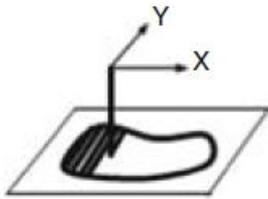


# МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ НАПЛАВЛЕНИЯ

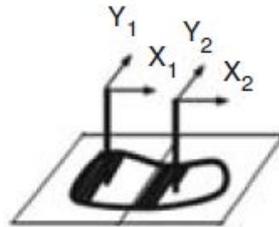
- **Направленное выдавливание** материала (FDM)
- Материал переводится в **жидкое состояние** нагреванием или химически
- Лучевое осаждение
- Материал перед наплавлением переходит в **порошковую форму** и плавится непосредственно в месте присоединения к модели.

# МЕСТО В КЛАССИФИКАЦИИ

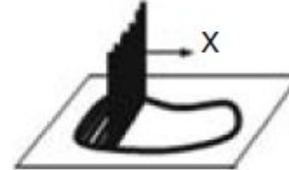
Линейный канал



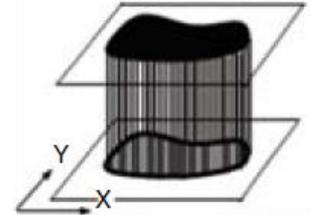
Два линейных канала



Массив линейных каналов



Двумерный (плоский) канал



Жидкий полимер

Стереолитография (SLA)

Двухлучевая стереолитография

Objet

Отверждение на твердом основании

Отдельные частицы

Избирательное лазерное спекание

LST (EOS)

Трехмерная печать связующего

DPS

Расплавленный материал

**Моделирование методом наплавления**

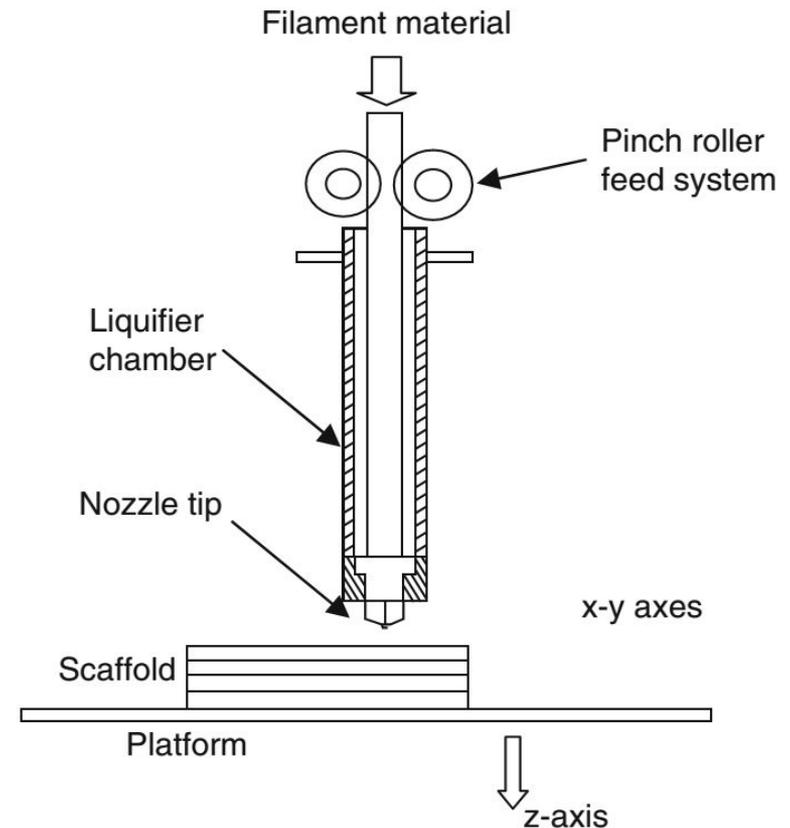
Прямая трехмерная печать

Твердые листы

Ламинирование

# ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

- Загрузка материала;
- Перевод его в жидкое состояние;
- Приложение давления;
- Экструзия через сопло;
- Нанесение вдоль заранее заданной траектории;
- Связывание материала с уже существующей твердой структурой
- Добавление поддерживающих структур для сложных



# ЭКСТРУЗИЯ

- Выбор диаметра сопла – установление компромисса между скоростью построения и точностью.
- При этом толщина стенок в модели должна быть как минимум в два раза больше диаметра используемого сопла.
- Используемый процесс отличается от традиционного отсутствием винтовой подачи.
- Скорость материала на выходе из сопла определяется как
$$U = \pi D N \sin \phi$$
- А удельный расход материала как
$$Q_D = \frac{\pi}{2} D N B H \cos \phi$$

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА

- Скорость материала на выходе из сопла определяется как

$$U = \pi D N \sin \phi$$

- А удельный расход материала как

$$Q_D = \frac{\pi}{2} D N B H \cos \phi$$

- усилие сдвига

$$\tau(x) = \frac{\Delta P}{L} \cdot x$$

$$\tau = -\eta \cdot \frac{dv_z}{dx}$$

- Таким образом, скорость потока

$$v = \frac{1}{H} \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} v_z(x) dx = \frac{\Delta P H^2}{12 \eta L}$$

Где  $D$  – диаметр сопла;

$N$  – скорость винта;

$\phi$  – угол винта;

$H$  – глубина винта;

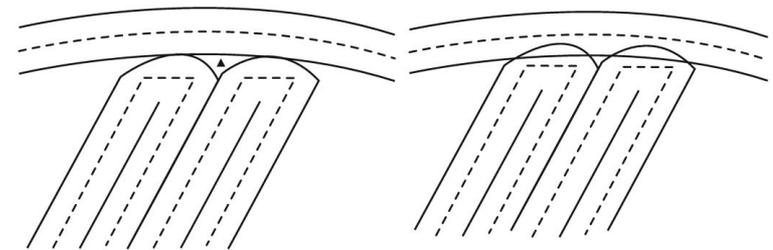
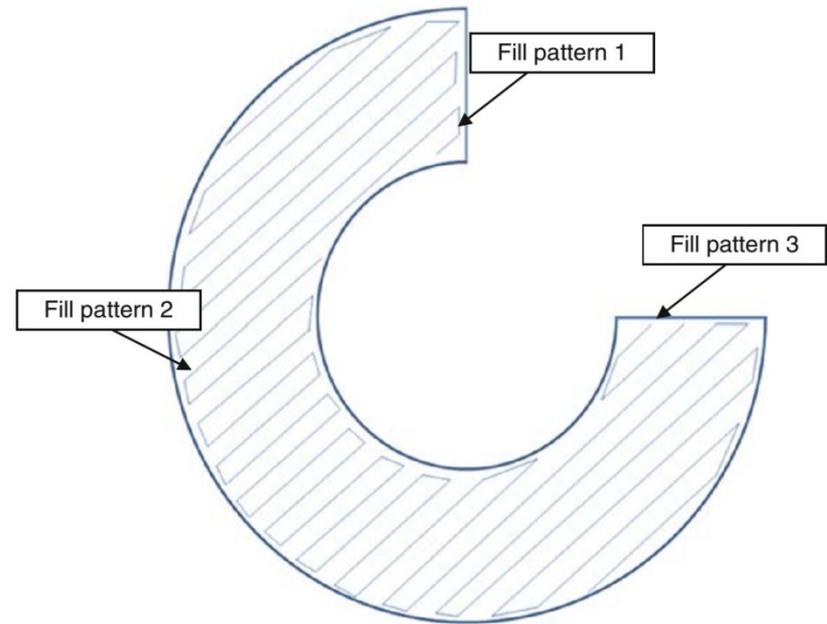
$B$  – ширина канала;

