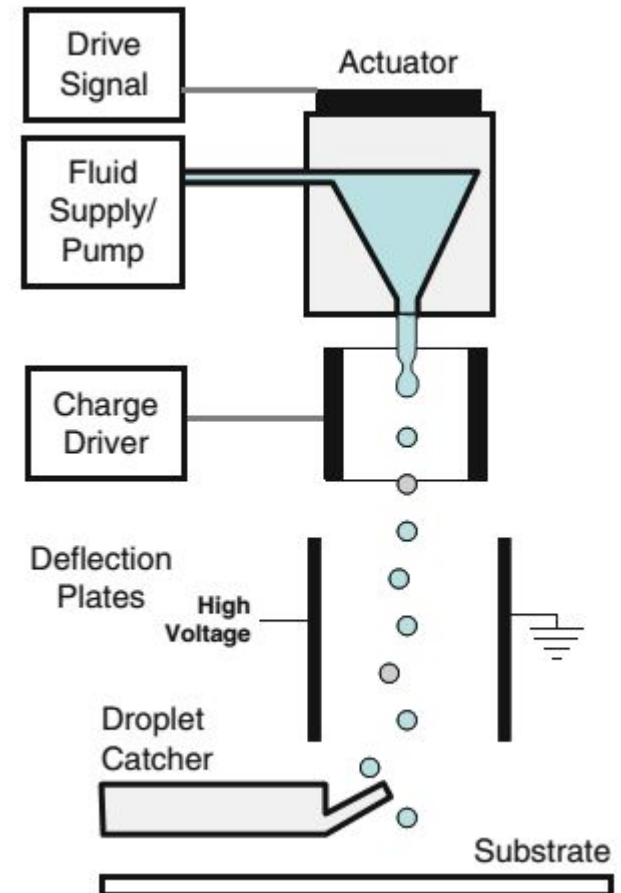


CS

DOD

НЕПРЕРЫВНЫЙ ПОТОК

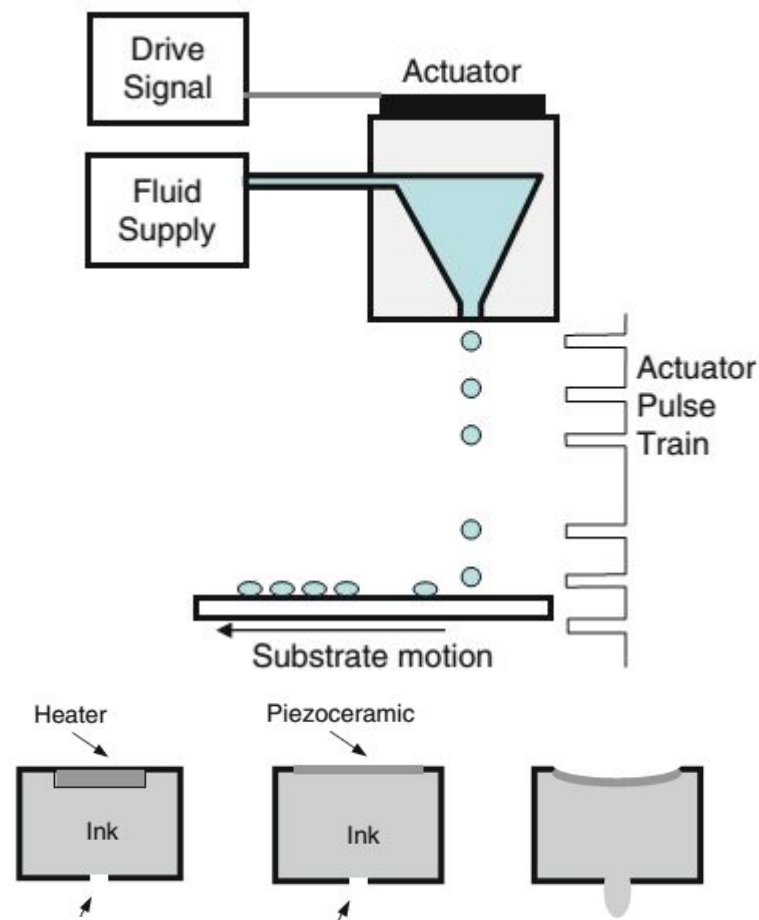
- К емкости с жидкостью применяется **постоянное давление**.
- **Прерывание** потока осуществляется через вибрацию, возмущение или модуляцию частоты воздействия.
- Так капли формируются через **постоянные интервалы**.
- Достигается **высокая производительность**.



