

№ лекции	Темы лекционных занятий
1	Методы и технологии конструирования изделий.
2	Основы геометрического моделирования деталей.
3	Поверхностное моделирование объектов.
4	Твёрдотельное моделирование объектов.
5	Моделирование объёмных сборок.
6	Инженерный анализ методом конечных элементов.
7	Методы и технологии прототипирования
8	Операционные технологические процессы для обработки на станке с ЧПУ.
9	Особенности 5-координатной обработки.

# **Методы и технологии прототипирования**

- Понятие и функции прототипа*
- Практическое применение прототипов,*
- Методика построения физической модели (прототипа).*
- Изготовление моделей с помощью LOM-, SLA-, SGC-селективного спекания порошковых материалов, MJM-технологии.*

# СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА



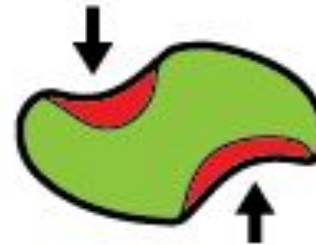
Subtract

Субтрактивный



Add

Аддитивный

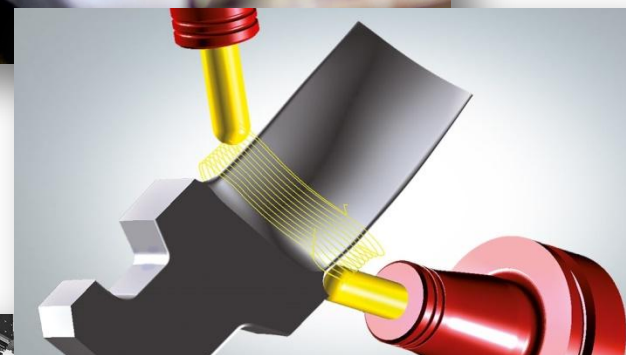
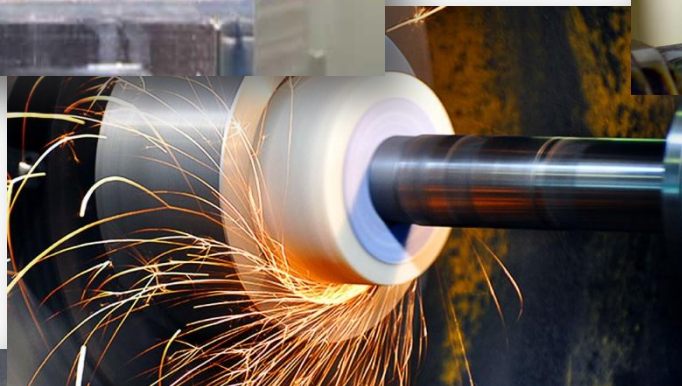
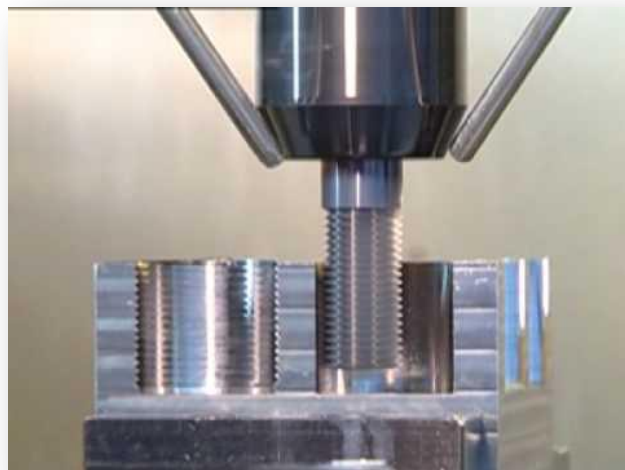


Form

Формирующий

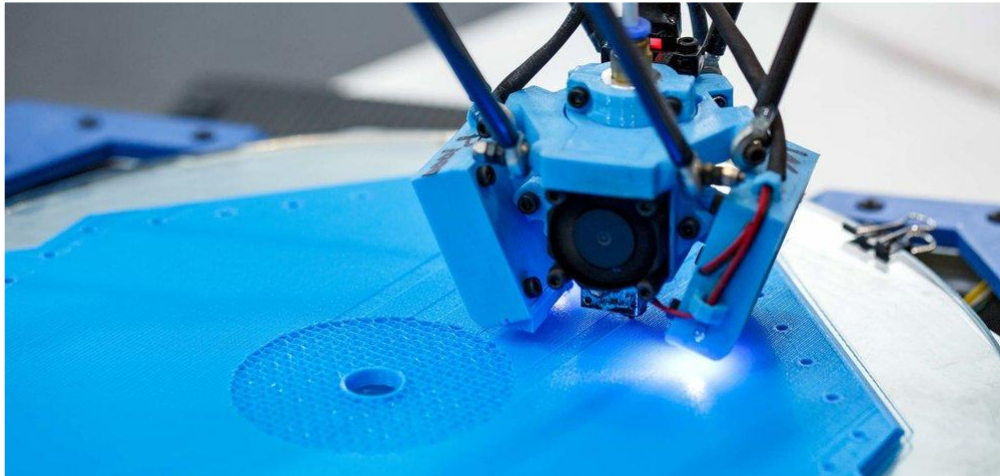
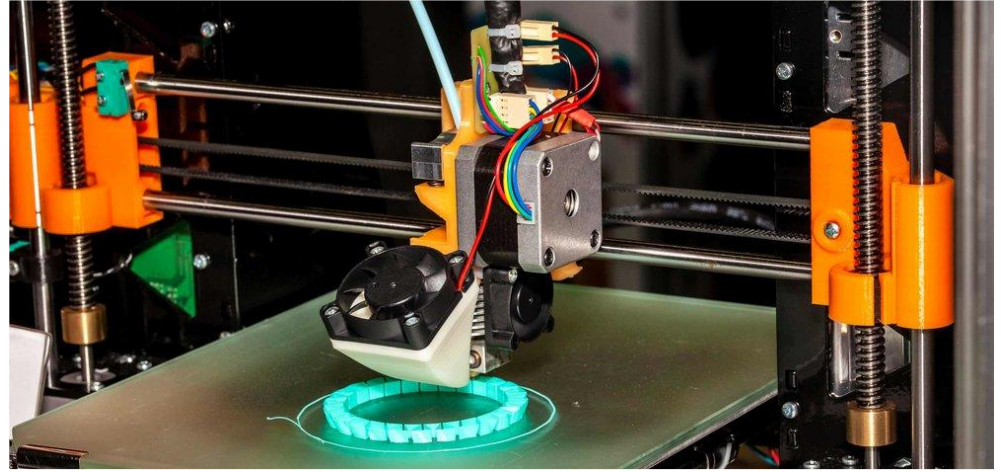
- **Субтрактивный** — удаление материала.
- **Аддитивный** — добавление и наращивание материала.
- **Формирующий** — без изменения объёма материала.

# Субтрактивное производство

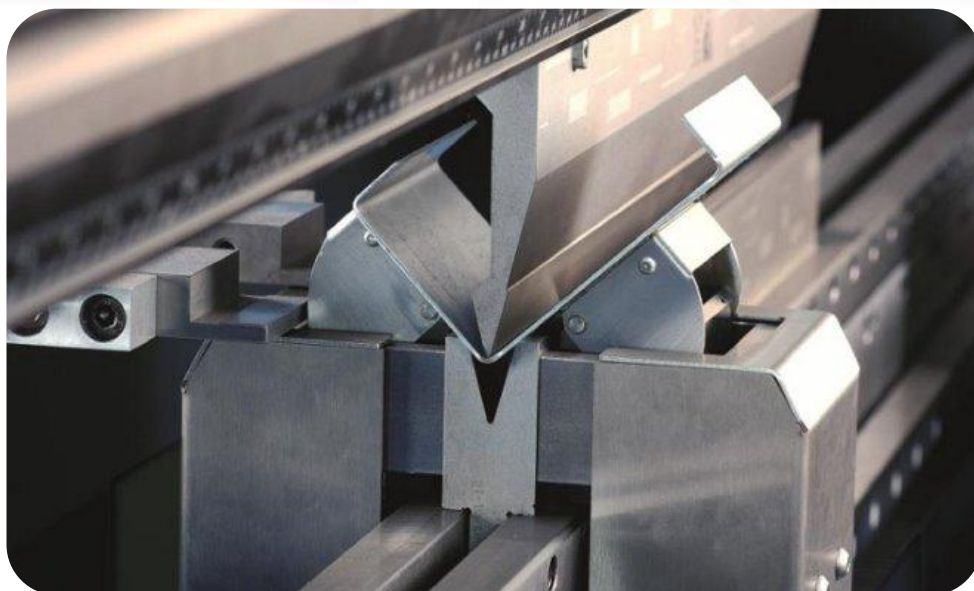
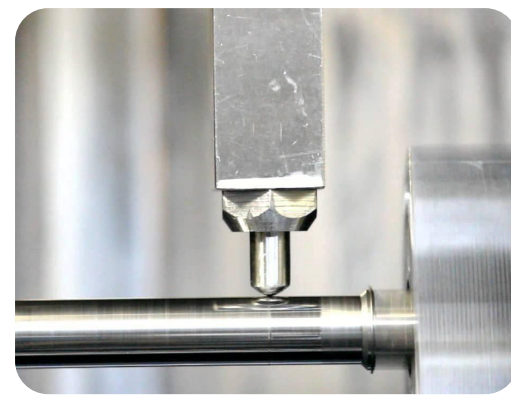
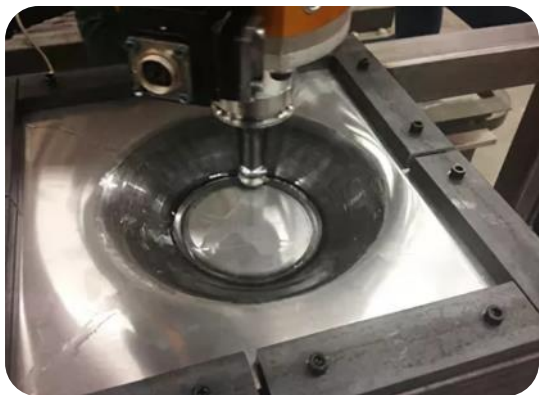