$\Delta p$  – изменение давления вдоль канала;

$\eta$  – динамическая вязкость;

# УПРАВЛЕНИЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕМ

- Масса питающей головки приводит к замедлениям при каждом изменении направления движения;
- Для обеспечения геометрической точности используется предварительное очерчивание контура.



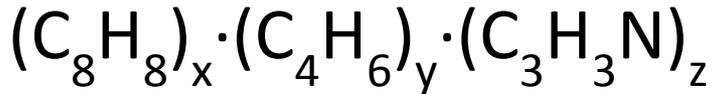
Key  
- - - - Actual tool path  
— Deposited material boundary

# ПОДДЕРЖИВАЮЩИЕ СТРУКТУРЫ

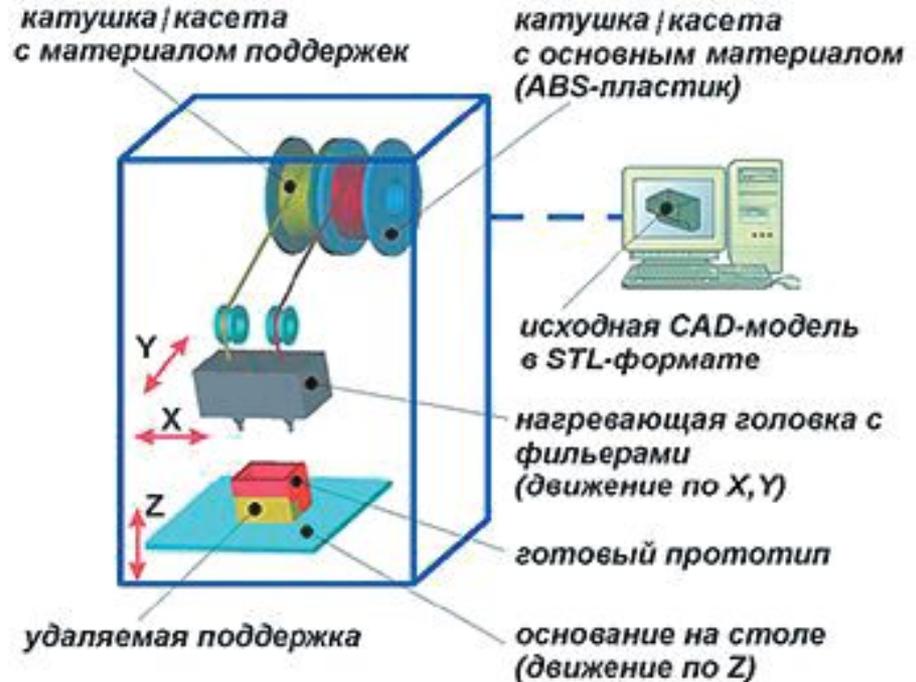
- Могут быть выполнены из материала детали или вторичного материала.
- Поддержки из материала детали позволяют реализовать максимально простую конструкцию, но требуют предельной аккуратности при отделении.
- Поддержки из вторичного материала проще в обращении, но предполагают наличие в конструкции более одного экструдера.