Ø капли 150 мкм;
частота 80-100кГц

ИМПУЛЬСНО-КАПЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

- Капли формируются **индивидуально**.
- Пульсации давления создаются тепловыми, электростатическими, пьезоэлектрическими, акустическими или другими приводами.



Размер капли 25-120 мкм
До 2000 капель /с.

ФОРМИРОВАНИЕ КАПЛИ



МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕЧАТИ

- Для формирования капли необходимо подвести **энергию** достаточную для компенсации потерь вязкого потока, формирования свободной поверхности и придания требуемой скорости

$$E_{\text{imparted}} = E_{\text{loss}} + E_{\text{surface}} + E_{\text{kinetic}}$$

вязкость

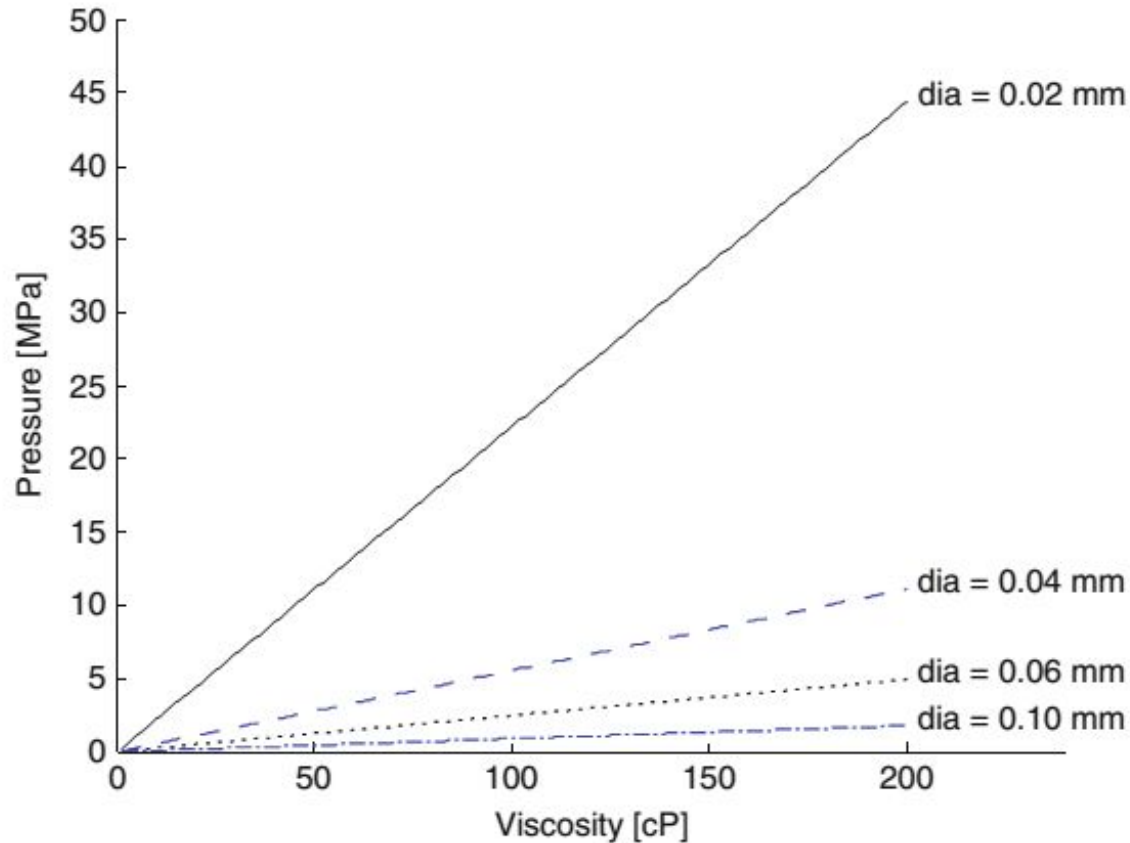
поверхностное
натяжение

скорост
ь

$$\Delta p = 32\mu d_j^2 v_j \int_{l_1}^{l_2} \frac{dl}{d_n^4} + \frac{2\sigma}{d_j} + \frac{\rho v_j^2}{2}$$

- Необходимое **избыточное давление** определяется в зависимости от плотности ρ и вязкости μ жидкости, силы поверхностного натяжения σ , диаметра d_j и скорости v_j капли, диаметра d_n и длины l сопла.

