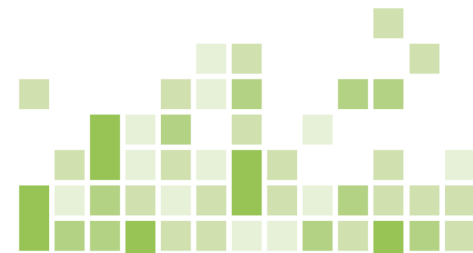




ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Институт неразрушающего контроля
Кафедра точного приборостроения

«Конструирование и технология приборов и установок»

ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

Доцент кафедры ТПС Гормаков А.Н.
2016 г.

В процессе работы над новым проектом, особенно на стадии комплексного проектирования, трудно выявить различные ошибки и недостатки, используя только экран дисплея. Имея реальную физическую модель будущего изделия можно выявить и устранить различные ошибки, скорректировать пути продолжения процесса проектирования. Прототип изделия можно использовать в качестве концептуальной модели для визуализации и анализа конструкции; прототип позволяет конструкторам выполнить доработку и провести некоторые функциональные тесты; также он может служить мастер-моделью для изготовления инструментальной оснастки.

Кроме того, прототип может использоваться в маркетинговых целях или при определении стоимости изготовления.

Контрольные модели уменьшают затраты на проектирование и подготовку производства за счёт выявления возможных ошибок на ранних стадиях, и усиливают связь и взаимопонимание между проектировщиками и заказчиками, сокращая время выхода продукта на рынок.

Именно поэтому, в конце 80-х начали интенсивно развиваться технологии формирования трехмерных объектов не путем удаления материала (точение, фрезерование, электроэрозионная обработка) или изменения формы заготовки (ковка, штамповка, прессовка), а путем постепенного наращивания (добавления) материала или изменения фазового состояния вещества в заданной области пространства. На данный момент значительного прогресса достигли технологии послойного формирования трехмерных объектов по их компьютерным образам. Эти технологии наиболее известны как технологии быстрого прототипирования (RP - Rapid Prototyping).

При традиционном способе получения физических моделей будущих изделий затрачивается от нескольких недель до нескольких месяцев, что приводит к повышению затрат на разработку нового изделия и задержке сроков выпуска новой продукции.

Термин "быстрое прототипирование" означает класс процессов, которые автоматически создают сложные трехмерные физические объекты без инструментального их изготовления, путем преобразования данных, поступающих из CAD - системы. Появление систем быстрого изготовления прототипов было переворотом в технологии. Вместо того чтобы ждать физические модели на протяжении нескольких недель, конструкторы могут получать их уже через несколько дней или часов.

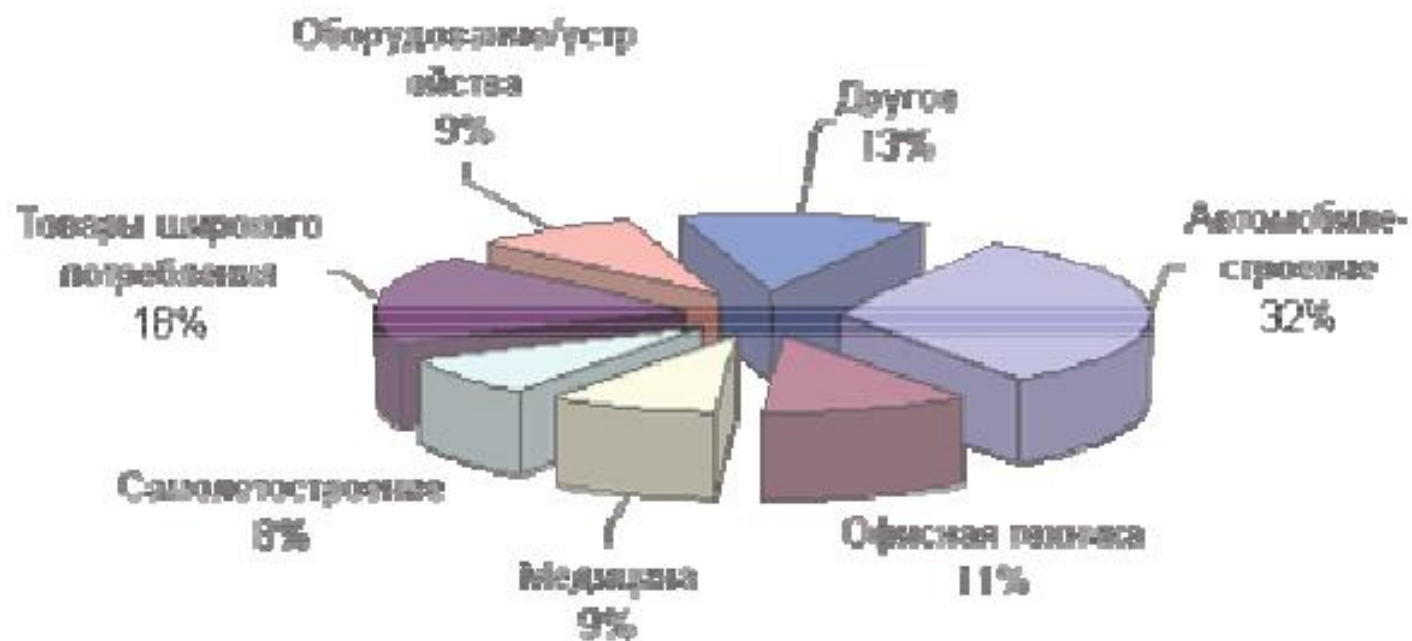


Рис. 7.1. Области применения технологий быстрого прототипирования

- 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 - рис. 7.2 в, 7.3.

