

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»
ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ
ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ
«ШАГ В БУДУЩЕЕ, МОСКВА»**

регистрационный номер

**Машиностроительные технологии
Лазерные технологии в машиностроении.**

**Исследование процессов создания
деталей методом лазерной стереолитографии.**

Автор:

Баулин Денис Алексеевич
11 класс, лицей № 1580 г. Москва

Научный руководитель:

Малов Илья Евгеньевич
Доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана

Содержание

1. Введение	3
2. Виды установок быстрого прототипирования	4
3. Создание модели.....	12
4. Вывод.....	21

Прототипирование является обязательным этапом в процессе разработки любого нового изделия. Создание качественного прототипа, максимально похожего на будущее изделие - весьма непростая задача. Приходится решать проблему точного повторения геометрической формы, собираемости, внешнего вида и поиска материалов, максимально похожих на заданные. В последнее время популярными стали технологии быстрого прототипирования (RP - rapid prototyping), то есть послойного синтеза макета по компьютерной модели изделия. Современный прототип позволяет не только оценить внешний вид детали, но и проверить элементы конструкции, провести необходимые испытания, изготовить мастер-модель для последующего литья. Использование RP-технологий в прототипировании способно на 50 - 80% сократить сроки подготовки производства, практически полностью исключить длительный и трудоемкий этап изготовления опытных образцов вручную, или на станках с ЧПУ.

Построение прототипа обычно происходит на основе твердотельной модели из САД-систем или модели с замкнутыми поверхностными контурами. Эта модель разбивается на тонкие слои в поперечном сечении с помощью специальной программы, причем толщина каждого слоя равна разрешающей способности оборудования по z-координате. Обычно при разбиении дается припуск на механическую обработку. Построение детали происходит послойно до тех пор, пока не будет получен физический прототип.

Принципиальная схема всех установок прототипирования одинакова: на рабочий стол, элеватор установки, наносится тонкий слой материала, воспроизводящего первое сечение изделия, затем элеватор смещается вниз на один шаг и наносится следующий слой. Так слой за слоем воспроизводится полный набор сечений модели, повторяя форму требуемого изделия. При этом на некотором слое может оказаться, что отдельные элементы "повисают" в воздухе, поскольку они должны крепиться к верхним слоям. Чтобы избежать

такой проблемы, 3D модель предварительно подготавливается, в ней строится система поддержек на каждый такой элемент.

Основным различием между технологиями прототипирования является прототипирующий материал, а также способ его нанесения. В мире существует всего несколько компаний, изготавливающих RP-установки, они постоянно совершенствуют технологию и разрабатывают новые материалы. Остановимся на самых основных технологиях, рассмотрим их характеристики, достоинства и недостатки.

Стереолитография (SLA - Stereo Lithography Apparatus)

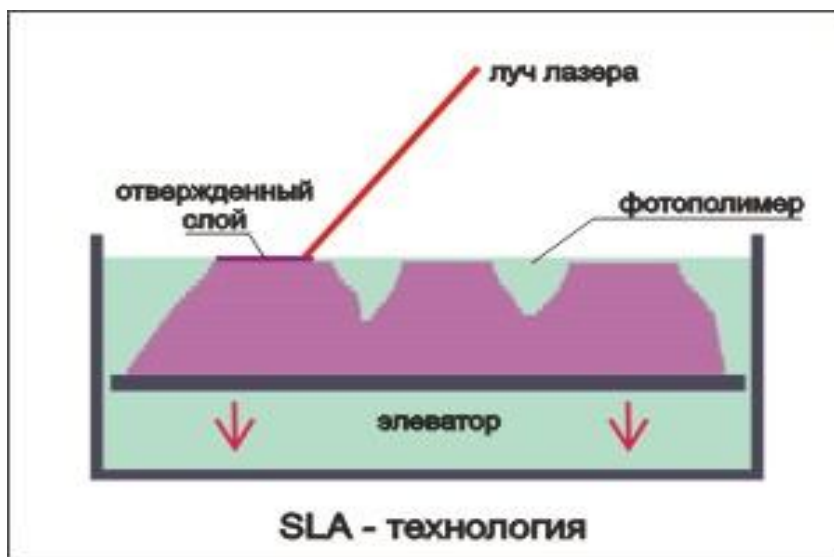


Рисунок 1 – SLA – технология

SLA-процесс относится к одной из наиболее распространенных технологий быстрого прототипирования. Его очевидным преимуществом является получение поверхности изготавливаемого объекта почти такого же качества, как и после механообработки на многооперационных станках с ЧПУ. Этот факт подтверждается опытом эксплуатации более чем пятисот SLA установок по всему миру. Достаточно удобно решен вопрос повторного использования неэкспонированного полимера, что позволяет при одной заправке установки изготавливать несколько объектов.

К недостаткам процесса относится дороговизна специального вещества, применяемого для полимеризации. Кроме того, данное вещество весьма токсично и обладает резким запахом, а также требует защиты от прямой засветки различными источниками света, чтобы избежать преждевременной полимеризации. Невелик выбор веществ, которые могут быть использованы для полимеризации в ходе SLA-процесса. Получаемое изделие достаточно хрупкое и требует повышенной аккуратности при манипуляции с ним.

Процесс позволяет добиться линейной точности +/- 100 мкм при толщине слоя 50 мкм. Время формирования полимеризованного слоя составляет 35-50 сек в зависимости от параметров лазерного излучения.

SLA-установка с типовым размером рабочей камеры 250x250x250 мм стоит в среднем \$240000. Наибольший размер рабочих камер доступных сегодня составляет 600x600x400 мм.