ДИАГРАММА ТРЕБУЕМОГО ДАВЛЕНИЯ



1 cP = 1 мПа*с,
единица
измерения
вязкости

Используется для оценки давления, требуемого для преодоления вязкости в трубках различного диаметра.

МЕТОДЫ МОДИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛА

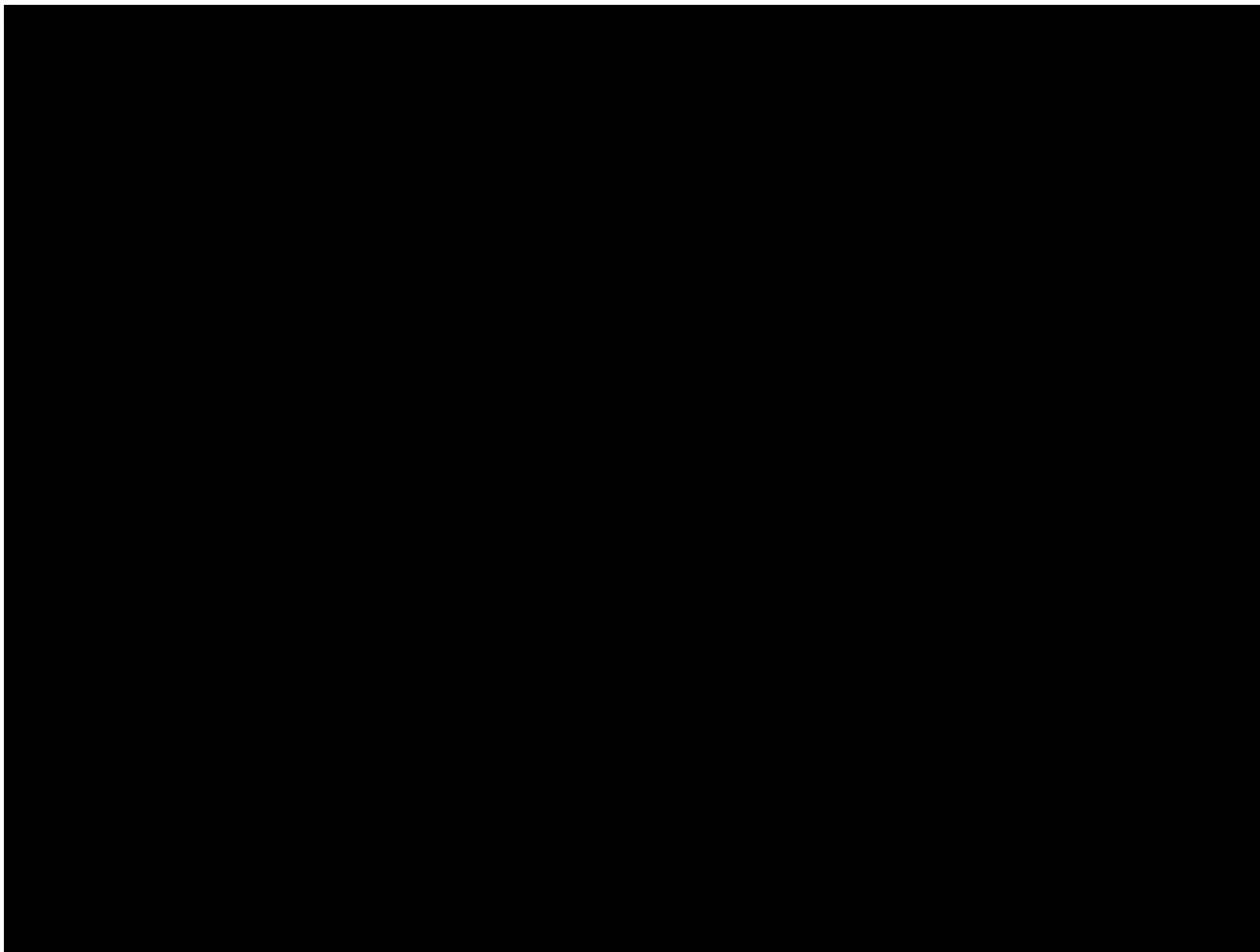
- Для наилучшего формирования капель необходимо обеспечить вязкость **20-40 сР** при температуре печати.
- Для **снижения вязкости** наиболее часто используются: нагревание, растворители или смешивание с менее вязкими компонентами.