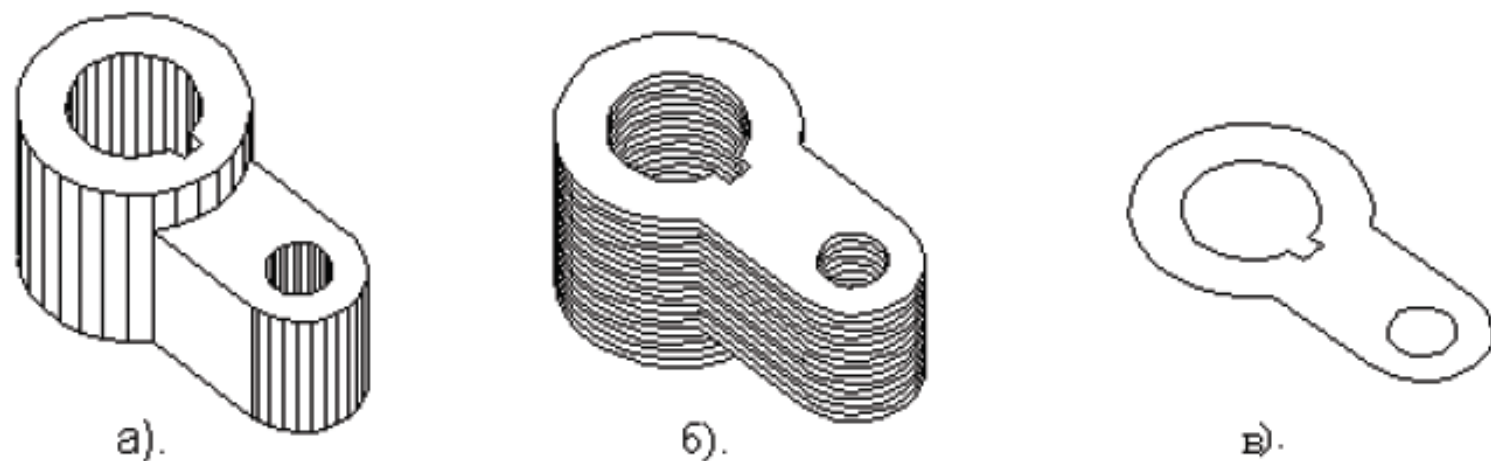


Рис. 7.2. Принцип построения физической модели

Диаграмма показывает, что на сегодняшний день основную роль на рынке систем и технологий RP играет компания 3D Systems. В настоящее время используется несколько технологий быстрого прототипирования. Среди них:

- стереолитография (SL - Stereolithography);

- нанесение термопластов (FDM - Fused Deposition Modeling);

- лазерное спекание порошковых материалов (SLS - Selective Laser Sintering);

- изготовление объектов с использованием ламинирования (LOM - Laminated Object Manufacturing).

И так далее. Существует сейчас десятки методов быстрого прототипирования. Все они отличаются друг от друга. Но мы можем произвести оценки RP-систем по нескольким критериям.

Размер детали Габариты детали, которую может построить система прототипирования, ограничена размерами "строительной камеры". В зависимости от машины, размеры моделей распределяются от 20x20x20 мм до 600x500x600 мм. Однако, большие детали могут быть изготовлены по частям и затем собраны в одну деталь.

Производительность Скорость построения модели зависит от таких факторов, как: размер детали; геометрическая сложность; используемые материалы; программное обеспечение и др.

Материалы На рынке предлагается целый спектр материалов для прототипов, различающихся по степени прочности и качеству образуемой поверхности. В зависимости от процесса, в прототипировании используются следующие основные материалы; полистирол, термопластик, бумага, акрил, поликарбонат, нейлон, ABS, синтетические смолы и др.

Таким образом, новые технологии изготовления прототипов позволяют значительно сократить сроки изготовления моделей для визуализации, подгонки, изготовления оснастки и других применений, что обеспечивает:

- сокращение цикла разработки;
- улучшение дизайна;
- повышение качества;
- уменьшение цены продукта и производства;
- ускорение внесения изменений в конструкцию.

Быстрое изготовление прототипов стало важнейшей частью CAD/CAM - процесса. RP-технологии позволяют пользователям за короткое время проверить данные САД-систем. Увеличивающееся использование твёрдотельного моделирования обеспечивает распространение технологий быстрого получения прототипов. Повышается качество материалов и точность прототипов. Всё это говорит о том, что технологии и системы быстрого прототипирования будут занимать всё большее место в автоматизированном проектировании. В недалеком будущем RP-системы будут доступны любому пользователю и станут привычным инструментом конструктора, повышая качество проектирования и сокращая время выпуска новой продукции.