# НАПЛАВЛЕНИЕ ABS-ПЛАСТИКА

Акрилонитрилбутадиенстирол

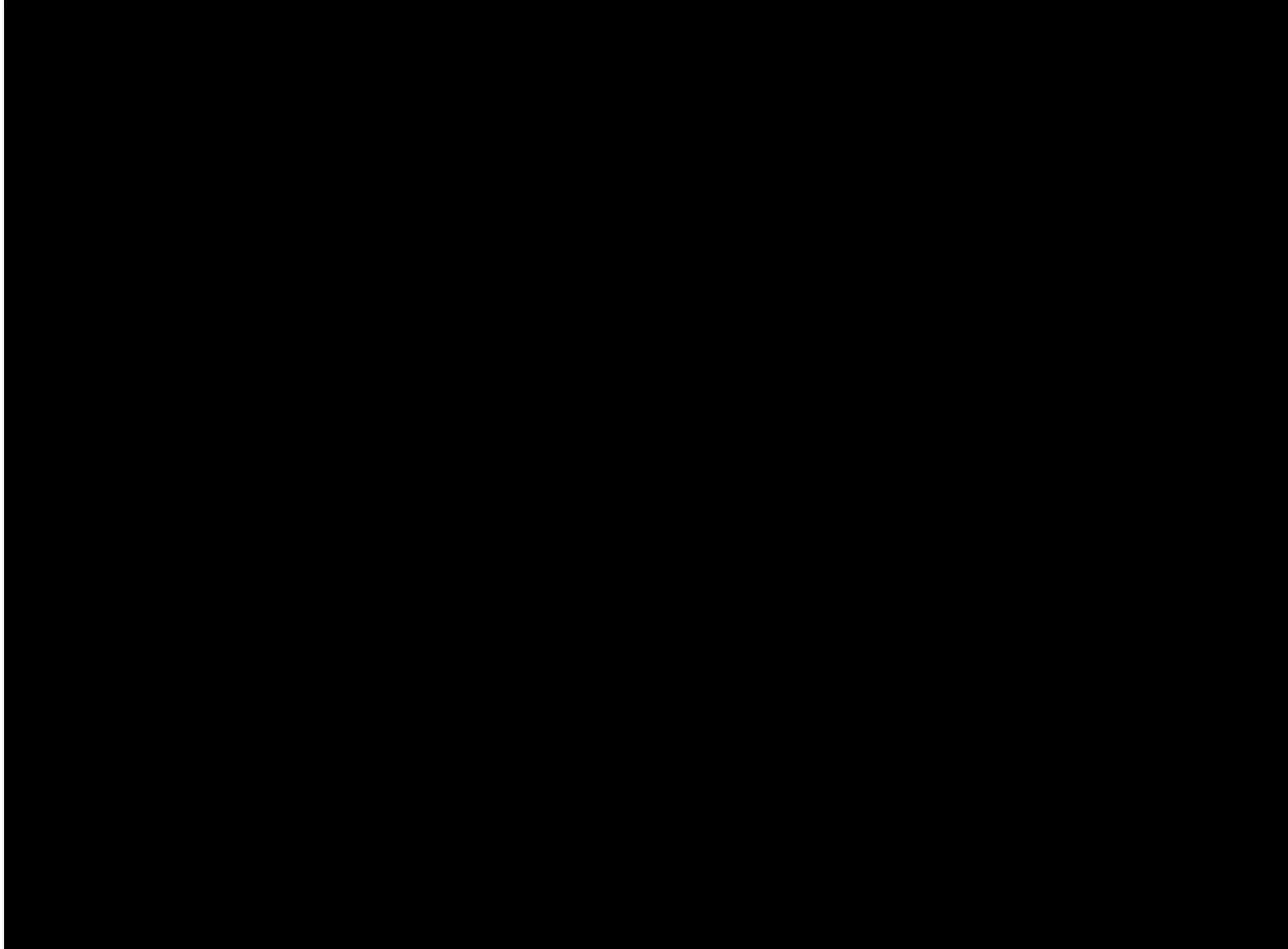


Загружается в установку в катушках, после чего нагревается, проходя через сопло, и подается в зону ПС



Примерная толщина слоя от 0,078 мм

# МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ НАПЛАВЛЕНИЯ



# ОГРАНИЧЕНИЯ МЕТОДА

- Невозможно создание острых углов в модели (ограничено радиусом сопла);
- Скорость построения ограничивается скоростью течения материала;
- Следует учитывать анизотропию создаваемого материала при проектировании.

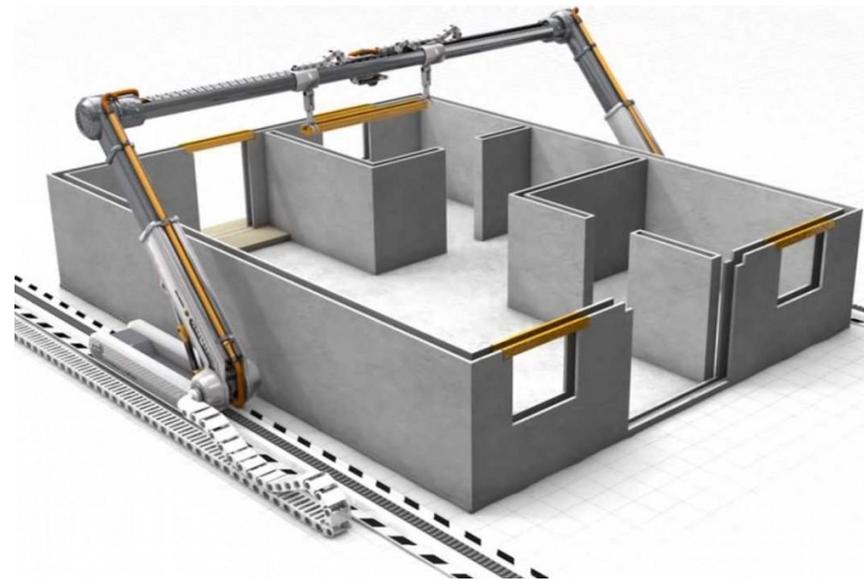
# СОВРЕМЕННЫЕ БЫТОВЫЕ 3D ПРИНТЕРЫ

- Появились в связи с низкой стоимостью материалов и комплектующих;
- Могут поставляться в разобранном виде;
- Используют ABS или PLA пластик;
- Имеют близкие к промышленным разрешения по осям, но меньшие габариты рабочей зоны.



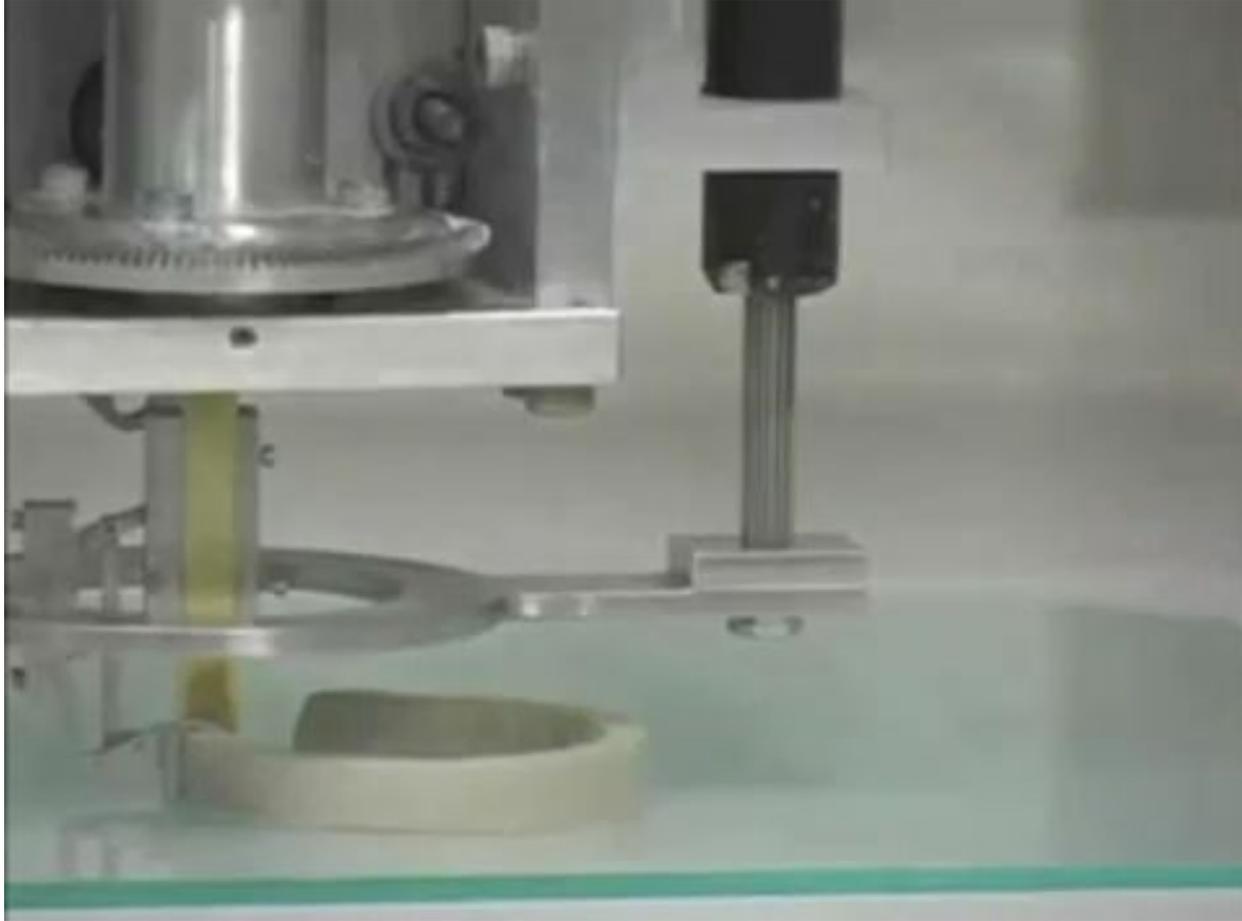
# КОНТУРНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

