Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И БЫСТРОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Методические указания к практическим работам по курсу «Аддитивные технологии в машиностроении» для студентов направления

15.03.05 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

очной и заочной форм обучения

Энгельс 2024 г.

УДК 621.9.07
ББК 34.5-5

Стекольников М.В., Тихонов Д.А. Аддитивные технологии и быстрое производство: Методические указания к практическим работам по курсу «Аддитивные технологии в машиностроении» – Энгельс: Изд-во ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2023. – ___ с.

Рецензенты**:**

В учебно-методическом пособии приведены методические рекомендации для выполнения лабораторных работ по дисциплинам, связанным с аддитивными технологиями и быстрым производством изделий

УДК 621.9.07
ББК 34.5-5

Одобрено редакционно-издательским советом
ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Брошюра издается в авторской редакци

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 4
ГЛАВА 1 ТРЕХМЕРНАЯ ПЕЧАТЬ 5
1.1 MakerBot Replicator 2 7
1.2 Prism Mini 8
1.3 Применение MakerBot Replicator 2 9
1.4 Применение Prism Mini 13
ГЛАВА 2 ЛАЗЕРНАЯ ГРАВИРОВКА 17
2.1 Общие сведения о лазерной гравировке 17
2.2 Гравировка и вырезание изображения 19
ГЛАВА 3 ТРЕХМЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ 26
ГЛАВА 4 ФРЕЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА 35
4.1 Фрезерование на ЧПУ-станке HIGH-Z S-1400 36
4.1.1 Подготовка задания 37
4.1.2 Подготовка фрезерного станка и работа на нем 41
ЛИТЕРАТУРА 46

Введение

Эволюция способов производства берет свое начало в далекой древности. С развитием технологий совершенствовались и инструменты, которые использовал человек для создания вещей. Люди всегда нуждались в различных товарах, и наступил момент, когда ручные способы производства и различные мануфактуры уже перестали справляться с требуемыми объемами. Совместно с развитием техники (появление ткацких станков, парового двигателя) это привело к первой промышленной революции и началу индустриализации.

За первой промышленной революцией последовала эпоха так называемой «Индустрии 2.0». К ней принято относить создание первой производственной линии, развитие конвейерного производства. 1969 год принято считать появлением «Индустрии 3.0», которая обусловливается рождением программируемой логики и её использованием в процессе производства (появление станков с ЧПУ, автоматизация процессов и т.д.)

Плавно переходя к современности, стоит указать на основные тенденции развития цифрового производства. Умные дома, интернет вещей, дополненная реальность, Big Data – все это входит в понятие «Индустрии 4.0» [1,2]. Одними из ключевых направлений современной индустрии являются аддитивные технологии и быстрое производство, им и посвящено данное пособие.

ГЛАВА 1
ТРЕХМЕРНАЯ ПЕЧАТЬ

Годом появления 3D печати считается 1984 год, в этом году американец Чарльз Халл изобрел технологию выращивания физических объемных объектов по слоям из фотополимеризующейся композиции (ФПК). Основной физический принцип, который лег в основу зарождающейся технологии – застывание ФПК под воздействием света. Данная технология получила название «стереолитографии». Чаще всего в современной стериолитографии используется свет ультрафиолетового диапазона.

Другой способ изготовления объемных деталей был предложен в 1985 году Михаило Фейгеном. Он заключался в создании деталей послойно из листового материала: пленок, полиэстера, композитов, пластика, бумаги и т.д. Слои скрепляются между собой при помощи разогретого валика. Такая технология получила название «производство объектов ламинированием» (LOM). Суть метода заключается в вырезании слоев материала по контуру с помощью лазера и их склеивании друг с другом.

Затем в 1986 году доктора Карл Декарт и Джо Биман в Университете штата Техас в Остине разработали и запатентовали метод селективного лазерного спекания (SLS). Слои порошкового материала последовательно спекаются при помощи высокомощных лазеров. SLS не требует построения опорных структур, навесные части модели поддерживаются неизрасходованным материалом, что позволяет создавать геометрически сложные модели при минимальных затратах материала [3].