Стереолитография

Начало всем технологиям быстрого прототипирования положила стереолитография. Стереолитография (SL) была представлена компанией 3D Systems в 1987 году, и в настоящее время более чем 500 из этих стереолитографических систем (Stereo Lithography Apparatus - SLA) установлены и используются компаниями во всем мире. И с каждым днем число этих систем растет. Стереолитографические системы производят точные фотополимерные твердотельные объекты из трехмерных CAD данных.

Основой стереолитографии является локальное изменение фазового состояния однородной среды (переход "жидкость - твердое тело") в результате фотоинициированной в заданном объеме полимеризации. Суть фотополимеризации состоит в создании с помощью инициирующего (в данном случае лазерного) излучения в жидкой реакционно-способной среде активных центров (радикалов, ионов, активированных комплексов), которые, взаимодействуя с молекулами мономера, инициируют рост полимерных цепей. Следствием этого является изменение фазового состояния среды, то есть в облученной области образуется твердый полимер.

Лазер является основным рабочим элементом стереолитографии, который последовательно "вычерчивает" сечения объекта на поверхности ёмкости со светочувствительной смолой. Жидкий фотополимер отвердевает только там, где его касается лазерный луч. Подвижная платформа, на которой "выращивается" деталь, устанавливается ниже поверхности фотополимеризующейся композиции (ФПК) на расстоянии, равном толщине первого слоя. На поверхности ФПК формируется изображение, соответствующее первому сечению объекта. В облучаемой области образуется пленка твердого полимера. После формирования первого слоя, платформа с пленкой опускается на расстояние, равное толщине следующего слоя. Новый слой материала наносится на отвердевшую поверхность, и на поверхности ФПК воспроизводится изображение, соответствующее второму сечению детали. Далее платформа перемещается на расстояние, равное толщине следующего слоя и процесс повторяется автоматически до полного построения детали. После завершения формирования последнего (верхнего) слоя, платформа поднимается на поверхность ФПК, послойно выращенная деталь снимается с платформы, с поверхности детали удаляются остатки жидкой фотополимерной композиции и деталь сушится.

Готовые модели выдерживают нагрев до 100°C без изменений формы и размеров. Шероховатость поверхности без какой-либо обработки не превышает 100 мкм. Отверждённый фотополимер легко полируется. Прочность готовых деталей сравнима с прочностью изделий из отвержденных эпоксидных смол.

Передвижная платформа или подъемник (А), первоначально помещены на низ поверхности резервуара (В), который заполняется жидкой полимерной смолой (С). Ванна с полимером обычно вмещает 20-200 литров. Этот материал имеет особенность - отверждаться под действием ультрафиолетового излучения. В основном используются He-Cd или Ar-ионный лазеры, работающие в области УФ излучения (длина волны 320-370 нм). Физика процесса основана на поглощении фоточувствительным полимером лазерного излучения конкретной длины волны, в результате чего в месте поглощения наблюдается процесс радикальной полимеризации (т.е. отверждения) полимера.

Обычно используются материалы, которые отвердевают при использовании ультрафиолетового излучения, но бывают смолы, которые отвердевают под воздействием видимого излучения. Фотополимер очень светочувствителен и токсичен, поэтому ванна должна быть защищена от света и иметь проточную вентиляцию.