# Аддитивное производство

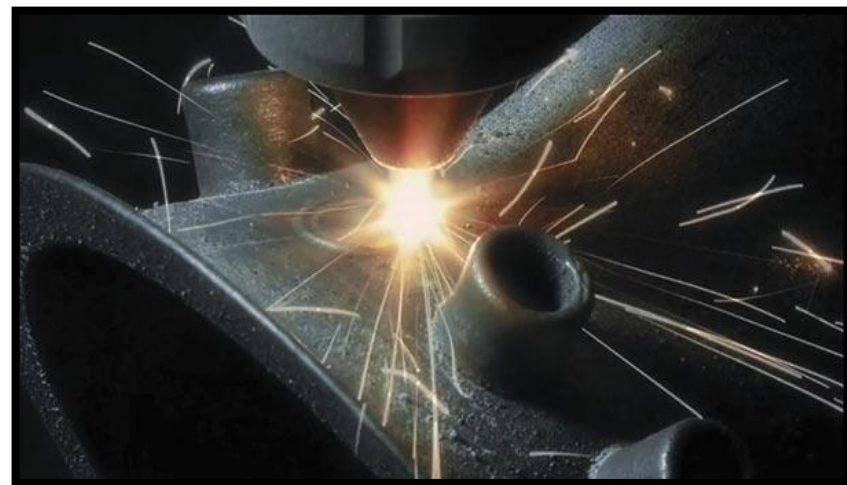
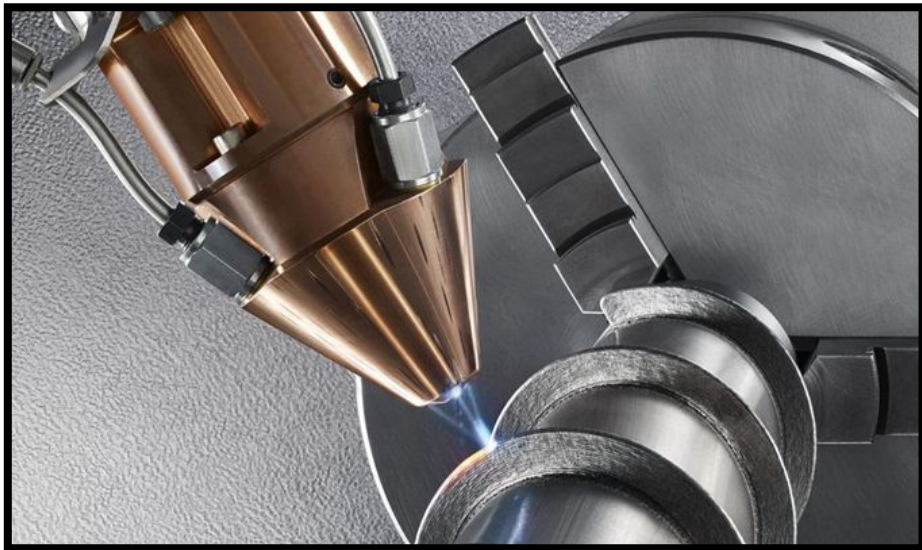


# Формирующее производство





# Гибридное производство

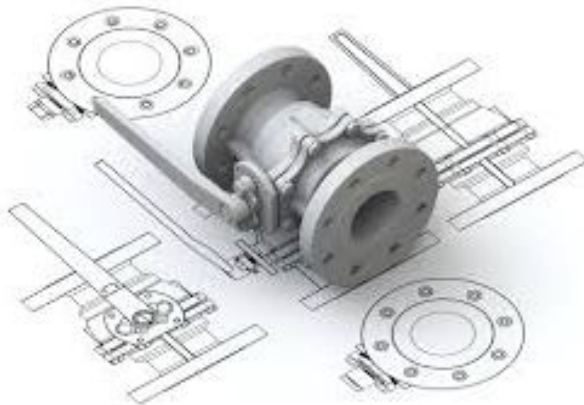


# 7 Моделирование процессов формообразования деталей

## 7.1 Технологии быстрого прототипирования

**Прототип** — первый опытный (единичный) экземпляр, задача которого — быстро и достоверно ответить на принципиально важные для конструктора вопросы:

- соответствует ли реальный дизайн детали (изделия) задуманному;
- правильно ли определены взаимосвязи с окружающими деталями;
- выполняет ли деталь те функции, которые возложил на неё конструктор, и, если выполняет, то как, а если нет, то почему;
- соответствует ли конструкция детали технологическим возможностям серийного производства и т.д.





## 7.1.1 Практическое применение прототипов

### Визуализация

Технологии быстрого получения прототипов изделий предоставляет инженерам и дизайнерам свободу творчества при создании дешевых трехмерных моделей.



## 7.1.1 Практическое применение прототипов

### Форма, сборка и функциональность изделий

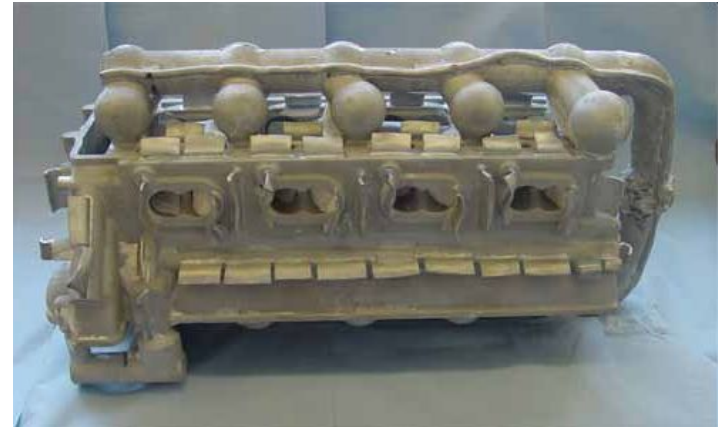
Прототипы, построенные по технологиям, обеспечивающим достаточную прочность моделей, удобны в прикладных задачах, требующих оценки формы деталей и проверки сборки изделий, так как все изменения можно внести в CAD чертежи до начала производства.



## 7.1.1 Практическое применение прототипов

### Литье по выжигаемым моделям

Прототипы могут выступать в качестве разовых моделей для точного литья, если они изготовлены из материалов, выгорающих под действием высоких температур. Так как такие объекты не расширяются и не трескаются при обжиге, возможно использование традиционных методов литья, при которых модели выгорают при заполнении формы расплавленным металлом.