На данный момент широко распространённой технологией является моделирование методом наплавления (FDM). Она была разработана С. Скоттом Трампом в конце 1980-х годов и впервые представлена компанией Stratasys в 1990 году. Технология FDM получает все большее распространение среди энтузиастов, создающих принтеры с открытым исходным кодом, а также коммерческих компаний, ввиду истечения срока действия оригинального патента. В 3D-печати часто используют аналогичный метод – «производство способом наплавления нитей», или FFF, для использования технологии в обход юридических ограничений. В свою очередь, широкое распространение технологии привело к существенному снижению цен на 3D-принтеры, использующие данный метод производства. Она представляет собой моделирование путём декомпозиции плавящегося материала. При использовании данной технологии объемные детали изготавливаются путем последовательного нанесения слоев, повторяющих контуры цифровой модели. Как правило, в качестве материалов для печати выступают термопластики, поставляемые в виде катушек нитей или прутков.

В учебном пособии рассматривается технология FDM на примере двух 3D-принтеров: MakerBot Replicator 2 (рисунок 1.1) и Prism Mini (рисунок 1.2).

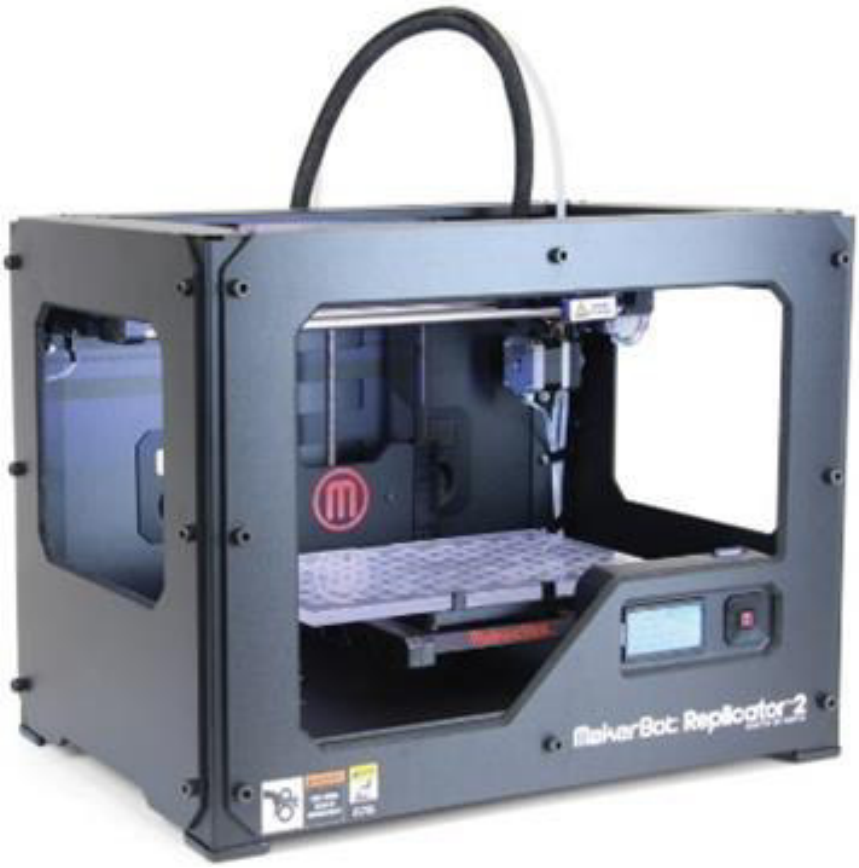


Рисунок 1.1. MakerBot Replicator 2.

Рисунок 1.2. Prism Mini.