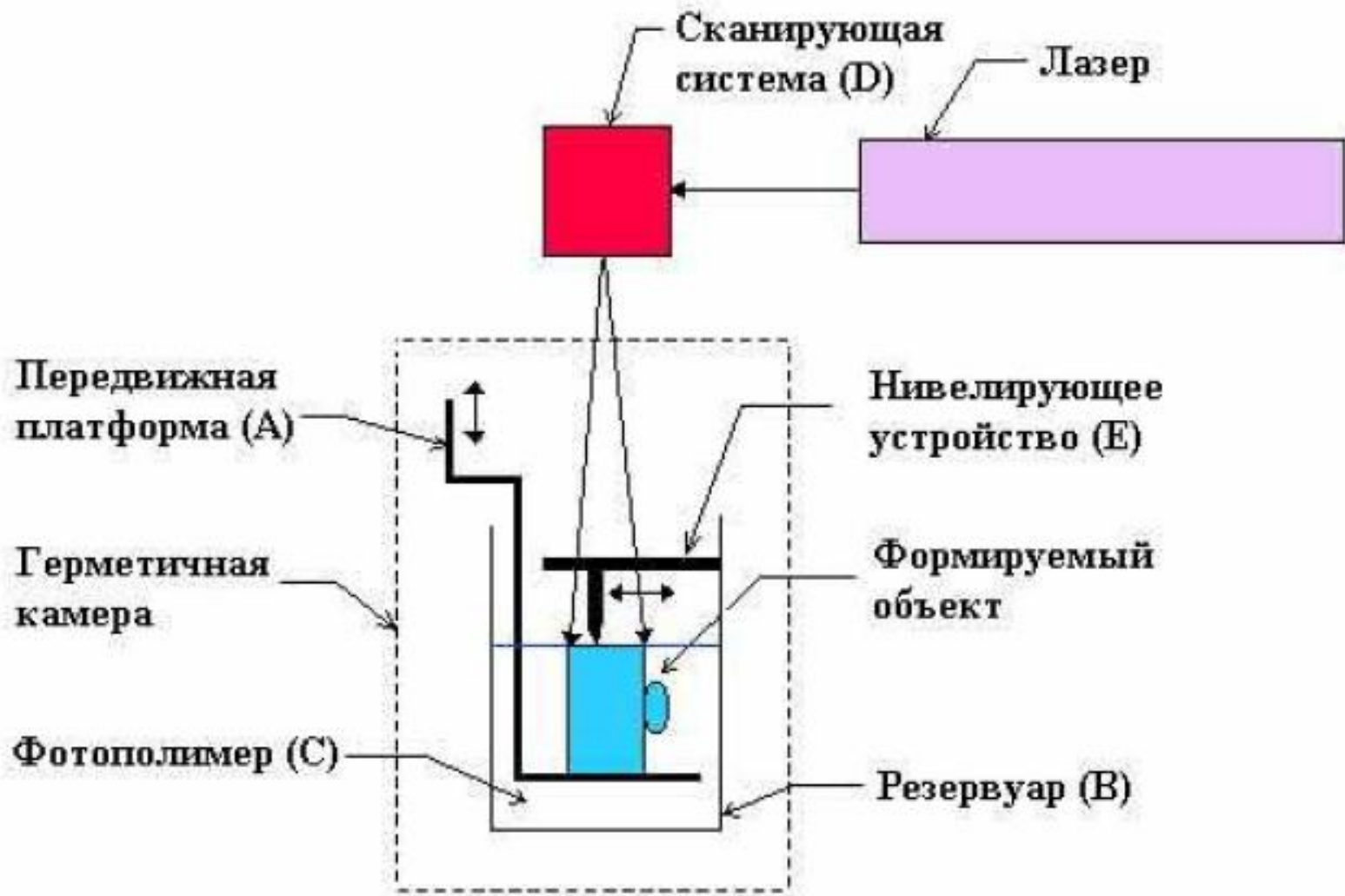
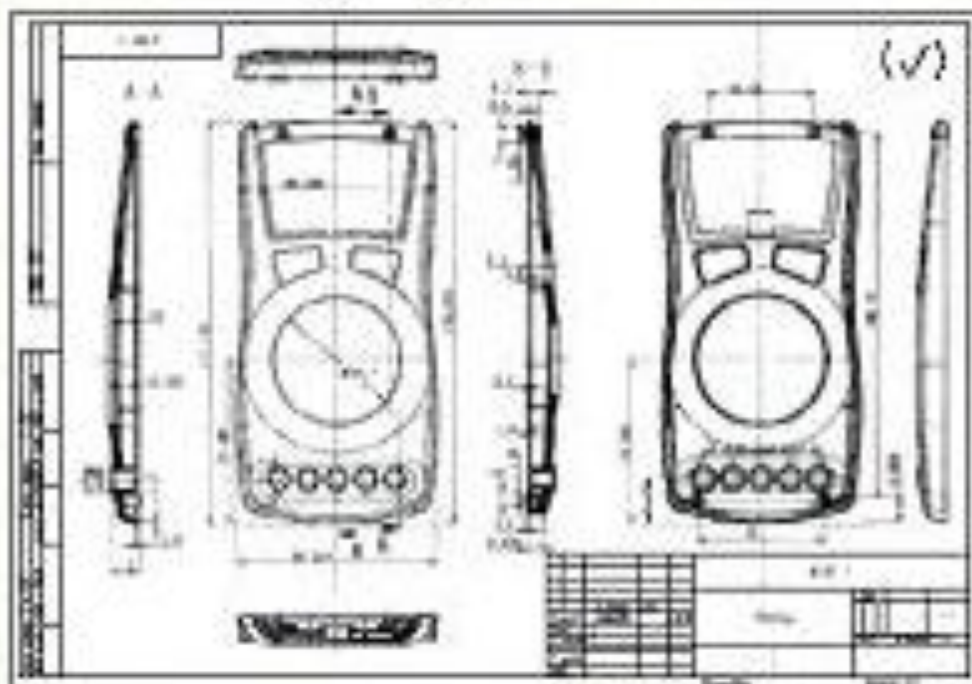


Рис. 7.5. Схема процесса Стереолитографии

Поскольку послойно выращиваемый объект находится в жидкости, то его необходимо жестко зафиксировать на платформе, чтобы избежать смещений и даже отрыва от платформы в результате действия гидродинамических сил, которые появляются при движении платформы с выращиваемой деталью в жидкости, или смещения центра масс выращиваемого объекта. Механические характеристики (прочность, упругость) тонкой полимерной пленки ограничивают допустимую в процессе послойного изготовления детали величину выступов. В процессе изготовления детали часто появляются несвязные области сечения, которые не имеют общих точек с предыдущим слоем. Выступы, несвязные области требуют для своей фиксации вспомогательных элементов - подпорок (своеобразных строительных лесов), которые поддерживают деталь в процессе ее изготовления. Следует также отметить, что большая площадь контакта детали с платформой затрудняет ее отделение от платформы. Подпорки, как правило, представляют собой тонкие (0,1 - 0,5 мм) стенки, которые, пересекаясь друг с другом, образуют жесткую конструкцию. Подпорки можно создавать и средствами САПР, но трудоемкость этой процедуры, зависимость структуры подпорок от типа ФПК и типа установки, делают актуальной автоматизацию этой операции.