Области применения:

- Создание конструкторских и дизайнерских прототипов, макетов различных изделий и сборок.
- Изготовление формообразующей оснастки при различных видах точного литья.
- Создание моделей для изготовления формообразующей оснастки из других материалов.
- Восстановление объектов по данным рентгеновской, акустической или ЯМР-томографии в медицине, криминалистике, археологии и др.

Производители оборудования:

3D Systems www.3dsystems.com

F&S Stereolithographie-technik GmbH www.fockeleundschwarze.de

Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН www.laser.ru

Технология SLS (Selective Laser Sintering – лазерное спекание порошковых материалов)

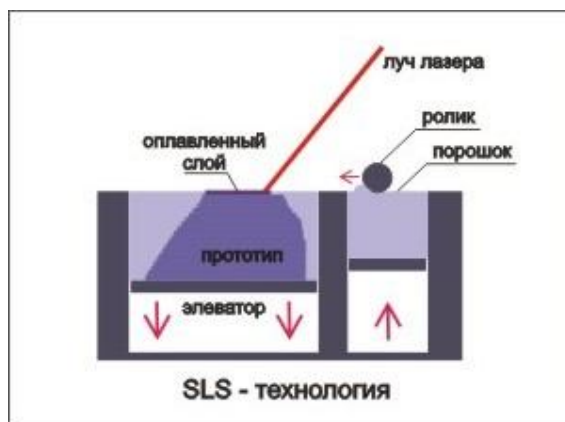


Рисунок 2 – SLS – технология

В SLS технологии в качестве рабочего материала используются большое количество материалов, которые применяются для получения прототипа. Это могут быть нейлон и композиции на его основе, песок, поликарбонаты, металлы. Все эти материалы дешевле, чем фотополимеризующиеся резины для SLA-процессов. На поверхность наносится тонкий слой порошка, который затем спекается лазерным лучом, формируя твердую массу, соответствующую сечению 3D-модели и определяющую геометрию детали (см. рисунок 2). SLS это единственная технология, которая может быть применена для изготовления металлических деталей и формообразующих для пластмассового и металлического литья. Прототипы из пластмасс обладают хорошими механическими свойствами, могут быть использованы для создания полнофункциональных изделий.

Изделие получается готовое к употреблению сразу после окончания процесса. Точность изделия равна +/- 51 мкм, толщина слоя равна 76 мкм, производительность 12-25 мм/час.

Недостаток процесса заключается в сложности повторного использования формообразующих материалов, а также в обязательном применении инертной атмосферы.

На рынке доступны установки с размером рабочей камеры 330x380x420 мм. Стоимость установки составляет \$400000.

Производители оборудования:

3D Systems www.3dsystems.com

F&S Stereolithographietechnik GmbH www.fockeleundschwarze.de

The ExOne Company / Prometal www.prometal.com

EOS GmbH www.eos-gmbh.de

Технология FDM (Fused Deposition Modeling - послойное наложение расплавленной полимерной нити)

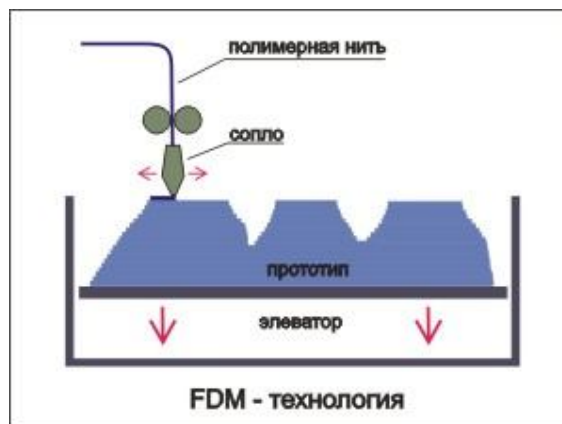


Рисунок 3 – FDM– технология

Современные FDM -установки используют два сопловых устройства одновременно: одно для материала, из которого изготавливается прототип, второе - для материала, из которого изготавливается несущий каркас объекта.

Используются нити из АБС, поликарбоната или воска. Свойства используемых пластиков очень близки к конструкционным маркам. Термопластичный моделирующий материал подается через выдавливающую головку с контролируемой температурой, нагреваясь там до полужидкого состояния. Головка наносит материал очень тонкими слоями на неподвижное основание с

высочайшей точностью. Последующие слои ложатся на предыдущие, отвердевают и соединяются друг с другом.

К преимуществам процесса относится дешевизна используемых материалов, нетоксичность, экологичность, большой выбор цветов и доступных материалов (литьевые пасты, ABS-пластики, эластомеры). Получаемые изделия обладают большой стабильностью, т.к. практически не впитывают влагу. Установка малогабаритная и удобна для создания недорогого сервис-бюро.

Процесс позволяет формировать слои толщиной от 50 до 762 мкм при линейной точности +/- 127мкм. Производительность процесса 380 мм/сек.

Типовая коммерческая установка имеет рабочую камеру размером 254x254x254 мм, весит около 160 кг и имеет стоимость порядка \$160000.

Область применения: Технология применяется для получения единичных образцов изделий, по своим функциональным возможностям приближенных к серийным, а также для производства выплавляемых моделей для литья металлов.