- Позволяет в автоматизированном режиме возводить несущие и ограничивающие конструкции.
- В качестве материала – специальный бетон, армированный металлической или полимерной микрофиброй.



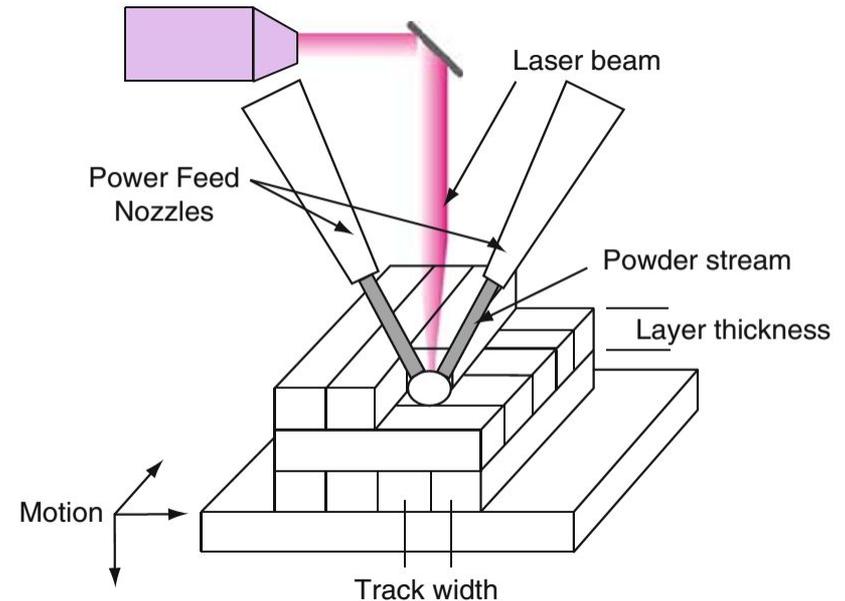
Пригодна для простых архитектурных форм с закрытой планировкой, т.к. не позволяет выполнять построение поддерживающих структур.

# ПОСТРОЕНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ



# ЛУЧЕВОЕ НАПЫЛЕНИЕ

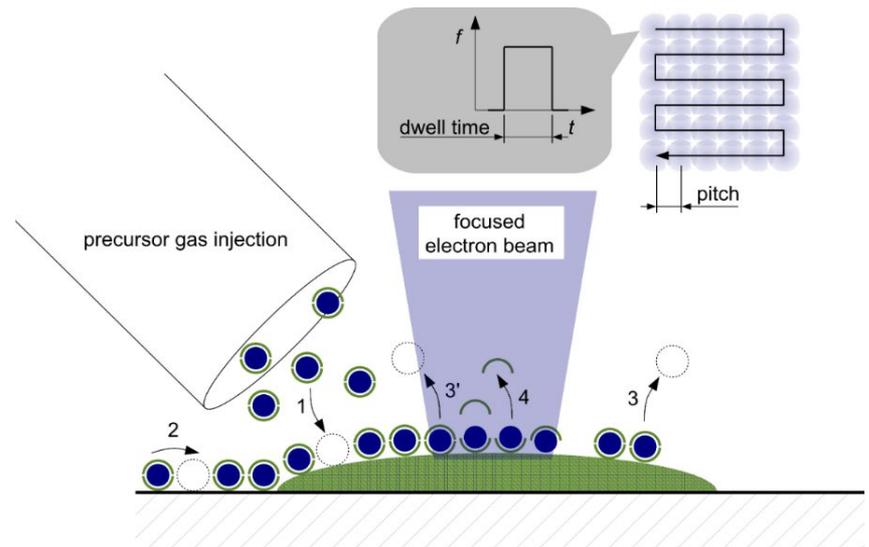
- Основано на подаче порошка или проволоки в заданную точку и локальном расплавлении подложки.
- Материал (чаще всего металлический порошок) подводится в место наплавления одновременно с энергией (лазером, потоком электронов или плазменной дугой).



Требуется использовать материал поддержки или многоосевое управление.

# ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА

- Подсистема осаждения включает сопло подачи порошка, оптическую систему, трубку с инертным газом и датчики.
- В качестве подложки может быть плоская пластина или дорабатываемая деталь.
- Их взаимное перемещение управляется по 3-5 осям.
- Высокая скорость подачи порошка позволяет выполнять его подвод по невертикальным направлениям.

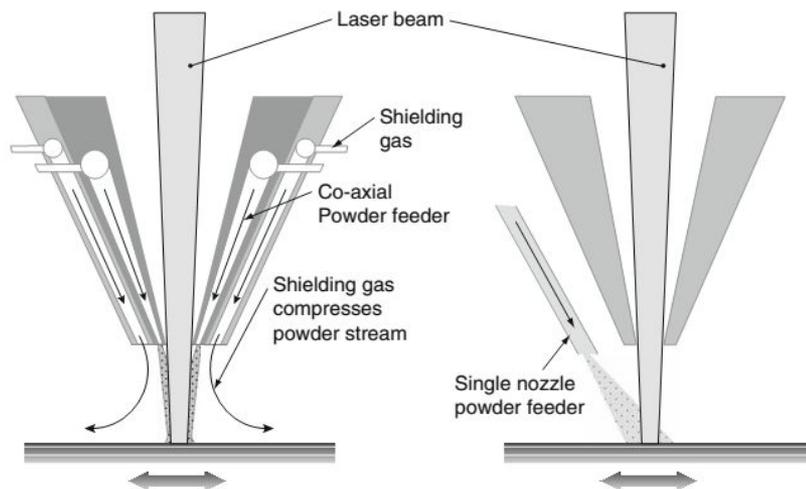


# СИСТЕМЫ ПОДАЧИ МАТЕРИАЛА

- Порошковая

При распылении порошка он оказывается частично не связанным и может быть использован повторно, но это снижает