Изготовление стереолитографической модели



1. Исходные данные представлены в виде чертежа



2. Создать трехмерную математическую модель детали



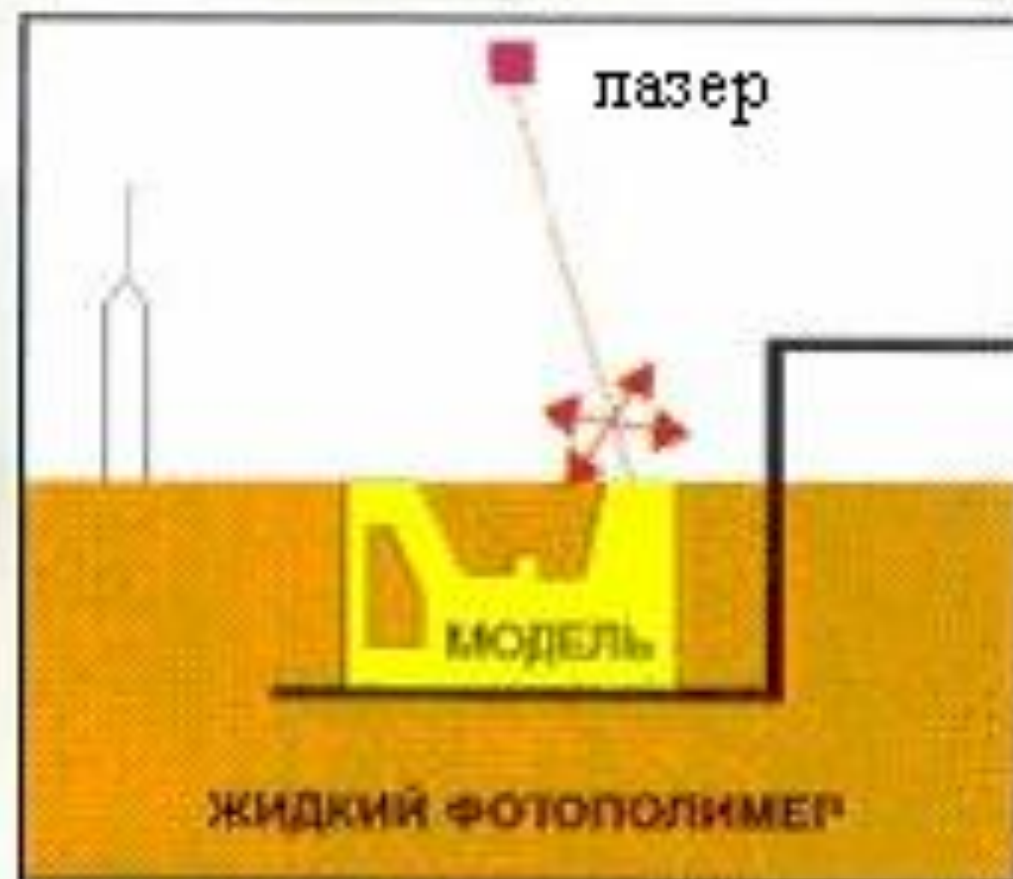
3. Подготовить управляющую программу (ориентация модели, задание машинных параметров, автоматическое создание элементов поддержки и расслаивание)