Производители оборудования:

Stratasys Inc. www.stratasys.com

Технология струйного моделирования (Ink Jet Modelling)

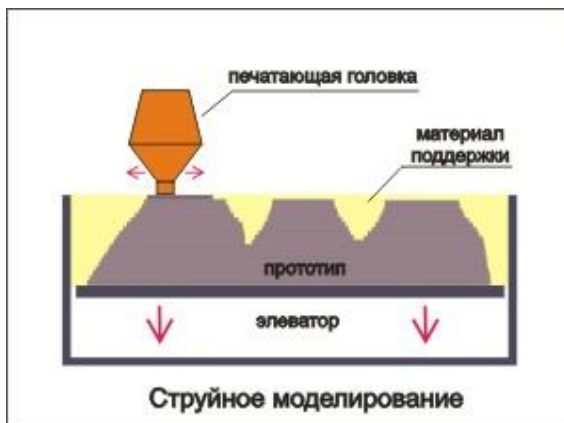


Рисунок 4 – Ink Jet Modelling – технология

Различные запатентованные разновидности этой технологии называются:

MJM (Multi-Jet Modeling) - 3D Systems;

PolyJet (photopolymer jetting) - Objet Geometries;

DODJet (Drop-On-Demand-Jet) - SolidScape.

Все технологии имеют свои особенности, но функционируют по одному принципу. Головка, содержащая от двух до 96 сопел наносит модельный и поддерживающий материал на плоскость слоя. После нанесения слоя, могут проводиться его фотополимеризация и механическое выравнивание. В качестве поддерживающего материала обычно используется воск, а в качестве модельного - широкий спектр материалов, очень близких по свойствам к конструкционным термопластам. Данный метод позволяет получать прозрачные и окрашенные прототипы с различными механическими свойствами - от мягких, резиноподобных до твердых, похожих на пластики.

Производители оборудования:

3D Systems www.3dsystems.com

Objet Geometries Ltd. www.2objet.com

SolidScape, Inc. www.solid-scape.com

Технология склеивания порошков (binding powder by adhesives)

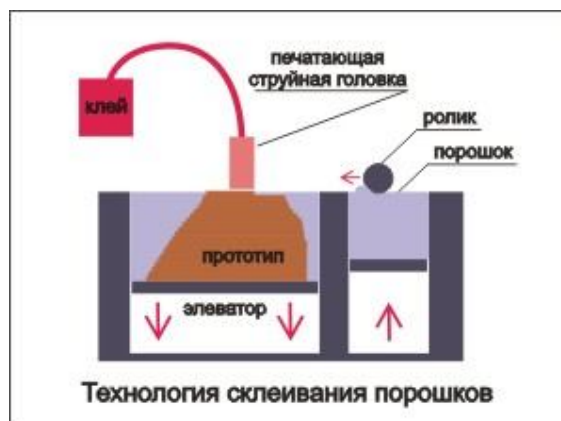


Рисунок 5 – binding powder by adhesives – технология

Используются крахмально-целлюлозный порошок и жидкий клей на водяной основе, который поступает из струйной головки и связывает частицы порошка, формируя контур модели. По окончании построения излишки порошка удаляются. Для увеличения прочности модели, имеющиеся пустоты могут быть

заполнены жидким воском. Такие технологии позволяют не просто создавать 3D-объекты произвольной формы, но еще и раскрашивать их.

Производители оборудования:

Z Corporation www.zcorp.com

Технология LOM (Laminated Object Manufacturing – ламинирование листовых материалов).

Слои прототипа создаются при помощи ламинирования бумажного листа. Контур слоя вырезается лазером, а поверхность, которую нужно затем удалить, режется лазером на мелкие квадратики. После извлечения детали мелко порезанные излишки материала легко удаляются. Структура полученного прототипа похожа на древесную, боится влаги. Существует два типа процесса LOM1 и LOM2. При LOM1 листовой материал разрезается с помощью CO2 лазера, мощностью 25-50Вт, а при процессе LOM2 - с помощью механического резака.

Преимущества процесса - в наличии широкого спектра относительно недорогих исходных материалов. Один из наиболее популярных материалов - бумага. Прототипы, изготавливаемые по этому процессу, имеют самые большие линейные размеры среди изделий, изготовленных по технологиям других типов. Также велика и скорость изготовления изделия, в 5-10 раз быстрее, чем по другим технологиям. Точность процесса - +/- 127 мкм.

К недостаткам процесса относится ступенчатость получаемых поверхностей, что требует дополнительной обработки изделия, кроме того, существуют проблемы с удалением материала из внутренних полостей, а также большое количество отходов при изготовлении объектов-прототипов.

Существуют установки с размером рабочей камеры 560x810x500 мм, стоимость \$380000.

Производители оборудования:

Helisys, Inc. - выпуск прекращен

ВРМ-процесс (Ballistic Particle Manufacturing)

Точность ВМР-процесса определяется размером частиц, используемых для формообразования изделия. Обычно это частицы размером 50-100 мкм. Процесс должен вестись в инертной атмосфере или в вакууме, чтобы предотвратить окисление частиц. Для изготовления изделия необходимо создавать поддерживающие конструкции из материалов, которые затем легко отделяются от прототипируемого объекта.

Процесс позволяет добиться очень высокой точности формы +/- 7мкм при толщине слоя 13-17 мкм и линейной точности +/- 50 мкм. Объект изготавливается при температуре 18-24 градуса Цельсия со скоростью 310 мм/сек.

Преимущества процесса заключаются в его относительной дешевизне и экологичности.

Недостатком является небольшой спектр веществ, которые могут быть использованы для создания объекта-прототипа. Причем при работе установки можно варьировать только лишь параметры точности, либо производительности.

Стоимость установки с рабочей камерой 150x150x150 мм составляет около \$160000.