ПРЯМАЯ ТРЕХМЕРНАЯ ПЕЧАТЬ

The logo for SolidScape is centered within a white rectangular area. The word "SolidScape" is written in a bold, blue, sans-serif font, with a registered trademark symbol (®) to its upper right. Below it, the tagline "High Precision 3D Printers" is written in a smaller, blue, italicized sans-serif font. The white area is flanked by dark blue horizontal bars at the top and bottom.

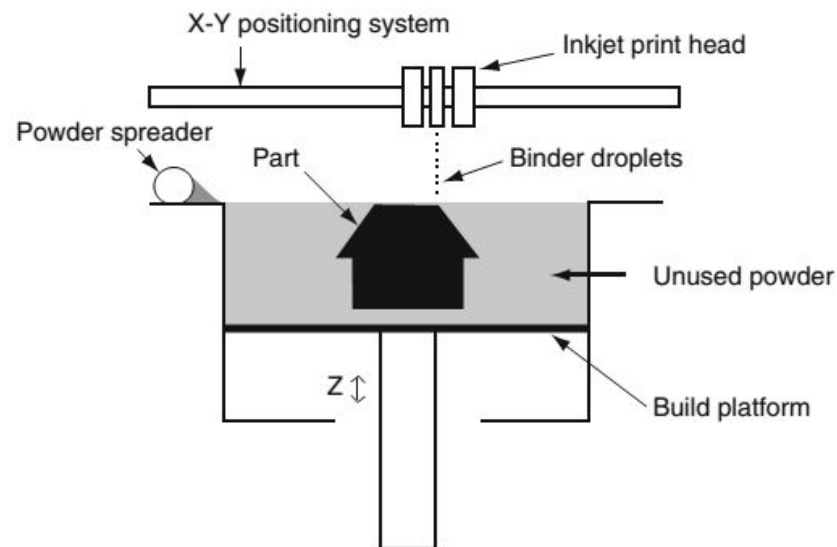
SolidScape®
High Precision 3D Printers

ПРЯМАЯ ПЕЧАТЬ ФОТОПОЛИМЕРА



ТРЕХМЕРНАЯ ПЕЧАТЬ СВЯЗУЮЩЕГО

- Основана на формировании **агломераций** из капли связующего и частиц порошковой подложки.
- Процесс легко **масштабируется** путем добавления сопел.
- Несвязанный порошок выполняет роль **поддерживающей структуры**.