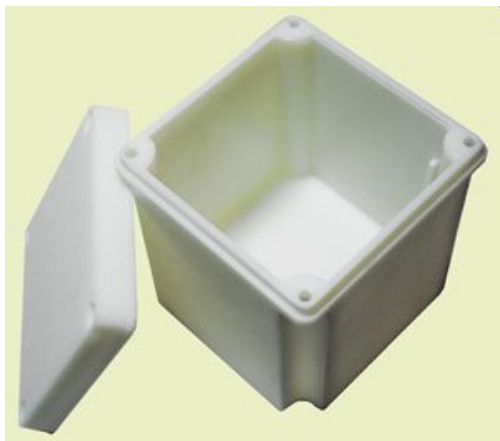
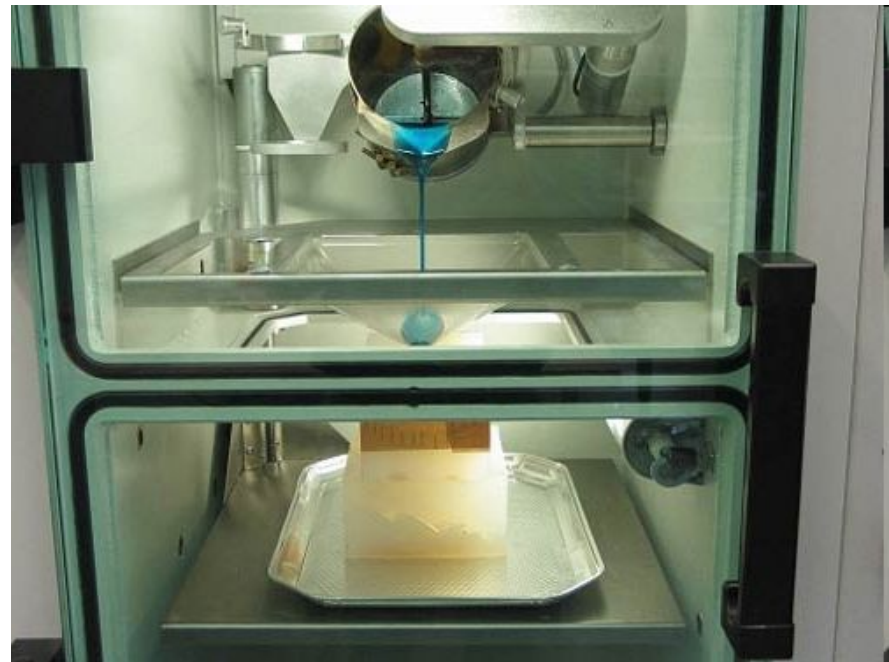




## 7.1.1 Практическое применение прототипов

### Вакуумное литье пластмасс

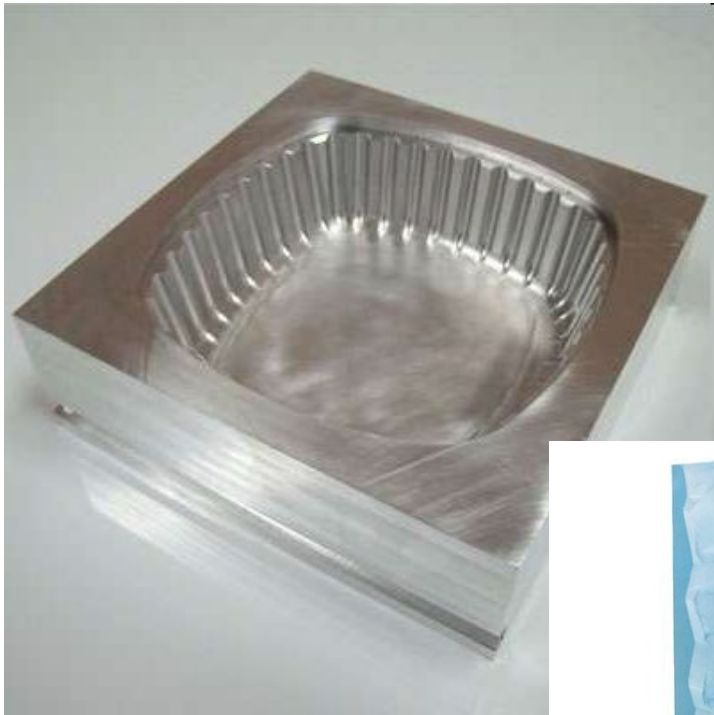
Прочность и жесткость прототипов делает их удобными для вакуумного литья тонких пластмассовых компаундов при малых и средних объёмах производства. Прочность моделей позволяет им выдерживать высокие напряжения.



## 7.1.1 Практическое применение прототипов

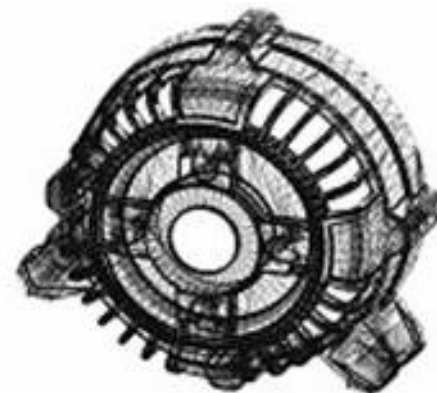
### Изготовления пресс-форм

Прототипы, имеющие достаточную прочность, используется для быстрого изготовления пресс-форм для литья по выплавляемым моделям из парафиново-стеариновых составов при малых и средних объемах производства. Для улучшения качества отливок и увеличения ресурса пресс-форм, на рабочие поверхности можно нанести металлическое покрытие.



## 7.1.2 Методика построения физической модели (прототипа)

1. Создание 3-х мерной геометрической модели объекта.
2. Считывание трёхмерной геометрии из 3D CAD-систем в формате STL (обычно твёрдотельные модели, или модели с замкнутыми поверхностными контурами). Примечание: Все CAD-системы твёрдотельного моделирования могут выдавать файлы STL.
3. Разбиение трёхмерной модели на поперечные сечения (слои) с помощью специальной программы, поставляемой с оборудованием или используемой как приложение.
4. Построение сечений детали слой за слоем снизу вверх, до тех пор, пока не будет получен физический прототип модели. Слои располагаются снизу вверх, один над другим, физически связываются между собой. Построение прототипа продолжается до тех пор, пока поступают данные о сечениях CAD-модели.