Точность изготовления прототипа в разных методах и на различных установках находится в диапазоне от 0,05 до 0,2 мм по каждой координате. При уменьшении толщины слоя точность растет, но падает скорость изготовления, и как следствие - повышается его стоимость. Стоимость прототипа зависит, в первую очередь от его объема. По состоянию на 2006 год цена одного кубического сантиметра модели составляла от 1 до 5 долларов США, в зависимости от используемой технологии.[1,2]

Исходными данными для SLA установки является файл в формате STL, для создания которого существует два типа программ. Один тип программ для моделей с правильными формами (машиностроительные модели), другие для моделей с неправильными формами(природного происхождения). В нашей

работе мы будем подготавливать машиностроительную модель в программе SolidWorks. Нашей моделью будет корпус настольных часов.

Создание любой модели начинается с создания нового файла, для этого нажимаем на верхней панели кнопку **Создать**, далее выбираем **Трёхмерное представление одного компонента**, нажимаем **ОК**. Следующим шагом будет создания основания нашей будущей модели, для этого создадим эскиз, на панели инструментов выберем **эскиз**, на экране отобразятся плоскости, выбираем переднюю плоскость, на ней строим прямоугольник, выбираем на панели инструментов **прямоугольник** и строим его, нет необходимости быть очень точными с размерами. Далее построим осевую линию, она будет отображена на эскизе, но не будет участвовать при вытяжке эскиза, выбираем на панели инструментов **осевая линия**, соединяем левую верхнюю и правую нижнюю точки прямоугольника. Далее держа нажатой клавишу Ctrl, выбираем осевую линию и исходную точку, далее в окне PropertyManager в разделе **Добавить взаимосвязи** выбираем **Средняя точка**. Следующим шагом будет нанесение размеров, на панели инструментов нажимаем кнопку **Автоматическое нанесение размеров**, выбираем верхнюю кромку прямоугольника, нажимаем над линией, чтобы нанести размер, появится диалоговое окно **Изменить**, устанавливаем значение равное 100мм, на боковой линии проделываем тоже самое и устанавливаем значение 60мм. Основание готово (см. рис 6).

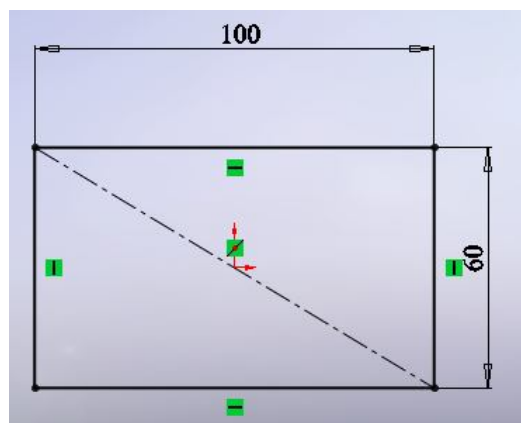


Рисунок 6 - основание

Следующим шагом будет вытяжка основания, для этого на панели инструментов нажимаем кнопку **Выход из эскиза. PropertyManager Вытянуть** отображается в левой части окна, вид эскиза изменяем на **Триметрию**. В PropertyManager в разделе Direction 1(Направление 1), выбираем **На заданное расстояние** для параметра **Граничное условие**, устанавливаем для параметра **Глубина** значения, равное 100.

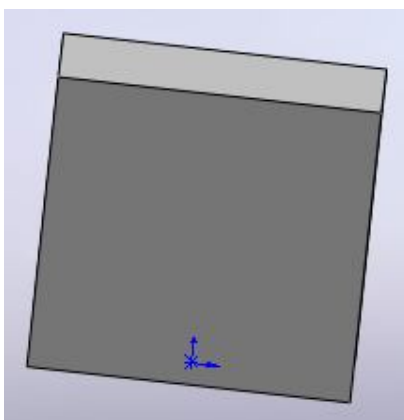


Рисунок 7

Нажимаем **ОК**, получаем параллелепипед (см. рисунок 7). Далее создадим скругление верхней грани нашей модели. Для этого выберем верхнюю грань, на панели инструментов выберем кнопку **Скругление**, в **PropertyManager** установим значение **радиуса**, равное 10. Следующим шагом будет создание оболочки, для этого выберем нижнюю грань нашей модели, на панели инструментов выберем **Оболочка** и установим толщину, равную 2.5. Оболочка готова (см. рисунок 8).

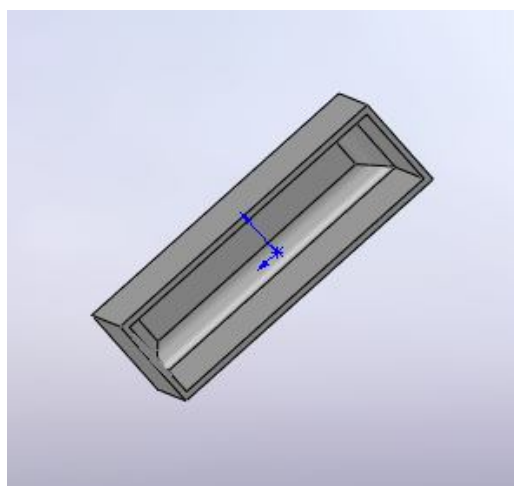


Рисунок 8 – оболочка

Далее выберем боковую грань и нажмём кнопку **эскиз** на панели инструментов, нажимаем кнопку **многоугольник** на панели инструментов, в PropertyManager устанавливаем количество сторон, равное 6 и строим три шестиугольника. Далее выходим из эскиза и на панели инструментов нажимаем кнопку **Вытянутый вырез**, в PropertyManager устанавливаем **направление** на заданное расстояние и значение **Глубина** устанавливаем, равное 100. Следующим шагом выбираем переднюю грань, на панели инструментов нажимаем кнопку **Смещение объектов**, в PropertyManager устанавливаем **смещение**, равное 10, далее выходим из эскиза и на панели инструментов нажимаем кнопку **Вытянутый вырез**, в PropertyManager устанавливаем **направление** на заданное расстояние и значение **Глубина** устанавливаем, равное 29. Наша модель готова (см. рисунок 9).