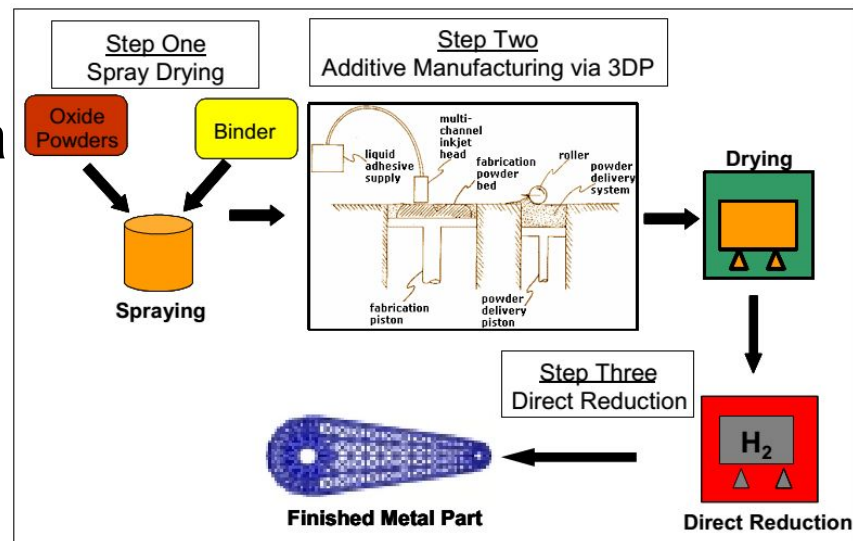


Традиционный материал:
керамика.

Полученная «зеленая»
деталь нуждается в
пропитке для
достижения
механических свойств

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- При использовании в качестве подложки металлического порошка связующим является **термически разлагаемый полимер**, выжигаемый при обработке «зеленой детали».



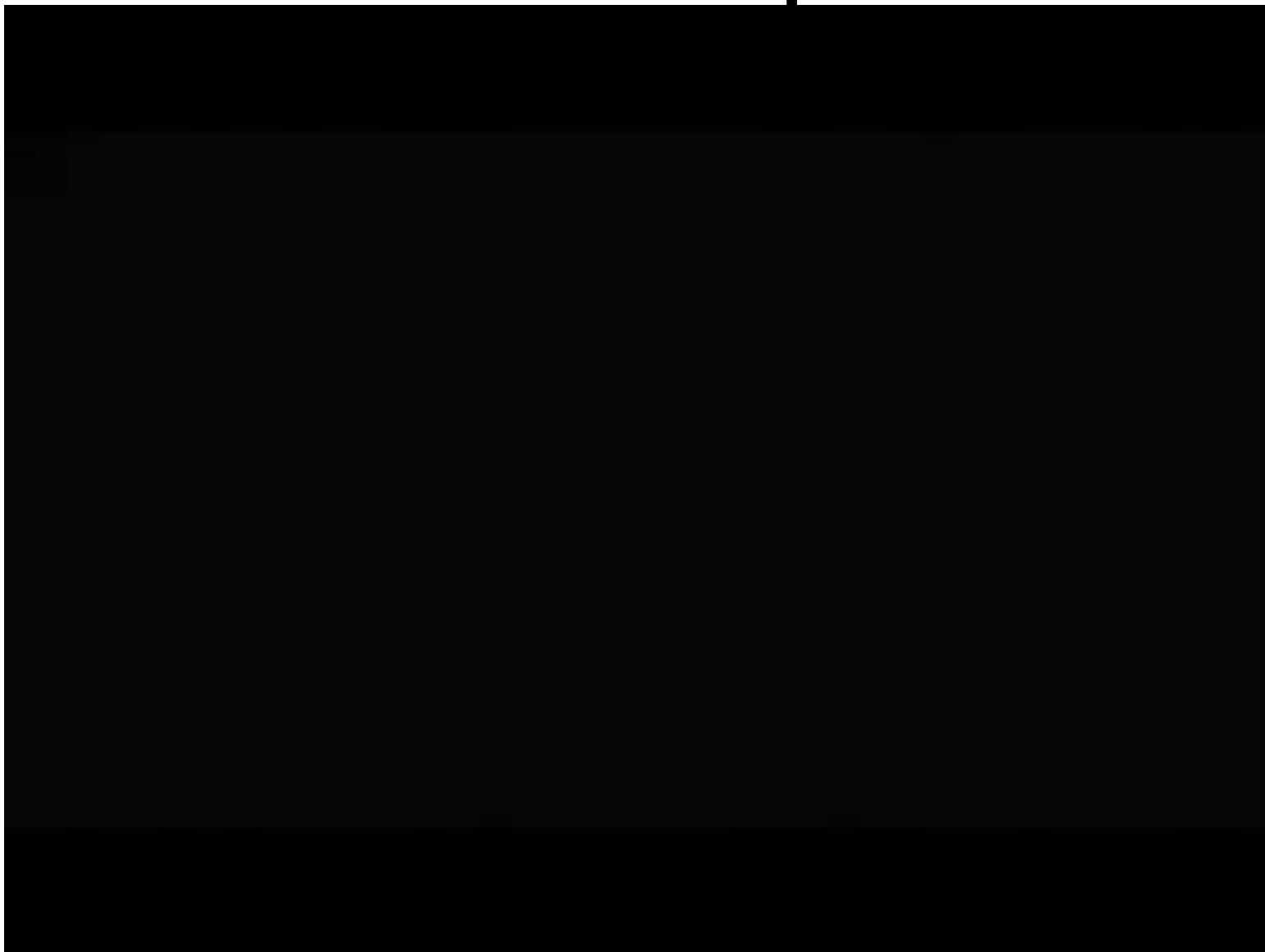
- Появляется возможность создания **металло-керамического композита** и восстановления металлической структуры из оксидного