УПЛОТНЕННОСТИ

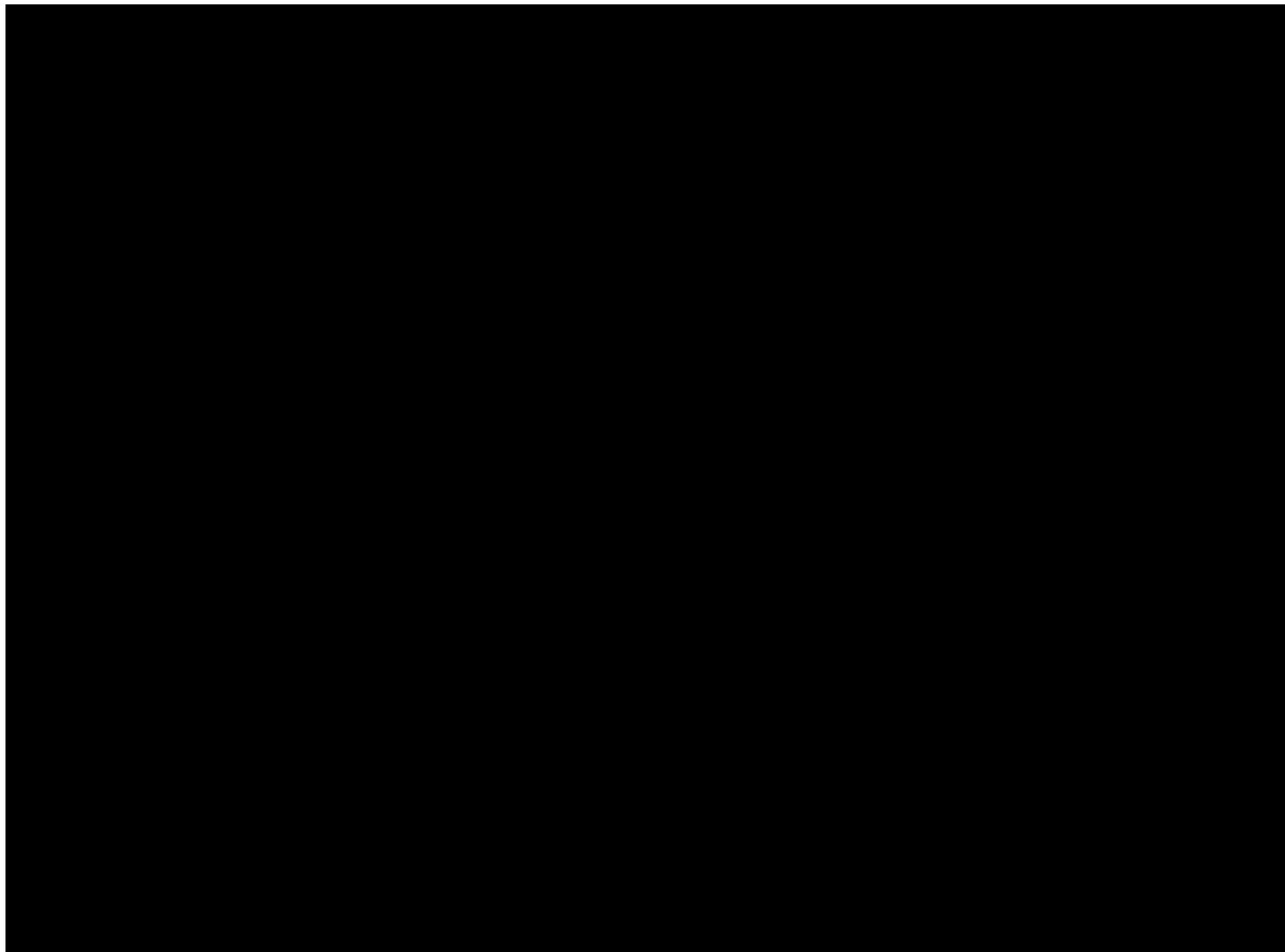


- Проволочная

Обеспечивает 100% эффективность подачи для построения простых форм или объектов, допускающих пористость.

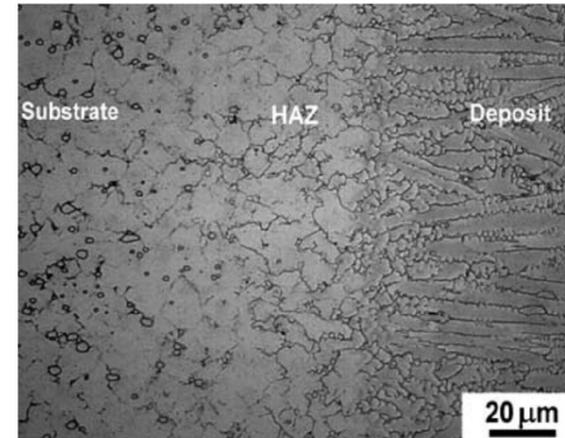
Требует периодического использования процессов удаления материала.

# НАПЛАВЛЕНИЕ Ti-ПОРОШКА



# МАТЕРИАЛЫ И МИКРОСТРУКТУРА

- Чаще всего для напыления используются металлы с хорошей свариваемостью.
- Добавление в зону плавления материала отличного от основного материала детали позволяет создавать различные сплавы.
- Соединение разнородных не сочетаемых материалов приводит к образованию трещин в структуре детали под действием остаточных напряжений.