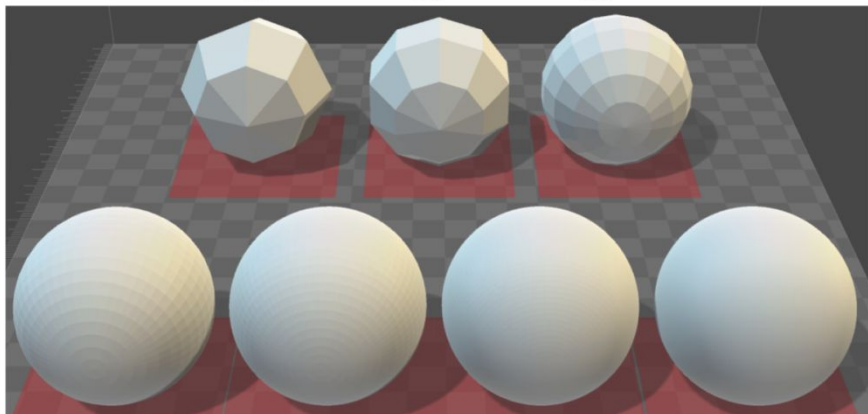


# Методика построения физической модели (прототипа)

## Параметры экспорта в формат стереолитографии STL

### Угловое отклонение

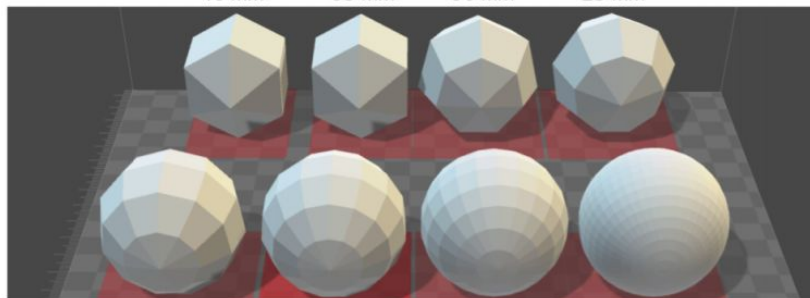
45° 35° 20°



7,2° 5° 2° 1°

### Длина ребра

40 мм 35 мм 30 мм 25 мм



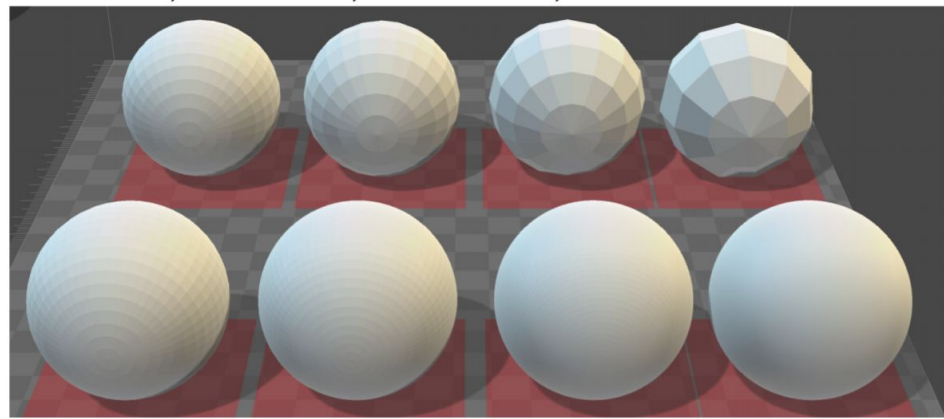
20 мм 15 мм 10 мм 5 мм



2,372 мм 1 мм 0,75 мм 0,5 мм

### Линейное отклонение

0,1 мм 0,25 мм 0,5 мм 1 мм



0.05 мм 0.025 мм 0.01 мм 0.001 мм

### Модель шара диаметром 50 мм

#### Максимальная длина ребра, мм

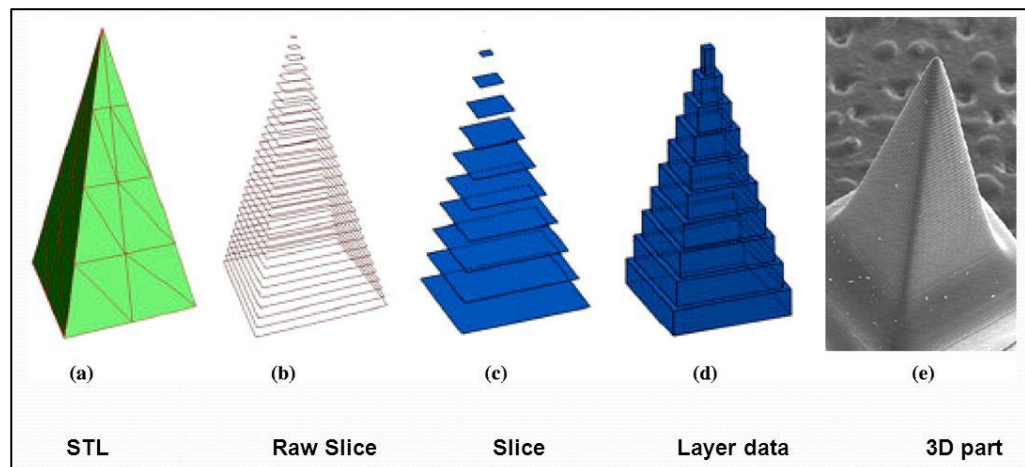
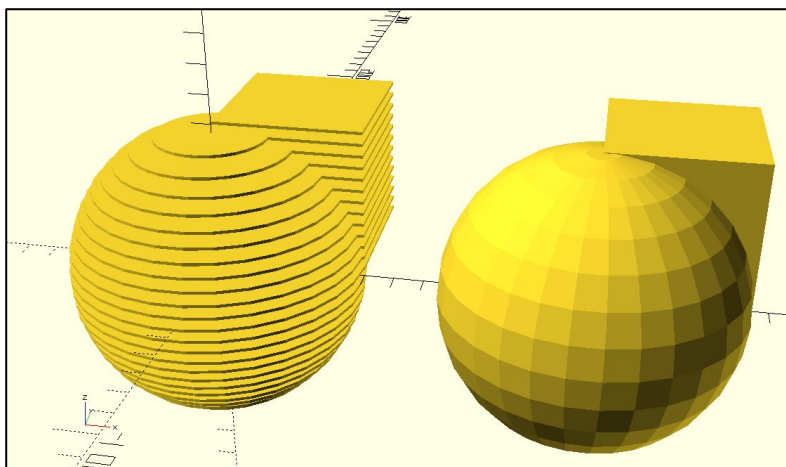
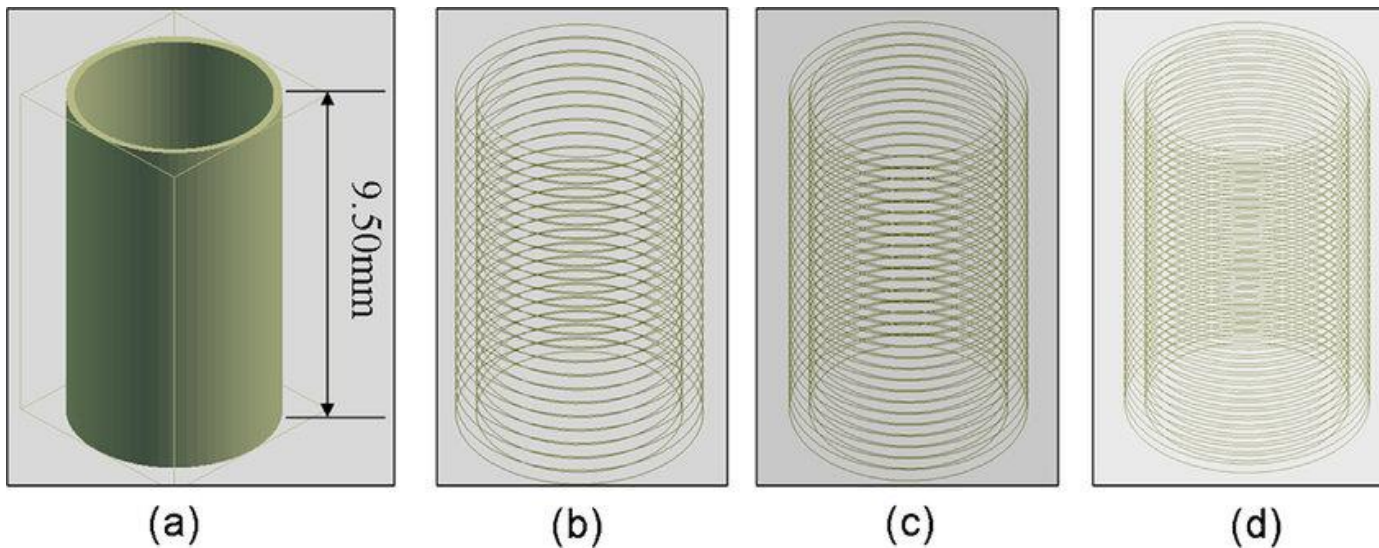
0.1  
0.5  
0.75  
1  
5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40

#### Размер файла, кб

1387963  
55442  
24640  
13859  
545  
136  
59  
38  
21  
16  
11  
11

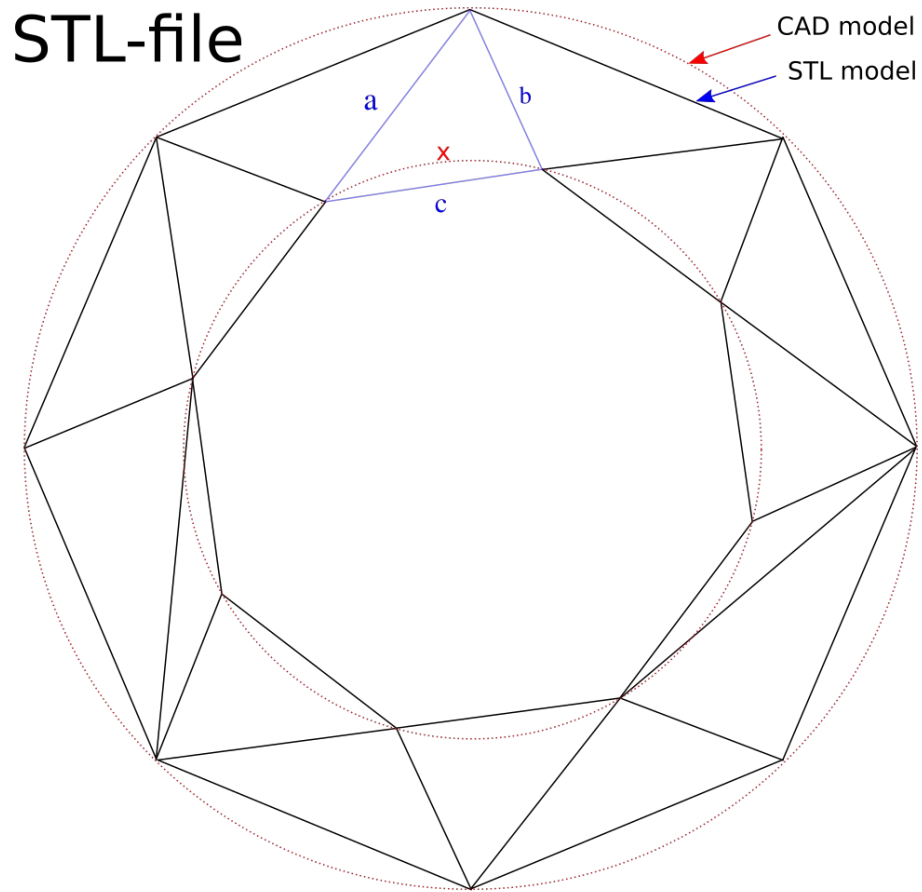
# Методика построения физической модели (прототипа)