ОСОБЕННОСТИ ПЕЧАТИ СВЯЗУЮЩЕГО

- Увеличение **скорости** по сравнению с прямой печатью.
- Возможность использования **композитных порошков** и различных включений.
- Больше возможностей печати **в цвете**.
- Ниже точность и качество поверхности детали.
- Дополнительные этапы процесса производства детали.

ТРЕХМЕРНАЯ ПЕЧАТЬ СВЯЗУЮЩЕГО



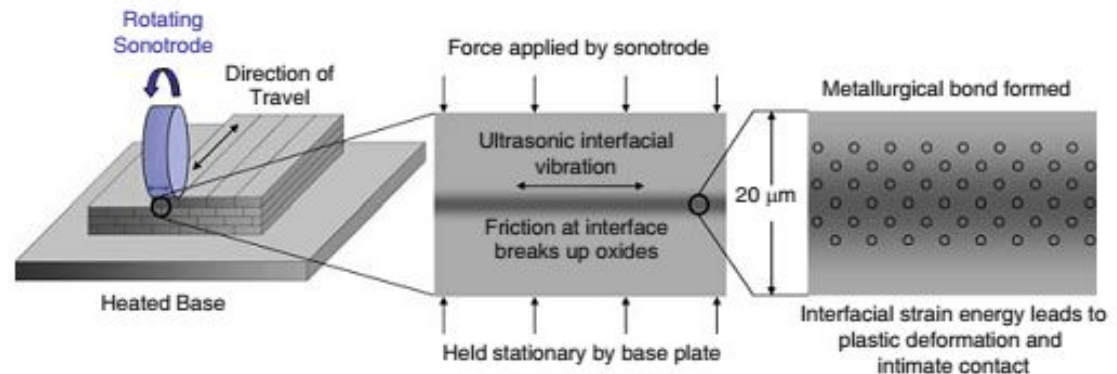
СВЯЗЫВАНИЕ ПОСЛЕ ФОРМОВАНИЯ



СОЕДИНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОМ

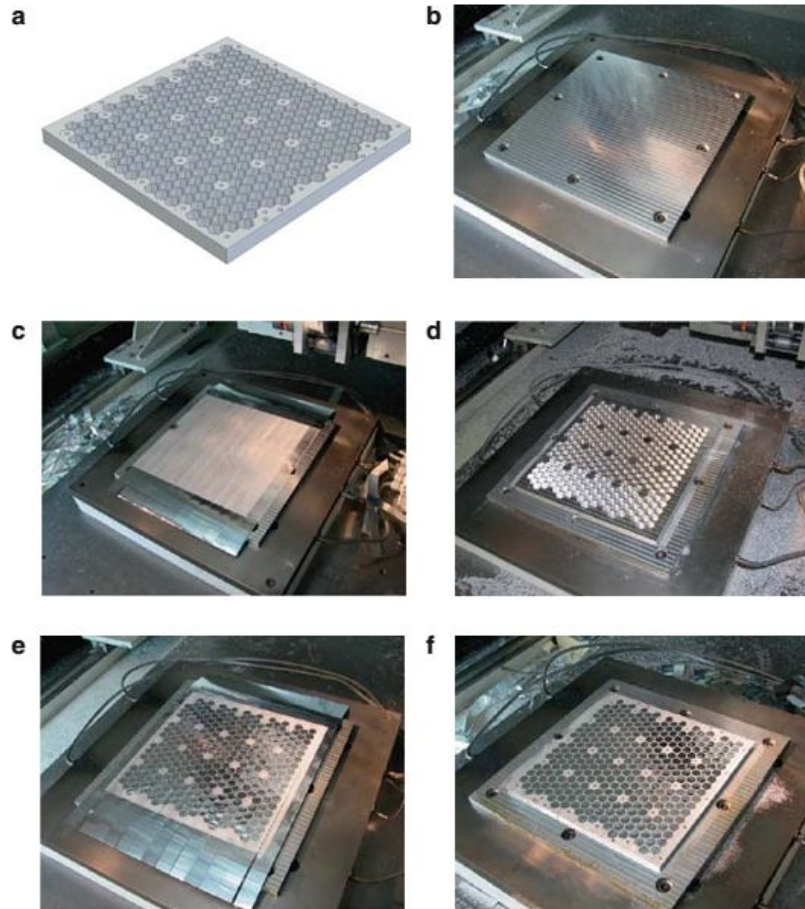
- Гибридный метод, соединяющий **ультразвуковую сварку** и фрезерование с ЧПУ.
- УЗ-волновод приваривает слой **фольги** к нагретой подложке, после чего контур слоя формируется фрезерованием.
- Таким образом, можно формировать **мультиматериальные объекты**, а также включать в структуру провода, оптоволокно, сенсоры и другие инструменты.

Толщина фольги