Стереолитографические аппараты

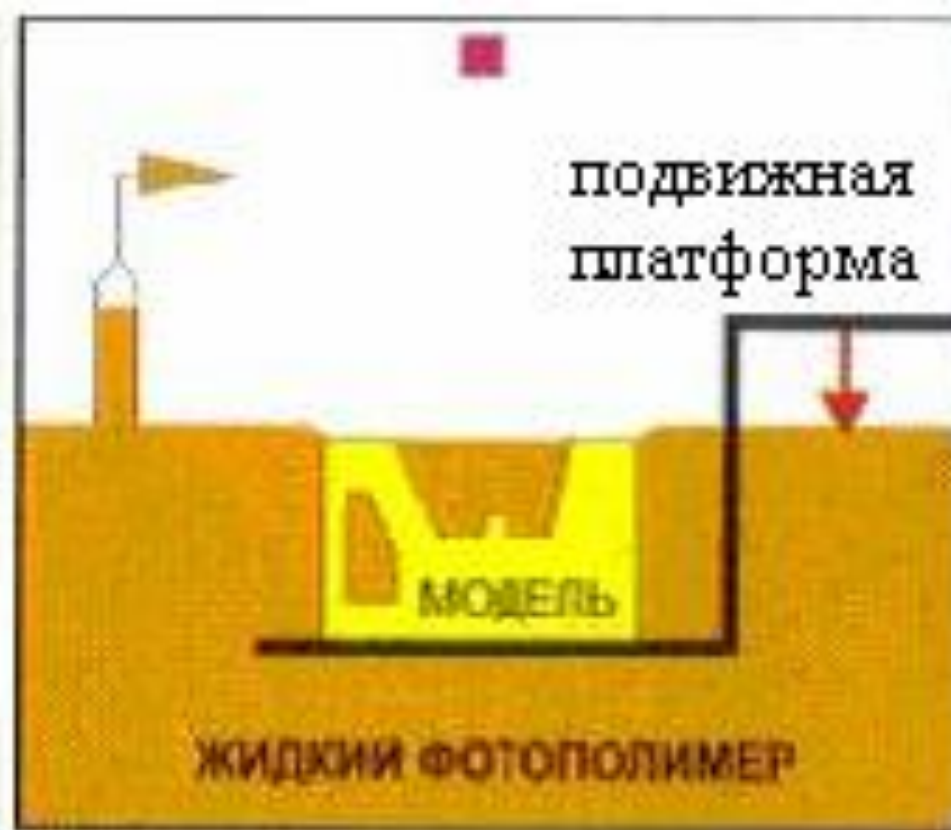


4. Изготовить модель детали на установке стереолитографии

Принцип построения модели по технологии стереолитографии



4а. Построение детали лучом лазера на поверхности жидкого фотополлимера



4b. Платформа с моделью
погружается в полимер на толщину
слоя



4с. Устройство Zephyr проходит над поверхностью модели и наносит слой жидкого фотополимера



4d. Лазер формирует следующий слой модели



SLA-5000



SLA-250

| | | SLA-250 | SLA-3500 | SLA-5000 |
|--------------------------------|---|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Лазер | Тип | Гелий-кадмиевый HeCd | Твердотельный Nd:YVO4 | Твердотельный Nd:YVO4 |
| | Длина волны | 325 нм | 354,7 нм | 354,7 нм |
| | Мощность | 25 мВт | 160 мВт | 216 мВт |
| Система нанесения слоев | Способ | Устройство Zephyr | Устройство Zephyr | Устройство Zephyr |
| | Минимальная толщина слоя | 0,1 мм | 0,05 мм | 0,05 мм |
| | Диаметр луча | 0,20-0,29 мм | 0,23-0,28 мм | 0,23-0,28 мм |
| | Меньшее пятно | | | |
| | Большее пятно | | | |
| | Максимальная скорость построения | 792 мм/с | 2,54 м/с | 5,0 м/с |
| | Меньшее пятно | | | |
| | Большее пятно | | | |
| Подвижная платформа | Вертикальное разрешение | 0,0025 мм | 0,0018 мм | 0,00177 мм |
| | Максимальный вес детали | 9,1 кг | 56,8 кг | 68,4 кг |
| | Объем | 32,21 л | 99,3 л | 253,6 л |

| СЛ - установки | Толщина слоя (мм) | Точность X-Y | Точность Z |
|--------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|
| SLA250 | 0,075-0,15 | Зависит от материала | 0,025 |
| SLA3500 | 0,05-0,15 | Зависит от материала | 0,005 |
| SLA5000 | 0,05-0,15 | Зависит от материала | 0,013 |
| SLA7000 | 0,0254-0,127 | Зависит от материала | 0,001 |
| STEREOS 400 | >0,1 | | 0,05 |
| STEREOS MAX 600 | >0,05 | | 0,07 |
| STEREOS Desktop S | >0,05 | | 0,07 |

На рисунках 7.8 и 7.9 представлены примеры изделий, изготовленных с помощью стереолитографии.



Рис. 7.8. Модель автомобиля Citroen C3 (масштаб 1:5), созданная в Citroen для отработки дизайнерских решений



Статуя в процессе создания внутри стереолитографического аппарата и готовое изделие

Технологии с использованием тепловых процессов

Оборудование от DTM Corp., EOS, Helisys и Stratasys основано на тепловых реакциях и следующих основных технологиях:

- Selective Laser Sintering** (SLS - лазерное спекание порошковых материалов), DTM Corp., EOS;
- Laminated Object Manufacturing** (LOM - изготовление объектов с использованием ламинирования), Helisys;
- Fused Deposition Modeling** (FDM - послойное наложение расплавленной полимерной нити), Stratasys.

Технология SLS

При SLS-технологии (**Selective Laser Sintering** - лазерное спекание порошковых материалов) 3D объект создаётся из порошкообразных материалов. Частицы порошка, диаметром 50-100 мкм, находящиеся в емкости, расплавляется под воздействием лазерного излучения. Лазерный луч, попадая на тонкий слой порошка, спекает порошковые частицы, которые затвердевают при охлаждении, формируя твёрдый слой. Подвижная платформа опускается. Сверху при помощи ролика наносится порошок, и процесс повторяется до полного изготовления прототипа. На рис. 7.10 представлена схема изготовления моделей методом лазерного спекания порошковых материалов.

В данной технологии строящаяся модель не нуждается в подпорках (как, например, при стереолитографии), так как нерасплавленный порошковый материал остается лежать в камере, тем самым, обеспечивая необходимую поддержку.