Разбиение трёхмерной модели на поперечные сечения (Slicing)



# Методика построения физической модели (прототипа)

## Формат стереолитографии STL (STereoLithography)

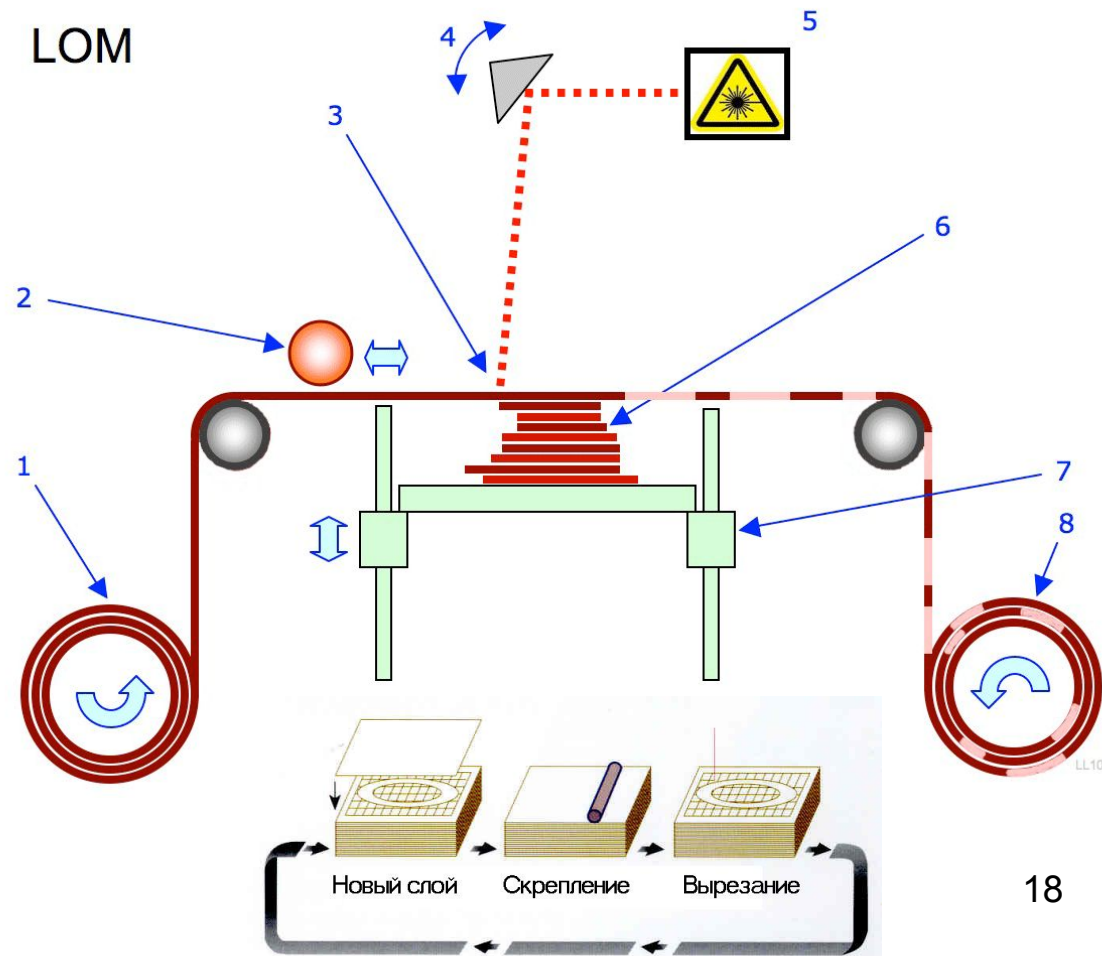


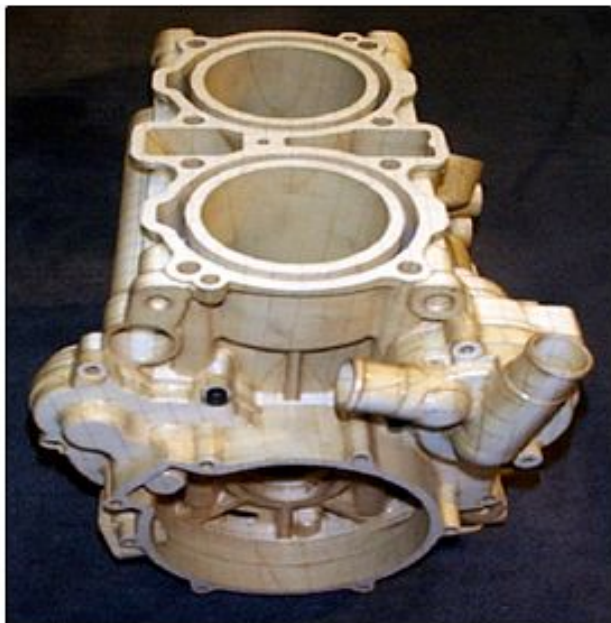


## 7.1.4 Изготовление моделей с помощью LOM-технологии

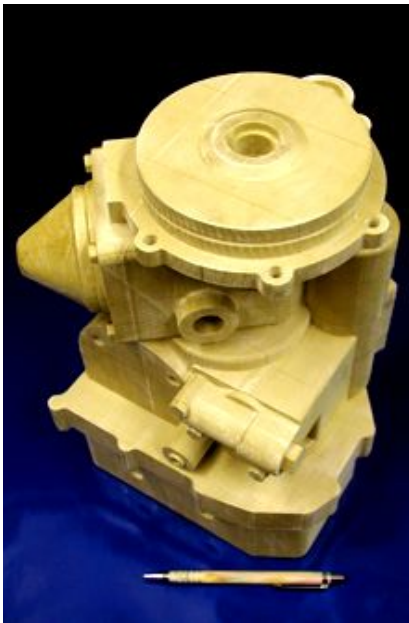
**LOM (laminated object manufacturing)** - технологический процесс изготовления объектов из листовых тонких материалов. Используются для изготовления прототипа детали и проверки её на собираемость, а также как модель для последующего использования при изготовлении эластичных силиконовых форм, литьевых форм и образцов деталей.

Изготовление объемной модели производится послойно. Материалом служит бумага с клеящим слоем или полиэтиленовая плёнка. Рабочий стол 7 (платформа) опускается, происходит подача рабочего материала 1. Стол поднимается с учётом толщины слоя, прокатывается валик 2, прижимая листовый материал к обойме и прогревая клеящий слой. Лазерный луч 5 через подвижную оптику 4 прожигает наклеенный слой, прожигая контур детали 3 на данном слое и создавая квадратную штриховку, которая служит для разборки деталей из полученной заготовки 6.





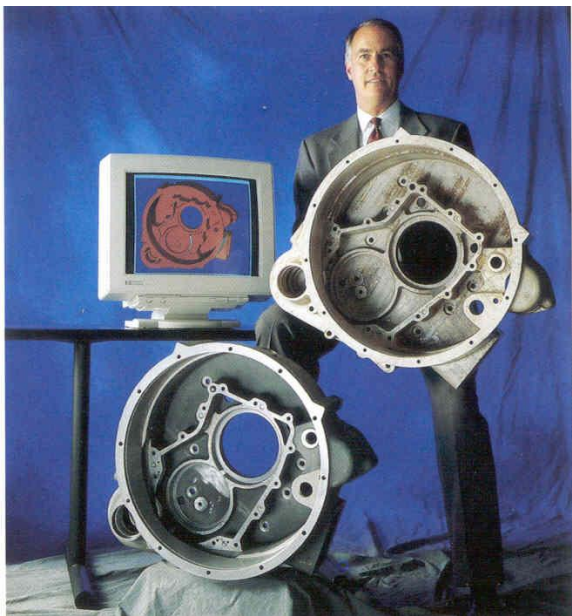
*Корпус 2-х цилиндрового двигателя*



*Гидромотор*



*Гидрораспределительное устройство*



*Корпус двигателя*



*Пластиковая бутылка*

## Технологические возможности LOM

1. LOM больше всего подходит для деталей с толщиной стенок более 3 мм.
2. Деревоподобная структура LOM-прототипов делает их хорошим средством для производства мастер-моделей и стержневой оснастки для литья в песчаные формы.
3. Существенным недостатком LOM-моделей является тенденция к расслаиванию, что вызвано подгоранием клеевого слоя на границах раскроя, поэтому модели требуют нанесения специальных покрытий.

LOM - оборудование ранее выпускалось фирмой Helisys, в настоящее время производится фирмами Cubic Technologys (США) / Herzog (Германия).