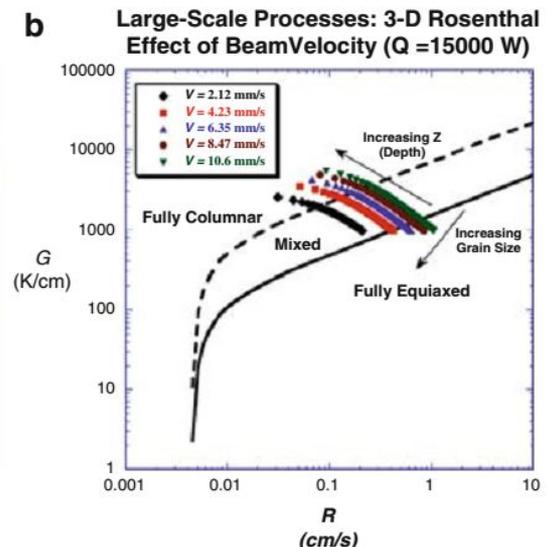
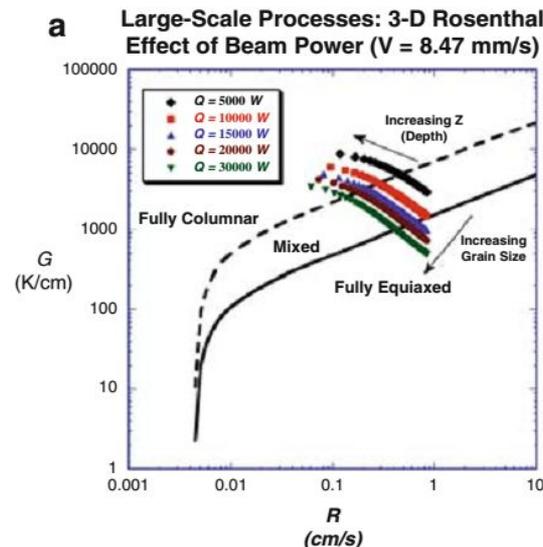
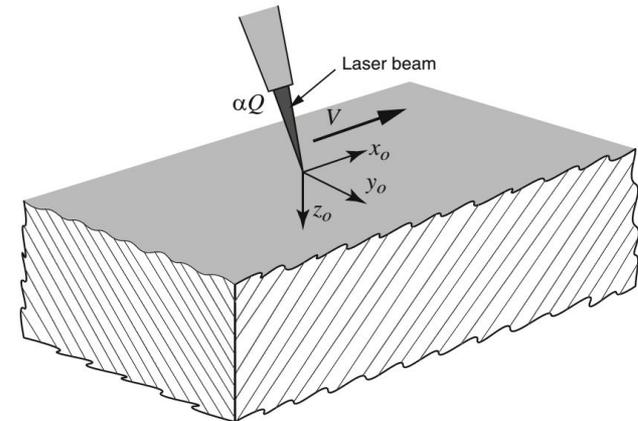
Размер частиц 20-150  
МКМ

# ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА

- Значения параметров доступны для корректирования пользователем в зависимости от материалов и задач.
- Параметры относятся к категориям, описывающим систему подачи порошка, лазер и механические приводы по осям.
- Шаблон сканирования также играет важную роль в формировании качества детали.
- Необходимо изменять направление сканирования при переходе от слоя к слою, чтобы минимизировать остаточные напряжения в формируемой детали.

# СВЯЗЬ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ И СВОЙСТВАМИ

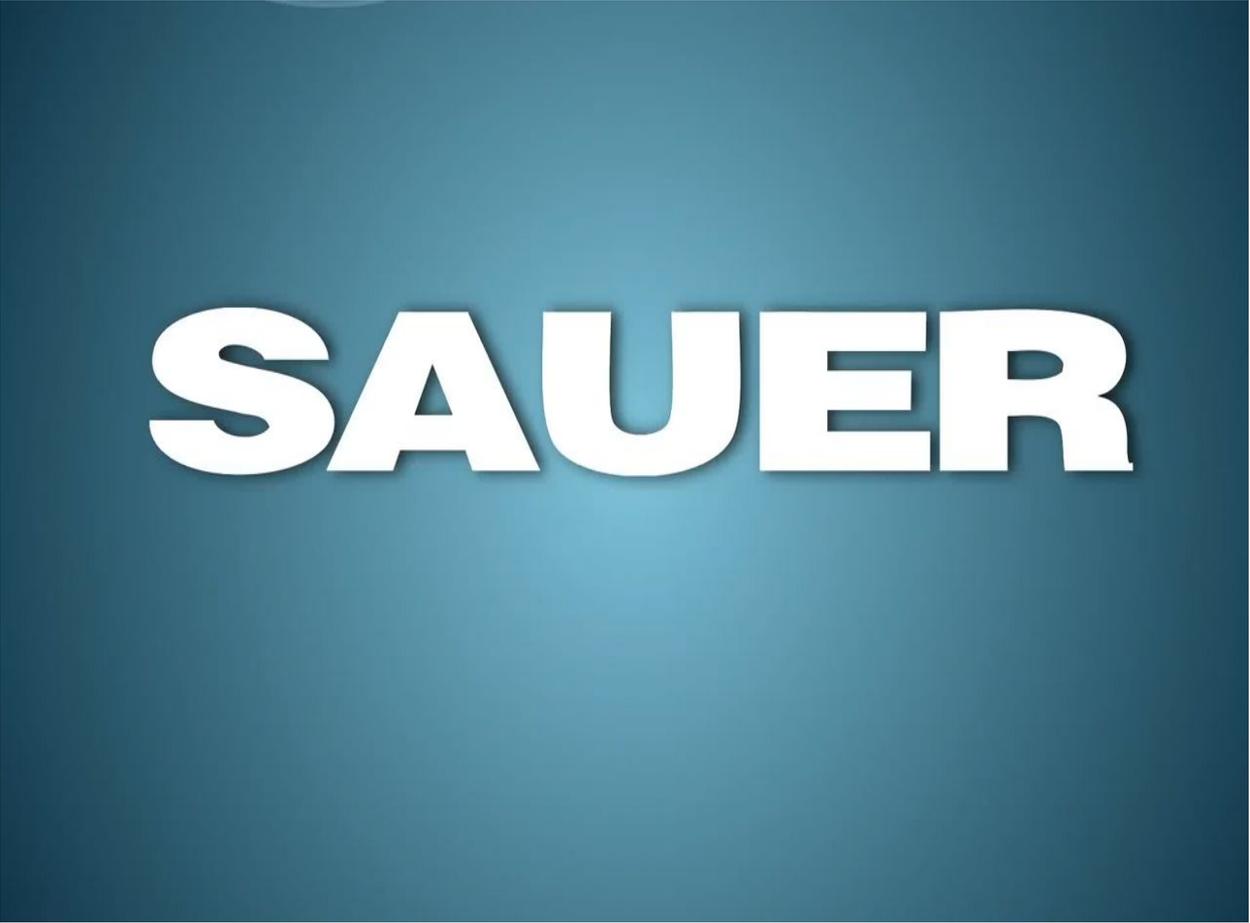
- Структура создаваемой детали зависит от скорости отвердевания и температурных градиентов в зоне наплавления, и может быть предсказана на основе экспериментальных составленных карт



# ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

- Высокая плотность и широкие возможности управления структурой;
- Низкое разрешение (от 0,25 мм) и качество поверхности (от 25 мкм);
- Низкая скорость построения (25-40 г/ч.)
- Возможность направленного и нелинейного отверждения;
- Используется для восстановления сложной геометрии;
- Нанесение покрытий;
- Многоосевое управление подачей материала;