SLS - установки: а) Sinterstation 2500

| | | Точность X-Y (мм) | Точность Z (мм) | Толщина слоя (мм) |
|-----------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Sinterstation 2000 | КОМПАНИЯ | 0,01 | 0,01 | 0,05-0,3 |
| Sinterstation 2500 | | 0,01 | 0,01 | 0,05-0,4 |
| Sinterstation 2500plus | DTM | 0,01 | 0,01 | 0,05-0,5 |
| EOSINT P360 | КОМПАНИЯ EOS | 0,05 | 0,05 | 0,1-0,2 |
| EOSINT P700 | | 0,05 | 0,05 | 0,15 |
| EOSINT S700 | | 0,05 | 0,05 | 0,2 |
| EOSINT M250 | | 0,05 | 0,05 | 0,05-0,1 |



Неиспользованный материал и детали в аппарате сразу после создания



Рис. 7.13. Возможности SLS-технологии

LOM - технология

LOM - Laminated Object Manufacturing - изготовление слоистых моделей.

LOM - технология создания трехмерных моделей методом послойного склеивания элементов, вырезанных из листового материала (см. рис.7.14). Изготовленные по LOM-технологии модели идеально подходят для решения задач, требующих оценки формы и эстетических свойств изделий. Прочность LOM-объектов в большинстве случаев позволяет использовать их для проверки функциональности проектируемого изделия. Для изготовления моделей используется бумага или листовый пластик с нанесенным сухим связующим веществом. Изготовленные LOM-модели по составу имеют сходство с древесиной и легко обрабатываются (см. рис.7.15).



Схема создания прототипа по LOM – технологии

С помощью специального программного обеспечения рассчитывается необходимое количество поперечных сечений детали. Далее САD-данные, содержащие информацию об изготавливаемой модели, транслируются в систему управления процессом LOM-машины.

Материал из рулона подается на рабочую поверхность и лучом лазера вырезается контур поперечного сечения. Области лишнего материала разрезаются на мелкие элементы для последующего удаления. На рабочую поверхность подается материал для нового слоя и склеивается с предыдущим, за счет прокатки термороликом. После чего создается и вырезается новое поперечное сечение.

После завершения изготовления всех слоев, лишний материал удаляется вручную. При необходимости выполняется чистовая обработка модели (шлифовка, покрытие краской или лаком).



Примеры LOM-прототипов

Благодаря использованию недорогих твердых листовых материалов, преимуществом LOM моделей является надежность, устойчивость к деформациям и предельно эффективная стоимость, не зависящая от геометрической сложности.

Владельцем технологии LOM и производителем оборудования является американская компания Helisys Inc., которая производит серии установок LOM - Paper, LOM Plastic, LOM Composite, для различных типов расходного материала.

Установки LOM-1015plus и LOM-2030H - высокопроизводительные системы для изготовления слоистых моделей. Система моторов, управляющих перемещением лазера по осям X-Y, а также новый программный алгоритм позволяют сократить время построения детали на 30%. Электромеханическая часть, изготовленная с учетом всех стандартов машиностроения, и отлаженная система управления значительно повышают уровень надежности системы. Благодаря упрощенным процедурам настройки и улучшенному механизму



Установки LOM. Слева - LOM-2300H, справа - LOM-1015plus

Точность изготовления Данные, представленные в таблице 7.5, свидетельствуют о том, что и фирма Helisys, производящая установки LOM, и сингапурская компания Kinergy, производящая установки Zipru, смогли добиться высокой точности изготовления моделей. Благодаря этому прототипы, полученные с помощью LOM - технологии можно использовать для проверки собираемости изделий.

Также прототипы, изготовленные данным методом, могут выступать в качестве разовых моделей для точного литья по выжигаемым моделям.

| | Точность X-Y, (мм) | Точность Z, (мм) | Толщина слоя, (мм) |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| LOM-1015 | 0,025 | 0,05-0,2 | 0,05-0,2 |
| LOM-1015plus | 0,025 | 0,05-0,2 | 0,05-0,2 |
| LOM-2300 | 0,025 | 0,05-0,2 | 0,05-0,2 |
| LOM-2300H | 0,025 | 0,05-0,2 | 0,05-0,2 |
| ZIPPY I | 0,01 | 0,01 | 0,15 |
| ZIPPY II | 0,01 | 0,01 | 0,15 |
| ZIPPY III | 0,01 | 0,01 | 0,15 |

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

Позволяет быстро (в течение нескольких часов) без прессформы получить физический прототип пластмассовой детали, точно соответствующий трехмерной САД-модели.

Прототипы используются для: оценки эргономики и внешнего вида; оценки функциональности; в качестве мастер-модели.

Установка работает в офисных условиях, не требует специальной лаборатории.

Процесс абсолютно безвреден для окружающей среды и оператора.

После окончания процесса моделирования изделие можно почти сразу использовать, поскольку не требуется его длительная последующая доработка.

Это принципиально отличает FDM от RP-технологий других фирм, в соответствии с которыми процесс доводки моделей требует значительных временных затрат и наличия лабораторий, оборудованных специальными системами вытяжки и охлаждения.