1.1 MakerBot Replicator 2

Персональный 3D-принтер MakerBot Replicator 2 обладает высоким уровнем разрешения печати в 100 микрон. Устройство может создавать 3d-модели размерами до 285x153x155 мм с высокой скоростью печати: 50 мм/с. Принтер той же серии Replicator 2X оснащен подогреваемой платформой, которая позволяет производить печать ABS-пластиком, исключая его скольжение и деформацию слоев. [4]

Технические характеристики:

- Технология печати: Моделирование методом наплавления (FDM/FFF)
- Количество печатающих головок: 1
- Диаметр сопла (мм): 0,4
- Область печати 285x153x155 мм
- Толщина слоя может настраиваться от 100 до 300 мкм
- Скорость печати 40 миллиметров в секунду.
- 3D-принтер подключается по USB.
- Оснащён ЖК-дисплеем

Расходные материалы:

- Типы материалов: Пластик
- Материалы: PLA-пластик
- Диаметр нити: 1,75 мм

Программное обеспечение:

Для управления принтером используется специализированное ПО от разработчика – MakerBot Desktop (в 2017 году было представлено новое программное обеспечение MakerBot Print). Основное меню программы состоит из четырех разделов: «Explore» (Обзор), «Library» (Библиотека), «Prepare» (Подготовка) и «Store» (Магазин).

Раздел Explore (Обзор) предоставляет доступ к веб-ресурсу Thingiverse.com, который представляет собой открытую площадку для хранения 3D-моделей. Пользователь сайта может выгрузить любую модель для бесплатного общего доступа. Библиотека сообщества Thingiverse насчитывает более 800 тысяч моделей и с каждым днем это число растет.

Раздел Library (Библиотека) предоставляет доступ к облачной библиотеке MakerBot CloudLibrary и помогает упорядочить файлы 3D-моделей;

Раздел Prepare (Подготовка) является основным рабочим окном программы. Этот раздел используется для подготовки 3D-моделей для печати, создания файлов УП и передачи их непосредственно на принтер.

Раздел Store (Магазин) позволяет приобретать файлы для печати платных 3D-моделей.

Программа совместима с Windows, Mac OS, Linux и способна работать с форматами *STL*, *OBJ* и *THING*.

1.2 Prism Mini

PRISM Mini – настольный дельта 3D-принтер от российского производителя 3DQuality. Рабочая область печати составляет 150x150x240 мм. PRISM Mini оснащён подогреваемой платформой, что позволяет использовать разнообразные расходные материалы. Устройство обладает прочной рамой из конструкционного профиля, магнитными держателями экструдера, двухстороннем обдувом сопла для более качественной и детализированной печати, закрытым корпусом из композитного алюминия.

Технические характеристики:

- Технология печати: Моделирование методом наплавления (FDM/FFF)
- Количество печатающих головок: 1
- Диаметр сопла (мм): 0,4
- Область построения, мм: 150x150x240
- Толщина слоя (мм): 0.05-0.2
- Скорость печати: до 150 мм/сек
- Платформа с подогревом
- Интерфейсы: USB, Card Reader

Расходные материалы:

- Типы материалов: пластик
- Материалы: PLA-пластик, ABS-пластик, HIPS, Нейлон
- Диаметр нити (мм): 1,75

Программное обеспечение:

Cura — программа, созданная разработчиками 3D-принтера Ultimaker, она является бесплатной, архитектурно состоит из Python GUI, и CuraEngine. Первая представляет собой GUI (graphical user interface) графический интерфейс пользователя, а вторая служит для перевода 3D-модели в GCode (G-код – условное именование языка программирования устройств с числовым программным управлением) команды для 3D-принтера. Cura может работать с любым RepRap совместимым 3D-принтером. Так же поддерживает расширение посредством плагинов, написанных на Python.

Slic3r – аналог Cura, выполняет задачи перевода 3D-модели в GCode с более широким перечнем настроек.

PrintRUN – программа, созданная для коммуникации компьютера и RepRap 3D-принтера (принтера работающего на микроконтроллере Arduino). Программа используется для калибровки 3D-принтера и пересылки созданного в предыдущих программах GCode на печать.