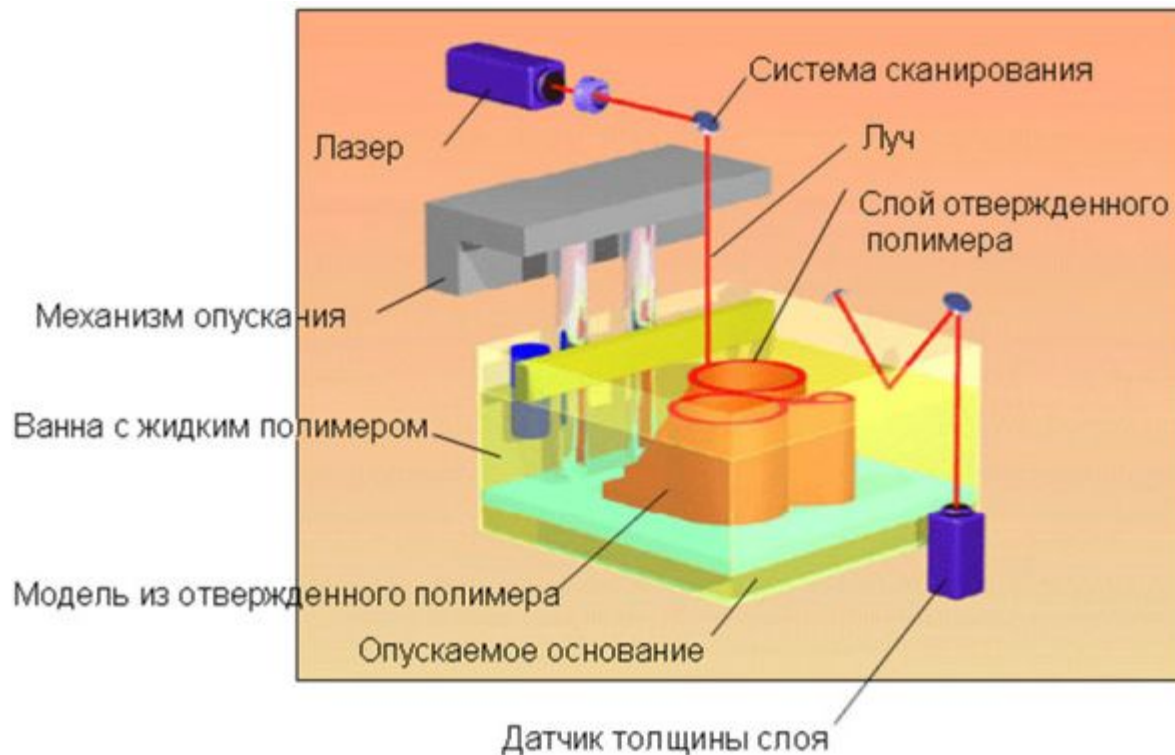
Собственная конструкция LOM-машины создана и эксплуатируется в Национальном институте авиационных технологий (НИАТ).



## 7.1.5 Изготовление моделей с помощью SLA-технологии

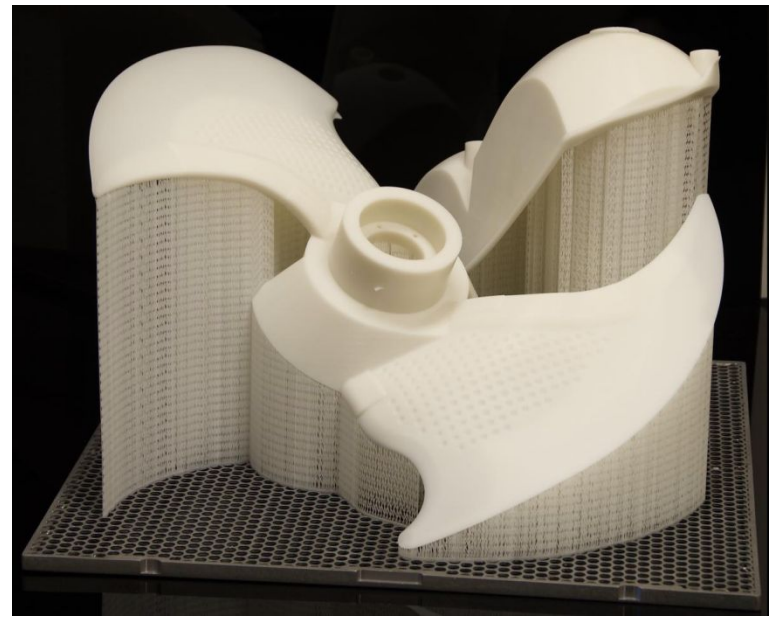
**SLA (Stereo Lithography Apparatus)** - технологический процесс изготовления объектов с помощью лазерной стереолитографии.

Основным рабочим элементом стереолитографии является ультрафиолетовый лазер, который последовательно «вычерчивает» сечения объекта на поверхности ёмкости со светочувствительной смолой. 3D-модель детали через программное обеспечение станка разбивается на 2D-слои (обычно толщина слоя — 0,1-0,2 мм). Эти данные используются для того, чтобы управлять лазерным лучом, который осуществляет затвердевание светочувствительной смолы. Модель создаётся на платформе в баке с жидкой смолой.





*Прототип картера коробки передач двигателя «Рено»*



*Пример стереолитографической модели крыльчатки*

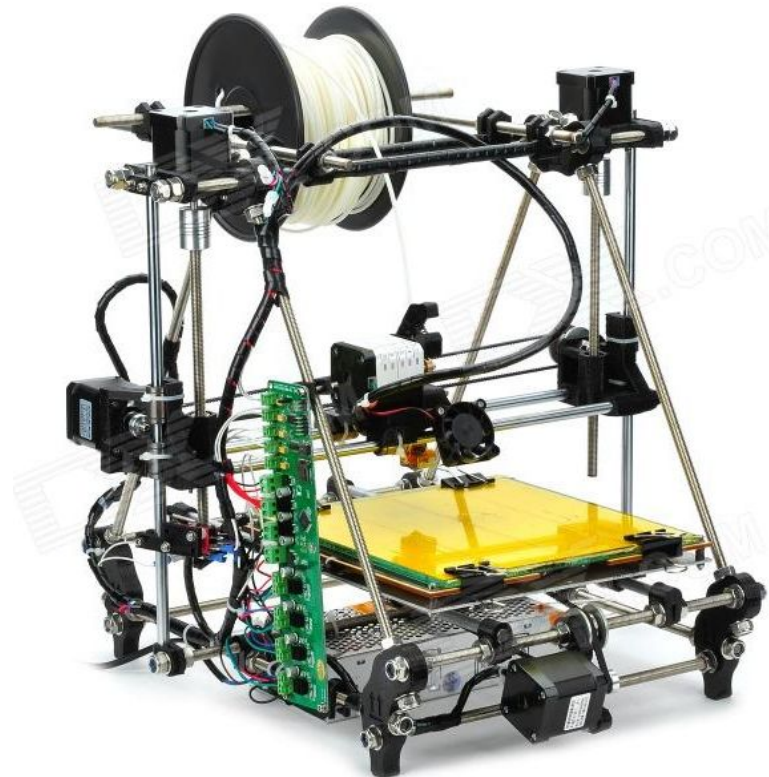
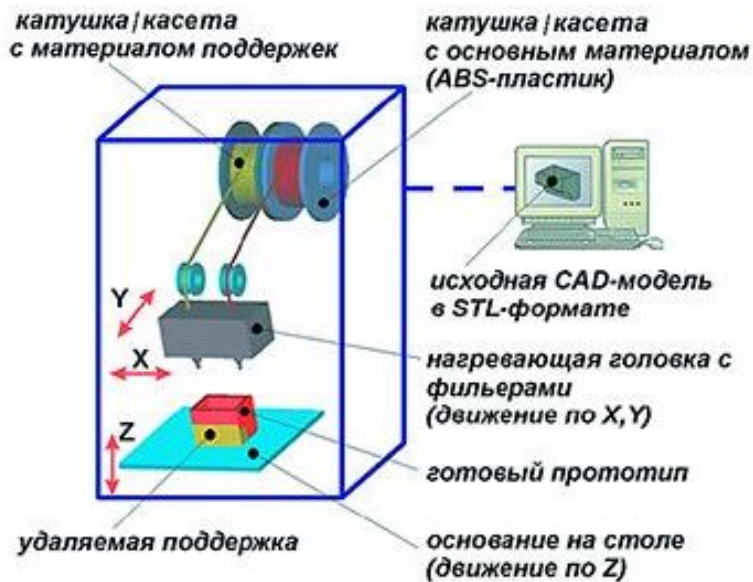


*Пластиковые стереолитографические модели рабочих колес для водометных движителей (ИПЛИТ РАН), изготовленные по ним восковые модели («восковки») и готовая отливка*