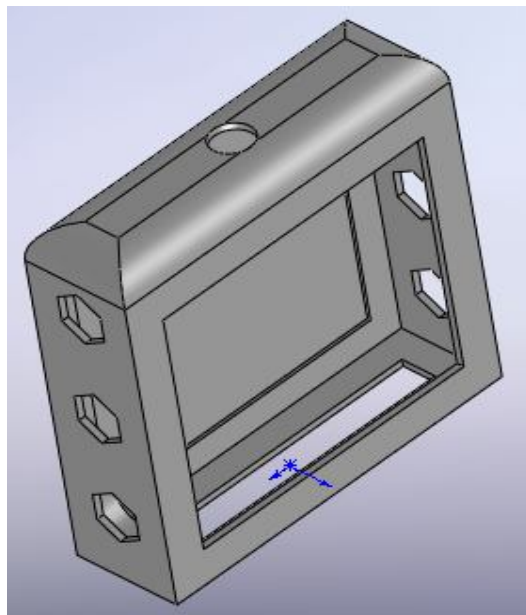


Рисунок 9 - модель

Следующим шагом будет сохранение модели в формате STL. Немного об STL-формате STL-формат является основным для используемой нами программы, он имеет несколько особенностей, которые полезно знать при пересохранении в этом формате.

Это поверхностный триангулированный формат. Всё, что вы видите на экране в STL-формате - это совокупность треугольников, сшитых в

поверхности. Соответственно, качество модели зависит от того, сколькими треугольниками представлена модель. Чем больше треугольников, тем "глаже" кривые поверхности, но больше файл модели и время её производства, и наоборот. При сохранении в STL-формате размеры (количество) треугольников можно регулировать. Чтобы треугольники не испортили прототип, они должны быть не меньше точности установки. Делать их ещё меньше нет смысла: файл получается больше, а результат одинаков.

Размер STL-файла может оказаться от одного до сотен мегабайт в зависимости от того, с каким размером треугольников сохранена модель.

Следующим шагом будет подготовка модели в специальной программе подготовки данных для выращивания, существует два вида программ подготовки первый вид – специализированные программы для конкретной модели установки и универсальные которые подходят для любой установки.

Мы будем подготавливать модель в универсальной программе «Magicks».

Открываем нашу модель в программе, выбираем стереолитографическую установку для этого нажимаем **File>Machine setup** выбираем из списка стереолитографическую установку, нажимаем **ок**. Далее при помощи кнопки **Translate** на панели инструментов устанавливаем модель на платформу, указав на **оси Z** значение равное 10. Далее разбиваем модель на слои, для этого на панели инструментов нажимаем кнопку **Slice selected** и устанавливаем толщину слоя (чем толще слой тем хуже качество, но быстрее производство, и наоборот). Следующим шагом является генерация подпорок, для этого на панели инструментов нажимаем кнопку **Generate supports**.

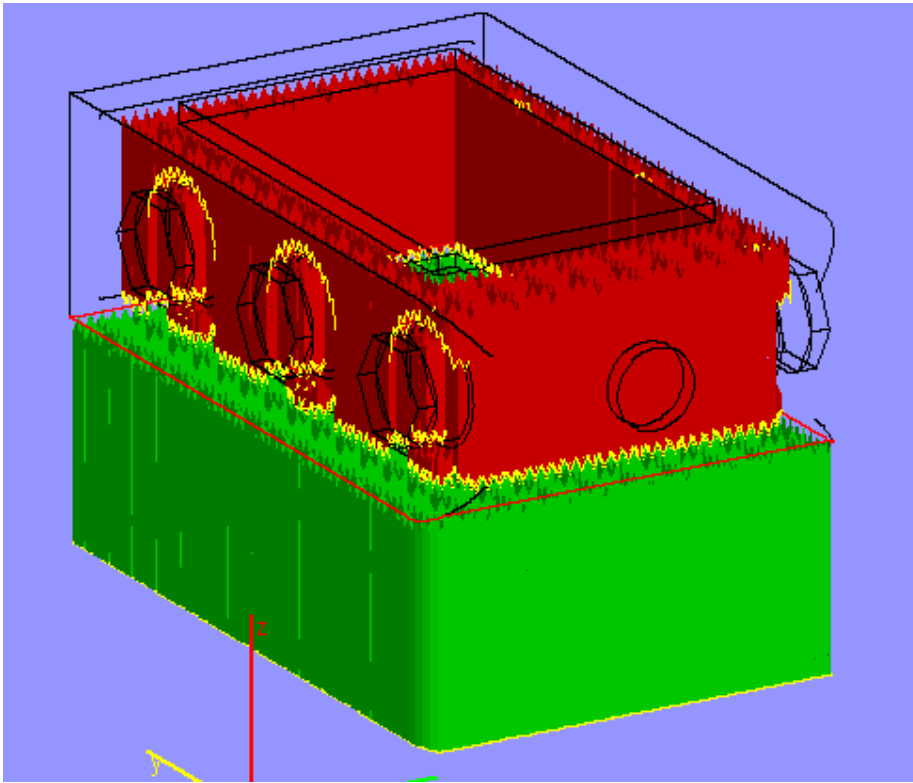


Рисунок 10 - подпорки

Подпорки (см. рисунок 10) - это технологические элементы, которые удерживают только что сформированную лазером на поверхности жидкости тонкую твёрдую пленку от уплыwania. Поскольку толщина слоя 0.1мм, то эта пленка может легко быть сдвинута ножом или даже гидродинамическими течениями при движении платформы. Поэтому любая большая поверхность, близкая к горизонтальной, выращивается на подпорках. Подпорки формируются также как и деталь, лазером в виде тонких стенок с зубчиками.