ПРИМЕРЫ ПРОТОТИПОВ РАЗЛИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ

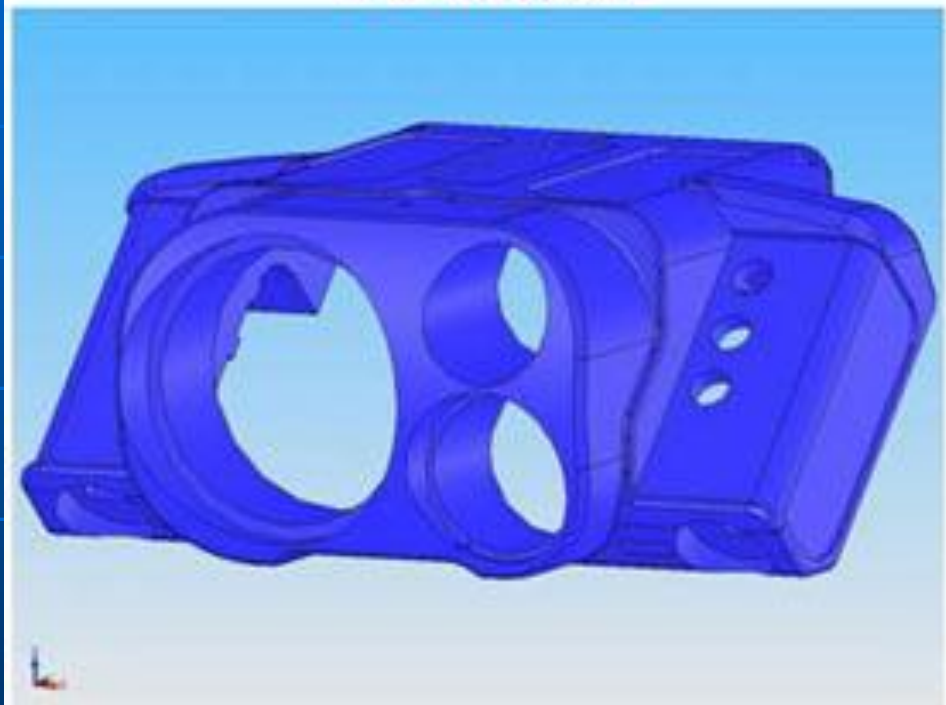
3D модель



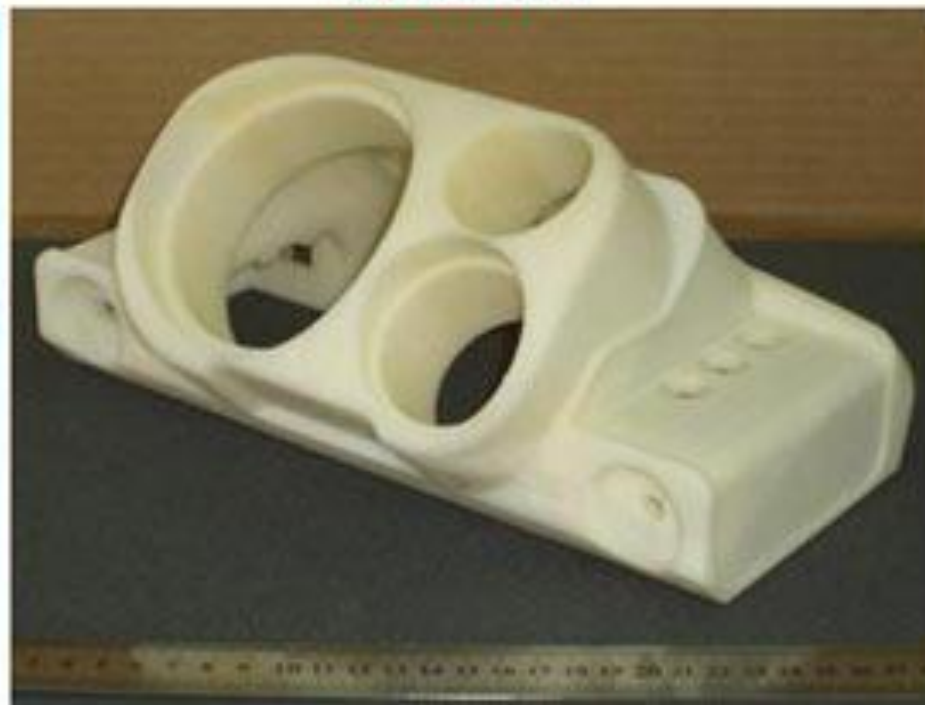
Прототип



3D модель



Прототип



Проверка функциональности деталей



СХЕМА РАБОТЫ УСТАНОВКИ

Принцип создания моделей-прототипов по технологии FDM (Fused Deposition Modeling) заключается в послойной укладке расплавленной до полужидкого состояния полимерной нити в соответствии с геометрией математической модели детали, разработанной в системе САД.

Математическая модель
передается в формате STL в
специальное программное
обеспечение Catalyst или Insight,
которое позволит оператору
оптимально ориентировать ее в
рабочей зоне установки и
автоматически разбивает на
горизонтальные слои.

Затем автоматически определяется необходимость применения поддерживающих элементов для нависающих частей модели.

Сгенерированные данные передаются на установку, и начинается процесс послойного создания модели.