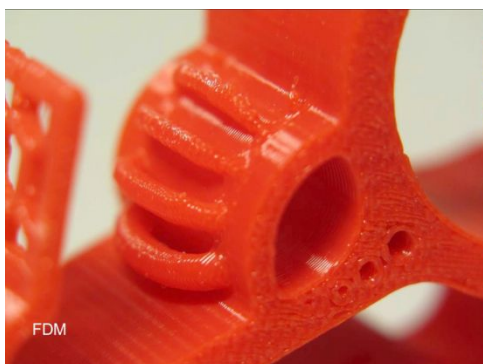
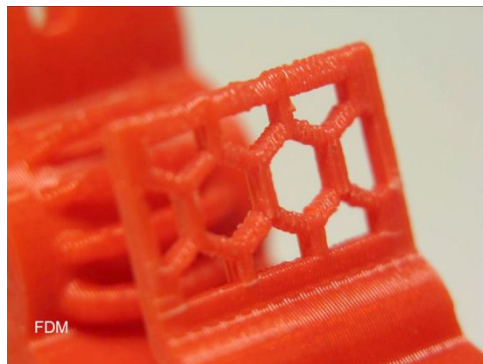
## 7.1.6 Изготовление моделей с помощью FDM-технологии

**FDM (Fused Deposition Manufacturing)** - технологический процесс изготовления объектов с помощью послойного наложения расплавленной полимерной нити.

При FDM-процессе термопластичный моделирующий материал, диаметр которого составляет 1-2 мм, подаётся через экструзионную (выдавливающую) головку с контролируемой температурой, нагреваясь в ней до полужидкого состояния. Выдавливающая головка наносит материал тонкими слоями на неподвижное основание с высокой точностью. Слои наращиваются один за другим, вплоть до завершения построения модели.







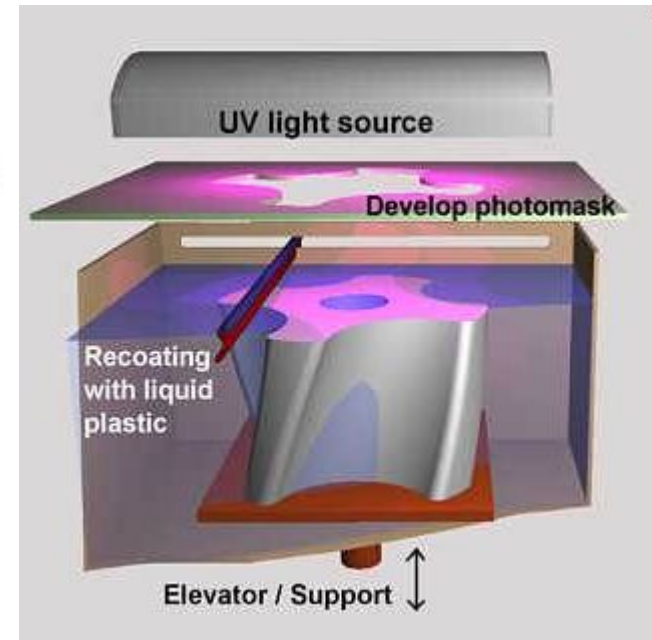
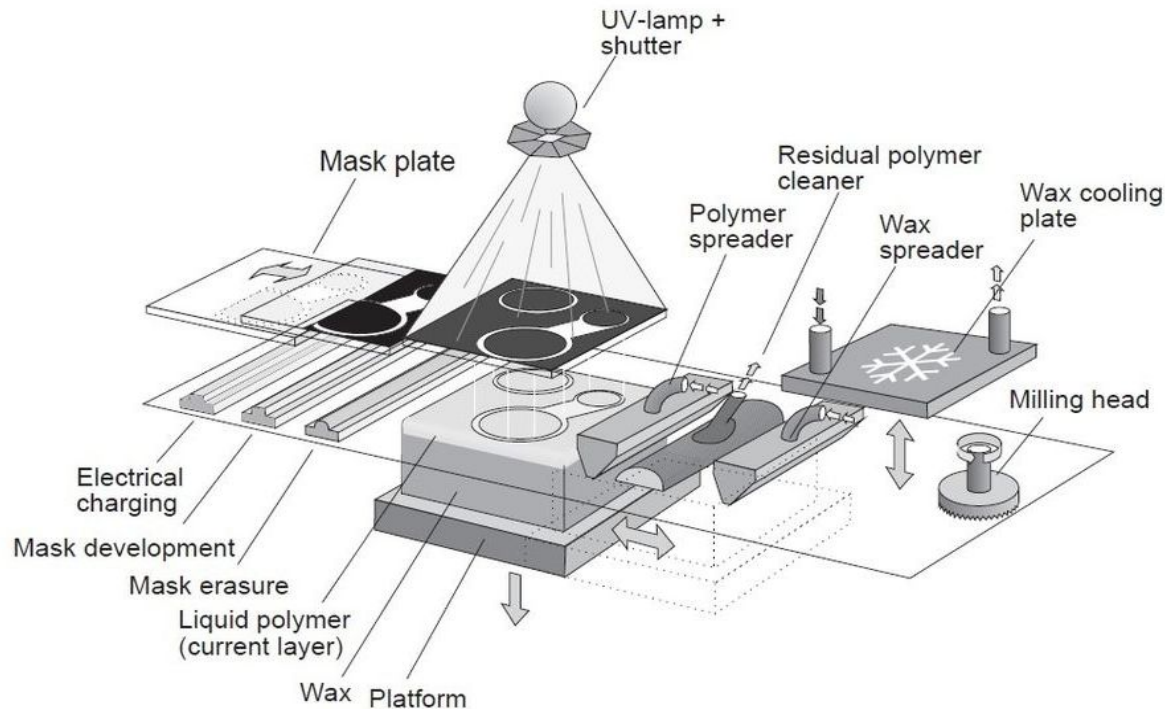
*Расходный материал*



## 7.1.7 Изготовление моделей с помощью SGC-технологии

**SGC (Solid Ground Curing)** - технологический процесс изготовления объектов с помощью фотоотверждаемых шаблонов.

С помощью специального тонера на стеклянной пластине создаётся изображение слоя, образующее его «фотомаску» — фотошаблон. Тонкий слой смолы, распределённый по поверхности рабочего стола, и находящийся над ним фотошаблон слоя выстраиваются под ультрафиолетовой лампой. Лампа включается на несколько секунд, в результате чего отвердевает слой смолы, фотомаска которого использовалась в этот момент. Незатвердевшая смола удаляется, полости заполняются расплавленным воском, который быстро затвердевает. Построенный слой фрезеруется для получения гладкой поверхности и точной высоты слоя. Затем процесс повторяется для следующего слоя.