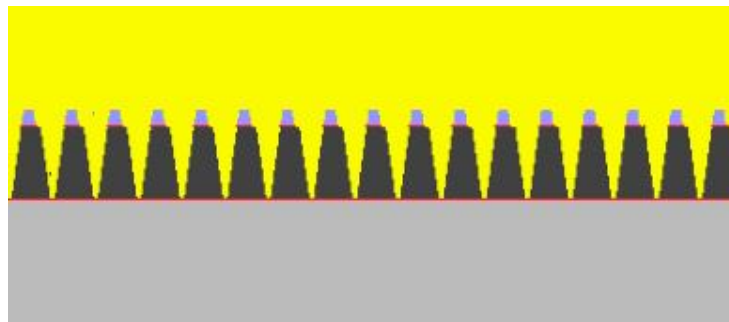


Рисунок 11 - зубья

Зубчики (см. рисунок 11) нужны для того, чтобы подпорку можно было легко отломать, не повредив при этом деталь. Это, кстати, накладывает ещё одно ограничение на прототип: нежелательны элементы толщиной менее 1мм, поскольку при отламывании подпорок они с большой вероятностью будут повреждены. Желательно, чтобы подпираемая поверхность была простая по конфигурации, прочная, ведь после отламывания останутся корешки зубчиков, которые удаляются шлифованием. Со сложной поверхностью могут возникнуть трудности. Поэтому такие поверхности желательно располагать "лицом вверх", чтобы подпорок на них не было изначально. Ну и последнее, о чём надо помнить - подпорки нужно как-то удалить из детали после выращивания. В качестве примера можно привести полый куб (см. рисунок 12) . Для выращивания нужно будет непременно поддержать подпорками верхнюю стенку изнутри.

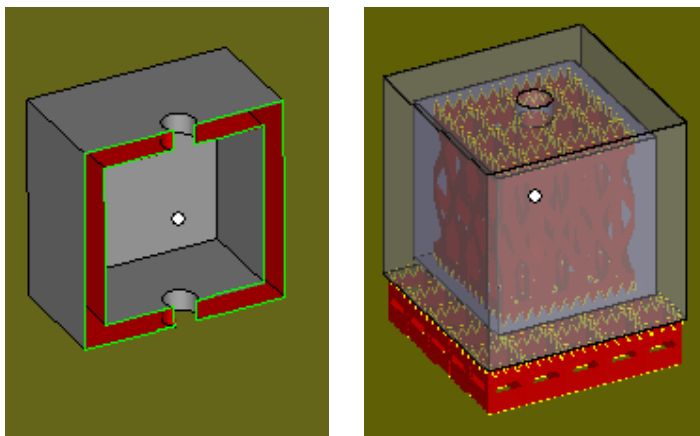


Рисунок 12 - куб

После выращивания остатки смолы будут слиты через отверстия, но извлечь подпорки не удастся никак. Подобные детали можно изготавливать только по частям с последующей склейкой. Конечно это пример скорее "из области фантастики", но о том, как будут из прототипа извлекаться подпорки, нужно всегда помнить при проектировании. [2]

Виды подпорок сделанных в программе «Magicks» (см рисунки 13,14,15,16).