# АДДИТИВНО- СУБСТРАКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ

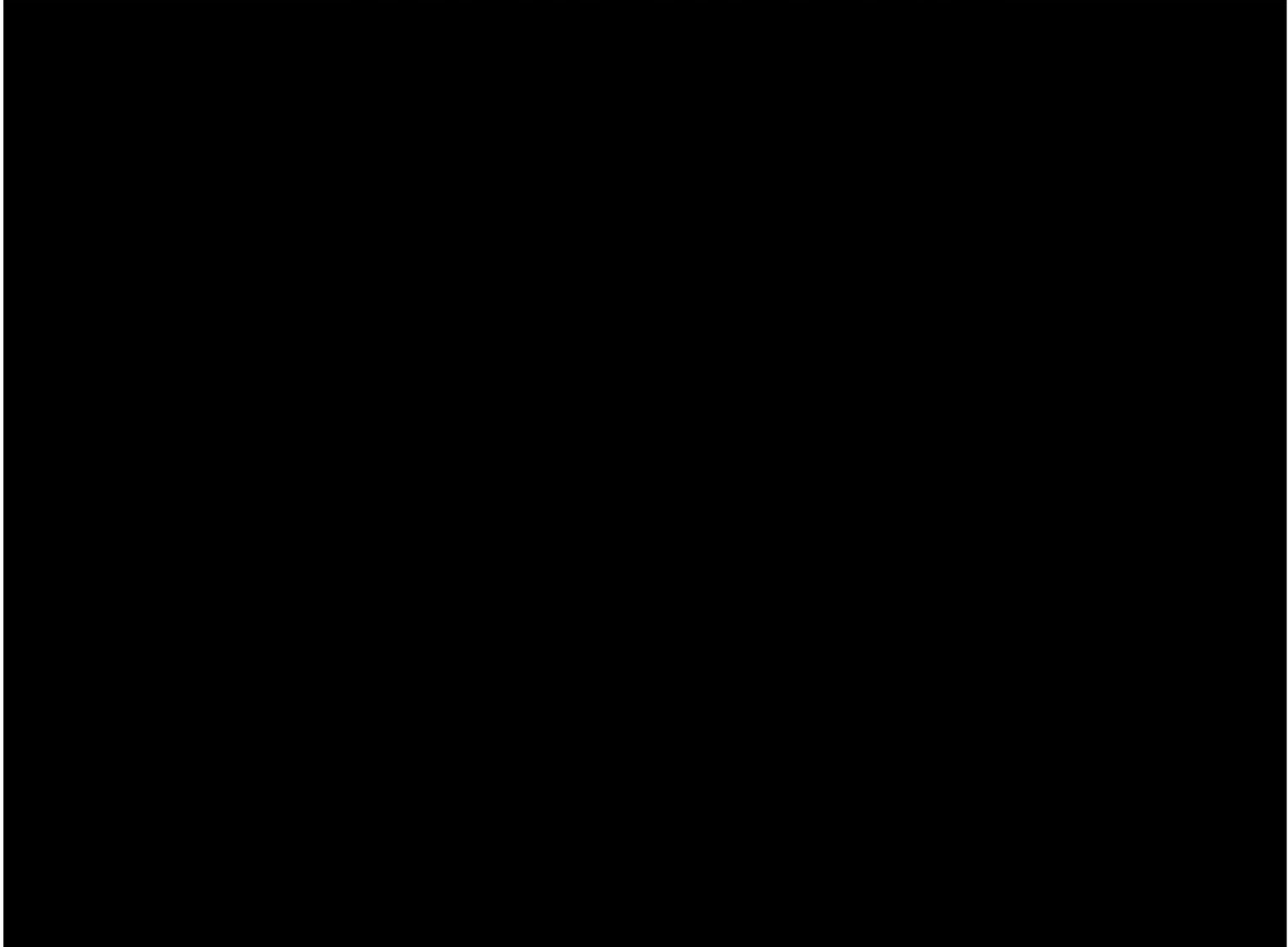
The logo for SAUER, featuring the word "SAUER" in a bold, white, sans-serif font with a slight shadow effect, centered on a dark blue rectangular background.

**SAUER**

# МНОГООСЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ

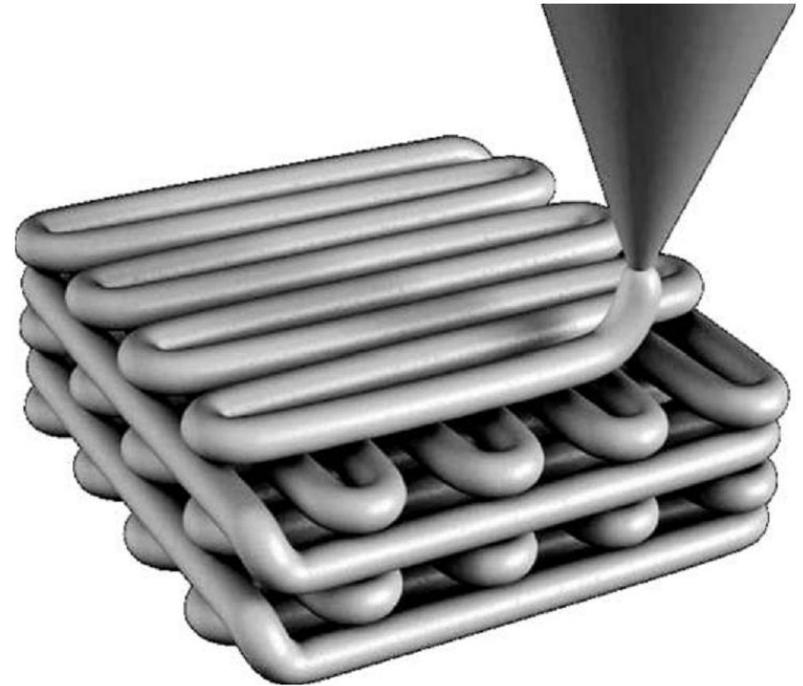
- В отличие от традиционного подхода с плоскими слоями позволяют реализовать плавные криволинейные формы.
- Представители:
- Поверхностное осаждение
- Криволинейное ламинирование

# МНОГООСЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ



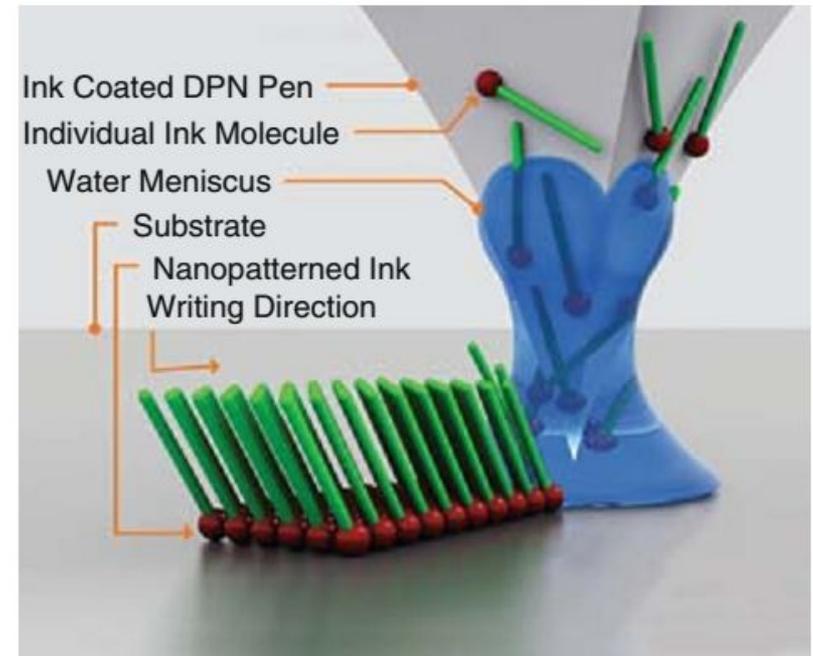
# ВЫДАВЛИВАНИЕ МАТЕРИАЛА

- Предусматривает осаждение жидкого или расплавленного материала через сопло.
- Может включать систему предварительного сканирования подложки для ориентации сопла по нормали к ней
- Обычно имеет полноценное 3х осевое управление.



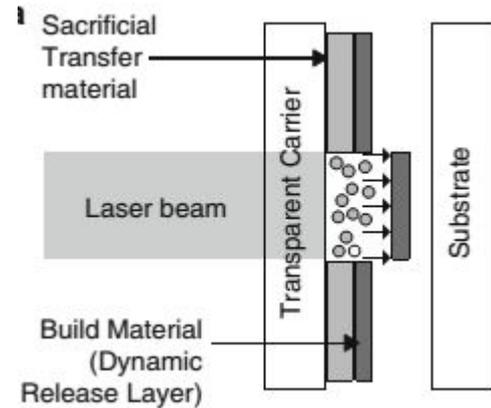
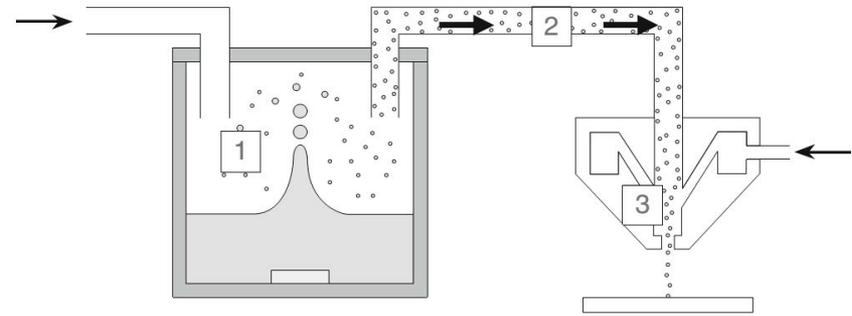
# ПЕРООБРАЗНЫЕ УСТРОЙСТВА

- Работает на принципе обмакивания пера в чернила и переноса их на подложку.
- Используется для нано-масштабных объектов (разрешение 5нм);
- Основной материал формируемой детали находится во взвешенном состоянии в жидкости.



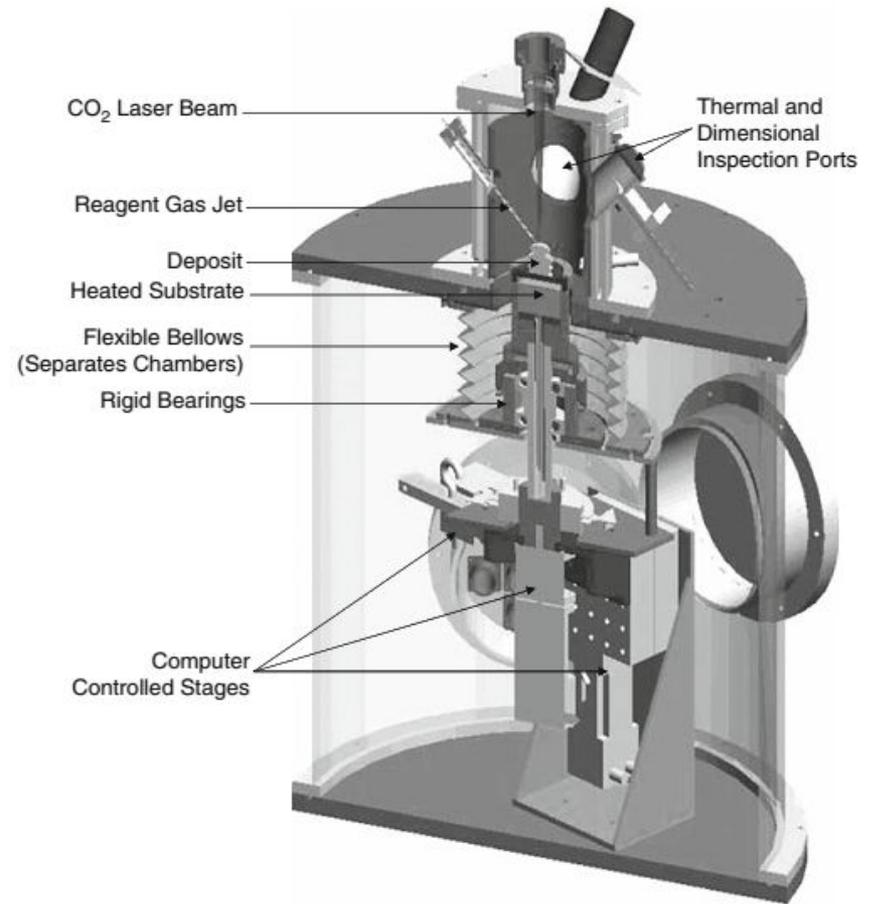
# АЭРОЗОЛЬНОЕ НАПЫЛЕНИЕ И СПРЕИ

- Процесс последовательного перевода жидкости во взвешенное состояние и ее осаждения в потоке несущего газа;
- Вещество также может переноситься высокоэнергетическим тепловым потоком или лазером;



# ХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ИЗ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ

- Изначально использовалась для нанесения покрытий;
- Газы различных составов могут подаваться последовательно или смешиваться;
- Позволяет осаждать уникальные керамические материалы;
- Характеризуется невысокой скоростью процесса и относительно высокой сложностью и стоимостью;



# ПРИМЕНЕНИЕ

Чаще всего

используется для  
создания :

- встроённых датчиков;
- Фрактальных антенн;
- Инструментов свободной формы;