*Решетка фильтра*



*Модель, выращенная на 3D-принтере по технологии Solid Ground Curing*



## 7.1.8 Изготовление моделей с помощью технологии селективного спекания порошковых материалов

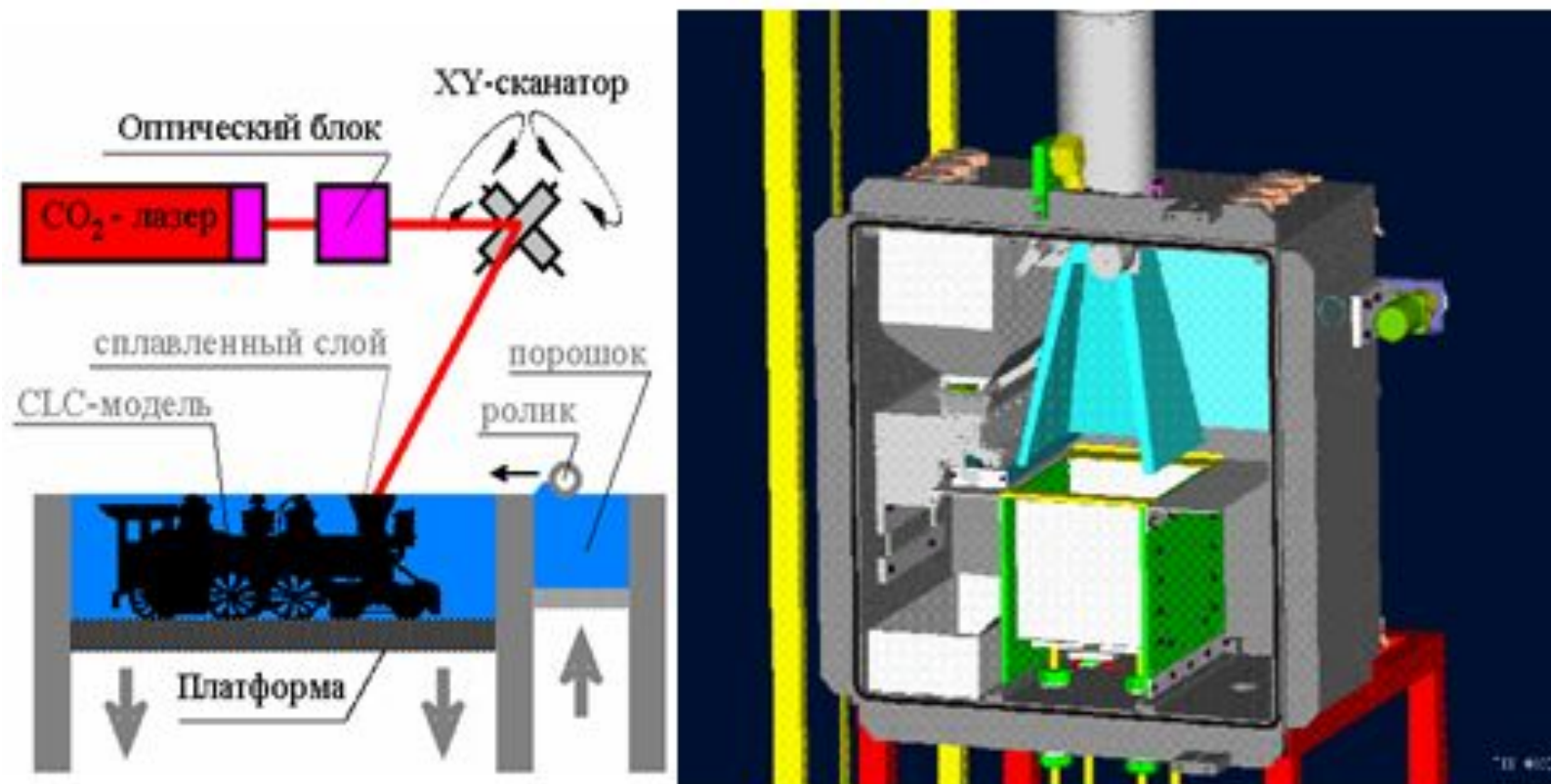
**EBM (Elektron Beam Melting - электронно-лучевое плавление)** - технологии, в которых для подвода энергии в рабочую зону используется электронный луч, сфокусированный магнитным полем.

**EBM технология наиболее предпочтительна** для изготовления формообразующих элементов оснастки, поскольку разогрев металла в точке плавления до 2500°С позволяет получить очень высокое качество внутренней структуры материала (полностью гомогенный материал).

**SLS (Selective Laser Sintering, SLS-процесс)** – технологии в которых модели создаются из порошковых материалов за счёт эффекта спекания при помощи энергии лазерного луча.

В отличие от SLA-процесса, лазерный луч является не источником света, а источником тепла. Попадая на тонкий слой порошка, лазерный луч спекает его частицы и формирует твёрдую массу в соответствии с геометрией детали. В качестве материалов используются полиамид, полистирол, песок и некоторые металлы.

## Схема SLS процесса и рабочая зона ARCAM



Selective Lazer Sintering (SLS) – селективное спекание порошка (в том числе металлического), песка, отвердителя. Возможно производство крупногабаритных песчаных форм и стержней с габаритами 1500x750x700 мм.

## Некоторые характеристики установок

Установка	ARCAM	LaserCUSING
Источник энергии	Электронная пушка	ИК - лазер
Макс. размеры модели (мм)	200 x 200 x 160	250x250x170; 350x300x280
Толщина слоя <sup>2</sup> (мм)	0.05-0.2	0,025 – 0,1
Точность по XY(мм)	± 0,4	± 0,35?
Скорость сплавления	0,3 - 0,5 м/с	3 – 8 см <sup>2</sup> /час
Цена порошка (€ / Кг)	30	25-35

На оборудовании для лазерного спекания можно изготавливать детали из мелкодисперсных металлических порошков или металлические элементы литейной оснастки с каналами охлаждения произвольной формы. Энергии луча достаточно для плавления тугоплавких металлов, таких как титан или жаропрочная сталь.



## Технология EBM (электронно-лучевое плавление)



Патрубок, выращенный на ARCAM из низколегированной стали, после фрезерной обработки стыковочных поверхностей. Размеры 200x200x100 мм. Цена 30Евро/кг

## 7.1.9 Изготовление моделей с помощью MJM-технологии

Модели при использовании технологии трехмерной струйной печати **MJM (Multi-Jet Modeling)** строятся послойно из специального термопластичного материала.

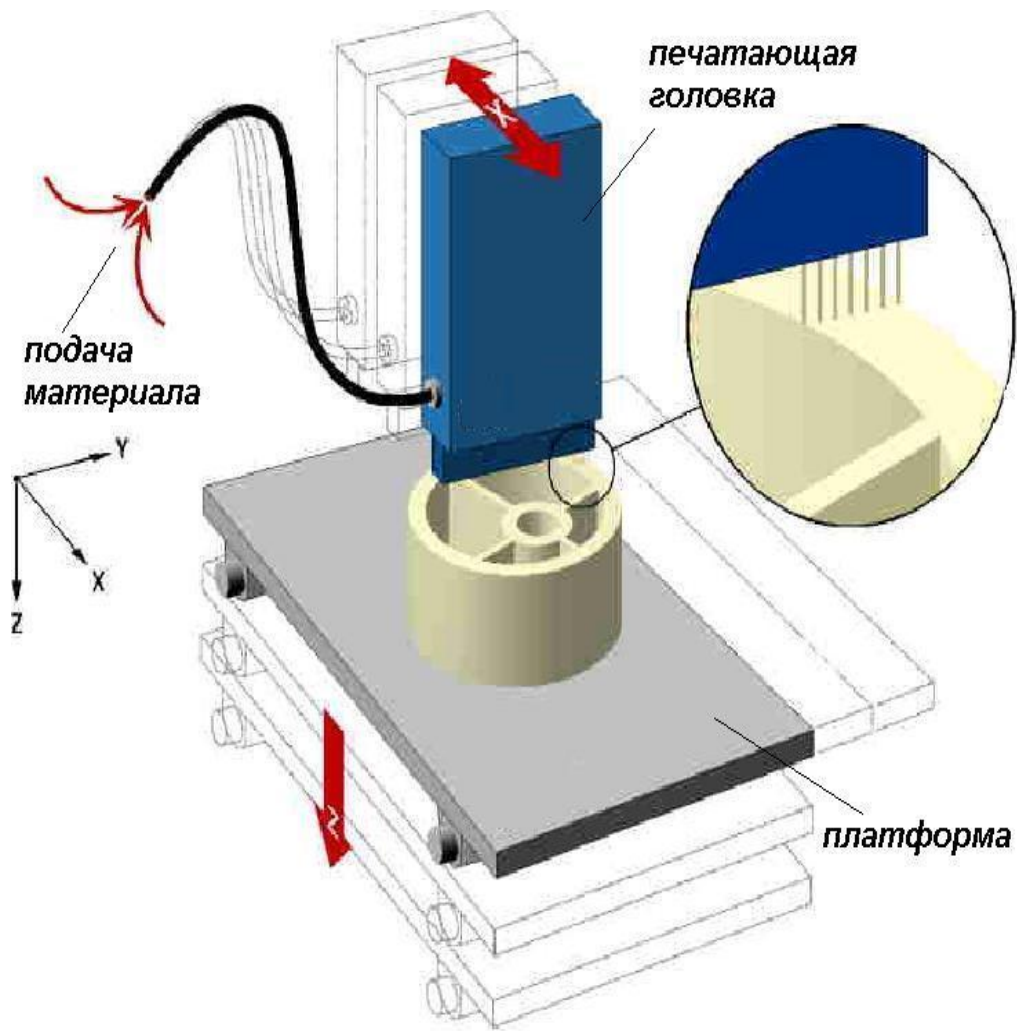
Основой процесса является «печатающая» головка с множеством фильер, ориентированных в линейный массив. Каждая отдельная фильера по команде управляющего компьютера активизируется электрическим сигналом, мгновенно выдавая струю материала.

Головка движется вперед-назад (X-ось), подобно принтеру, формируя физическую деталь слой за слоем из полимера, который отвердевает за секунды. Одновременно с деталью формируется поддерживающая структура. Когда слой выстроен, платформа с деталью отодвигается от головки (Z-ось). Для детали, геометрически большей, чем головка, платформа смещается под печатающей головкой по оси Y, когда это необходимо.

MJM прежде всего подходит для концептуального моделирования.

**Это самый высокопроизводительный на сегодня RP-процесс.**

Процесс полностью автоматизирован и не требует пауз для очистки головки и заправки материала.



3D принтер ThermoJet: а) схема процесса, б) макет контейнера