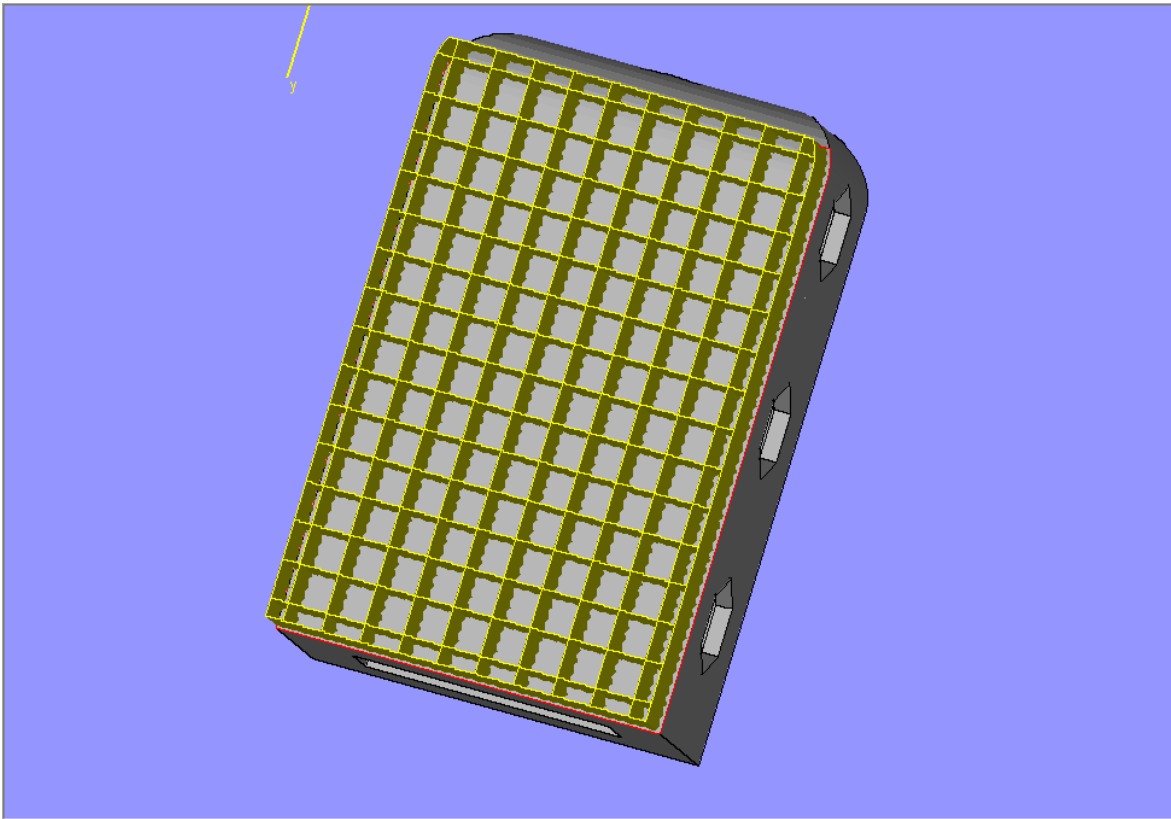


Рисунок 13 - Блок

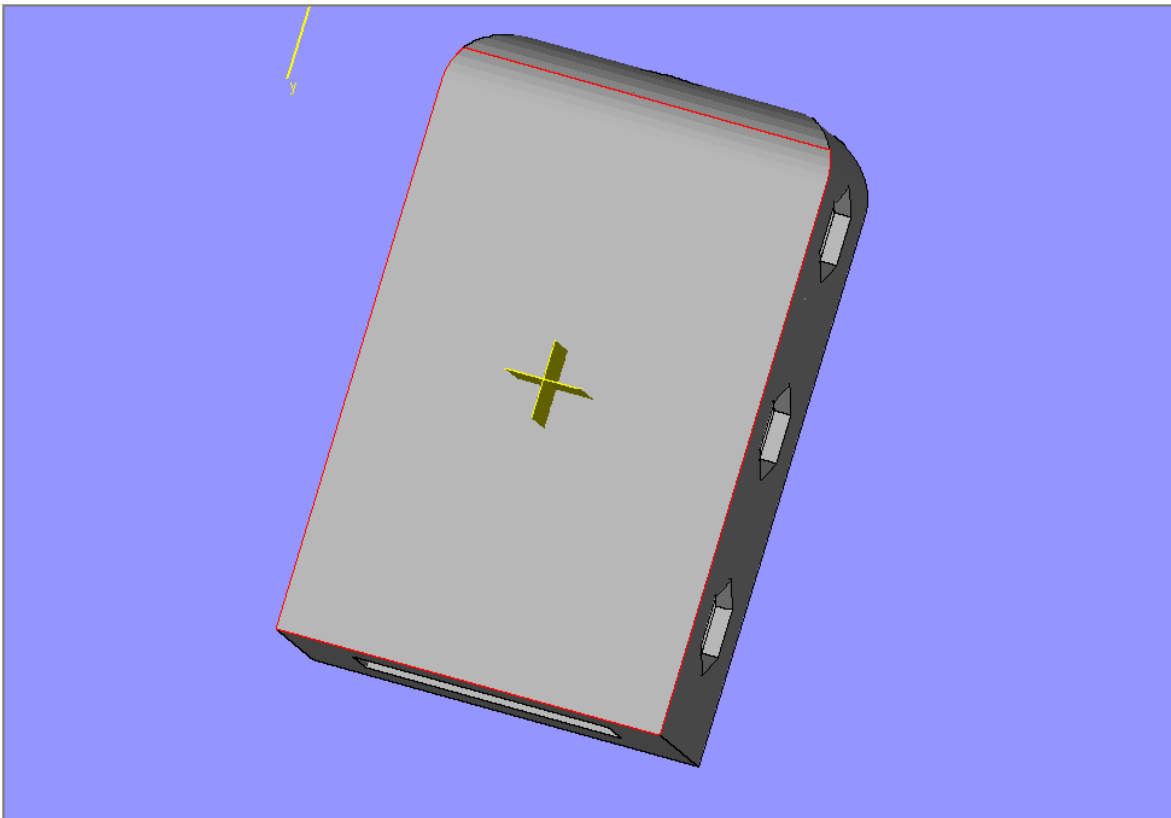


Рисунок 14 - Точка

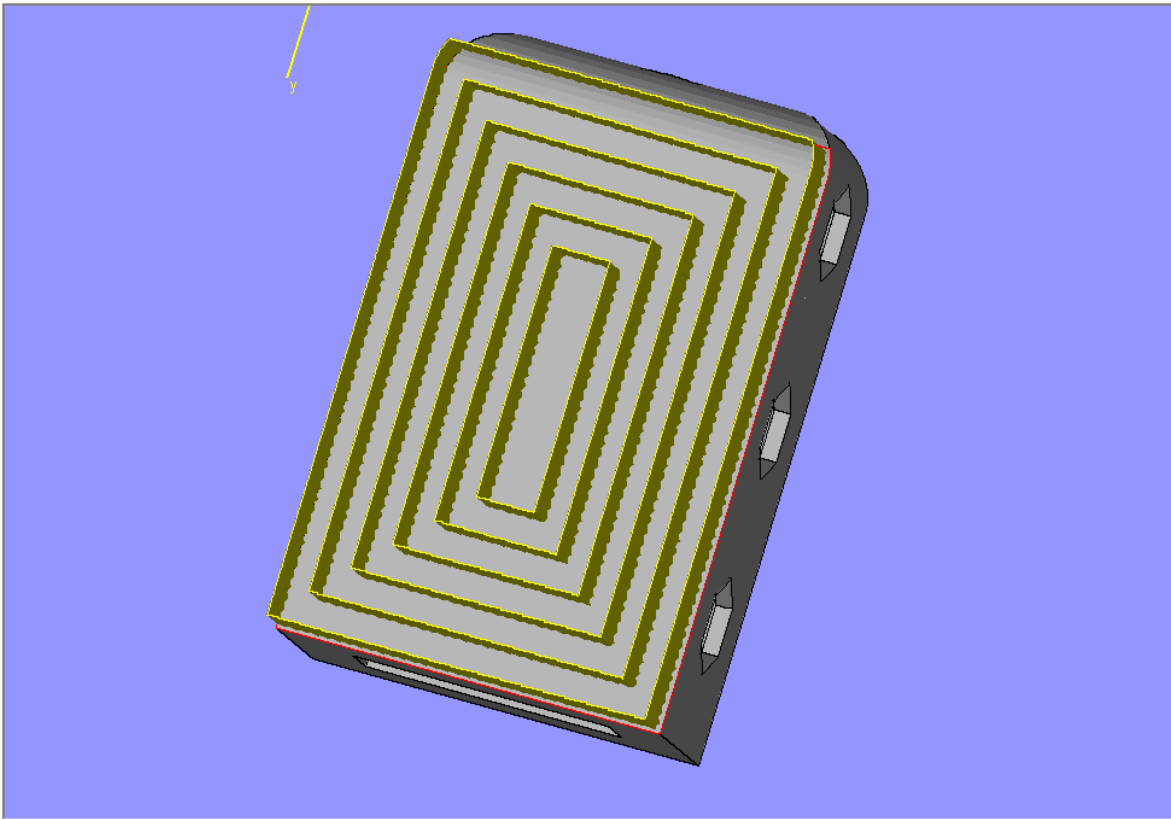


Рисунок 15 - контур

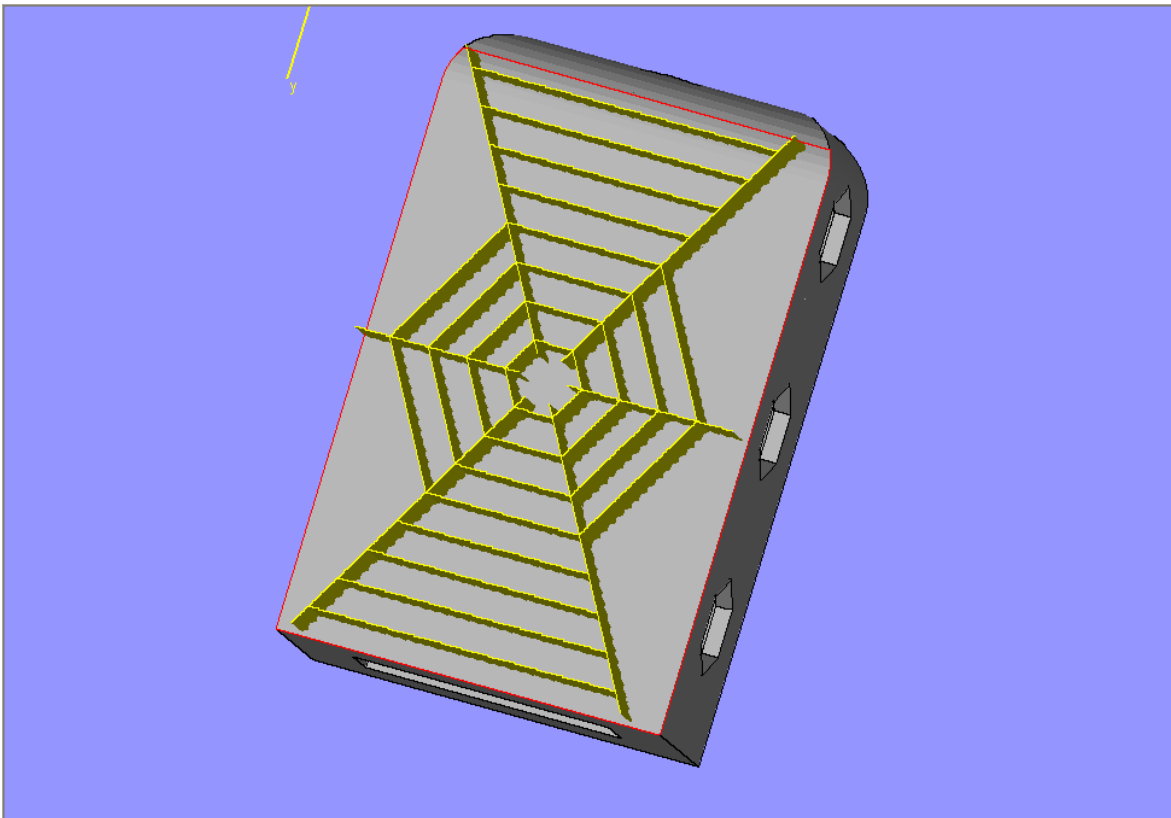


Рисунок 16 - паутина

Далее сохраняем информацию в виде отдельных файлов в формате CLI. Последним шагом является конвертация данных в формат воспринимаемый установкой.

Модель готова к выращиванию.

В результате проделанной работы, была создана и подготовлена к выращиванию модель.

Источники:

[1] – www.espotec.ru

[2] – www.itc.ssau.ru