100-150 мкм



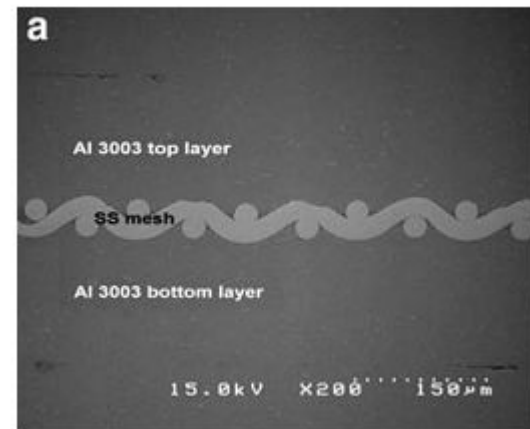
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

- a. CAD модель;
- b. Базовая плита, прикрепленная к нагревателю;
- c. Первый слой фольги;
- d. Нанесение второго слоя на контур, сформированный на первом;
- e. После ряда операций приваривания и обрезки внутренние полости закрываются;
- f. Результирующая деталь.



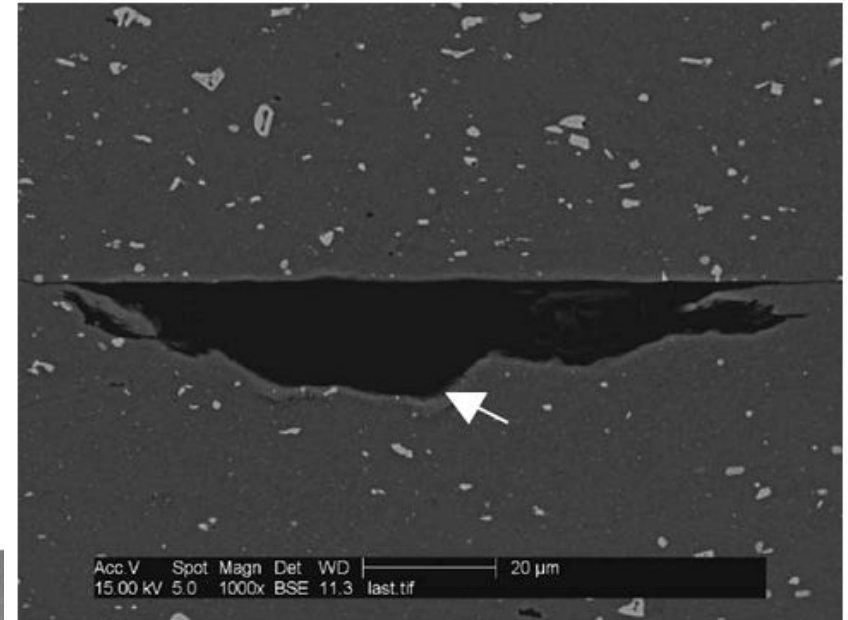
ОСНОВЫ ПРОЦЕССА УЗ-СВАРКИ

- В отличие от других способов сварки не требует высокой температуры для плавления материала;
- **Связывание** происходит за счет: механического пересечения, плавления поверхностного слоя, диффузии, атомных связей между ювенальными поверхностями.
- Требуется обеспечение плотного контакта и высокой чистоты соединяемых поверхностей.
- **Основные показатели качества:** линейная плотность сварного шва и прочность детали



МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ДЕФЕКТЫ ДЕТАЛЕЙ

- Поры между слоями из-за шероховатости или недостаточной энергии,
- Повреждения слоев,
- Стыки листов в пределах слоя.



ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА УЗ-СВАРКИ

- **Амплитуда колебаний** - определяет количество подведенной энергии,
- **Нормальная сила** – необходима для формирования устойчивых связей между слоями,
- **Скорость перемещения** – определяет время облучения,
- **Температура** – уменьшает предел пластичности материала.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЗ-СВАРКИ

Перемещение волновода по поверхности описывается

ур $\xi(t) = \xi_0 \sin(2\pi ft)$

Где ξ_0 – амплитуда колебаний; f – частота (обычно 20кГц)

Тогда ~~перемещение~~ будет описываться как $a(t) = \xi''(t) = -(2\pi f)^2 \xi_0 \sin(2\pi ft)$ Расчетная схема УЗ-сварки

Д $a = \sqrt{\frac{PR}{2\pi} \left(\frac{2(\kappa_1 + 1)(1 + \nu_1)}{E_1} + \frac{2(\kappa_2 + 1)(1 + \nu_2)}{E_2} \right)}$ Т:

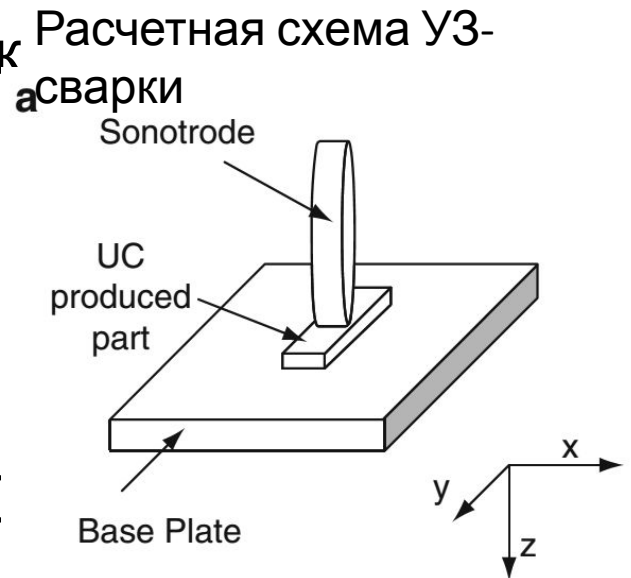
ν - коэффициент Пуассона; E – модуль Юнга

R – радиус волновода;

Ширина – w – ширина фольги



$A=2aw$ – зона
контакта



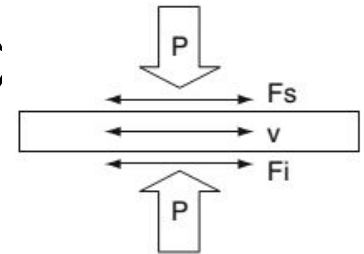
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЗ-СВАРКИ

Уравнение движения по верхней поверхности заготовки:

$$F_s(t) + F_i(t) = m a(t)$$

F_s – сила трения между волноводом и заготовкой

F_i – сила сдвига между заготовкой и подложкой.



$$F_i(t) = 2awd\rho a(t) - F_s(t)$$

Необходимая энергия одного цикла следовательно
составляет

$$E_0 = \int_0^T F_i(t) \times v(t) dt$$

T – период одного движения волновода (0,00005 с)

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

- Создание **сложных внутренних элементов** в металлических деталях.
- Производство **интеллектуальных структур**
- Управление структурой материала