1.3 Применение MakerBot Replicator 2

Цель: изучение и приобретение навыков работы с трехмерным принтером Makerbot Replicator 2, печатающим по технологии FDM.

Задачи:

1. Подготовить трехмерную модель;
2. Загрузить ее в ПО принтера и подготовить УП для печати;
3. Подготовить трехмерный принтер к работе;
4. Отправить УП на печать;
5. Извлечь готовую модель и очистить от поддержек.

Последовательность выполнения работы и результаты:

Открываем программу Makerbot Desktop и с помощью команды Add File в разделе Prepare загружаем 3D-модель в рабочую область (рисунок 1.3).

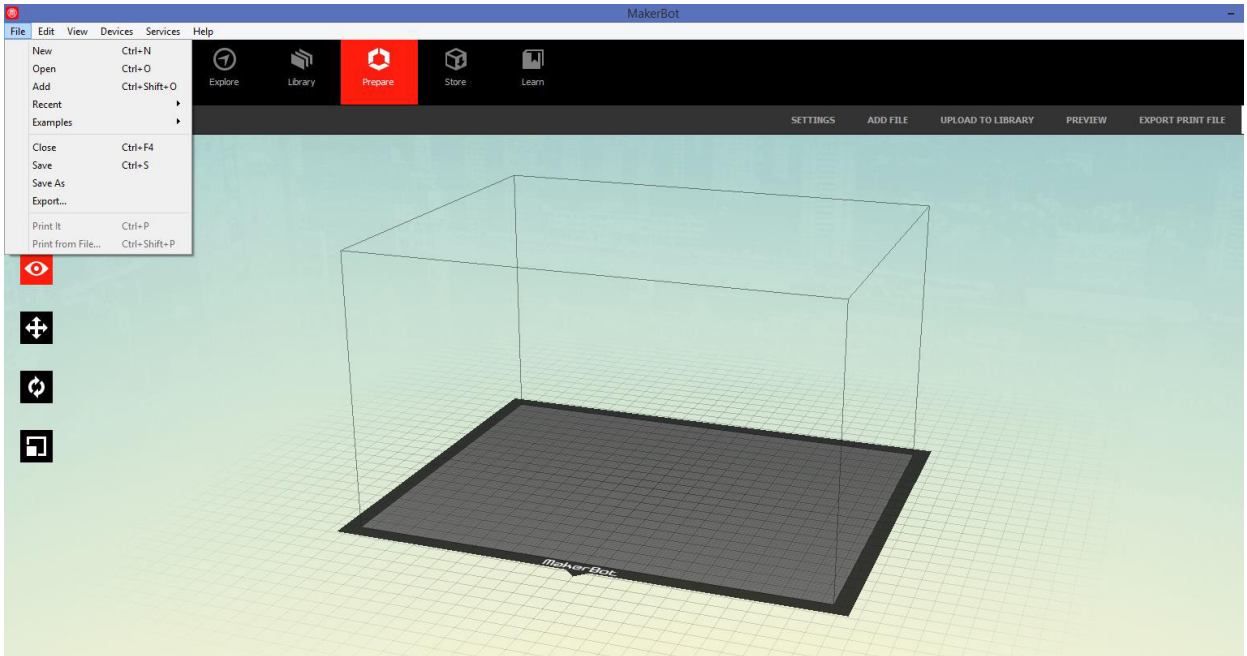


Рисунок 1.3. Интерфейс Makerbot Desktop.

Следующим этапом задаются размеры модели. При загрузке модели в программу у нее остаются те размеры, которые были заданы при

моделировании. В случае, если модель превосходит размеры рабочей области принтера, программное обеспечение предложит уменьшить её до максимально подходящих габаритов.

В MakerBot Desktop имеется возможность изменить размеры в трех плоскостях XYZ. Для этого необходимо выбрать модель для масштабирования и использовать раздел Scale (рисунок 1.4). Габаритные размеры модели не должны превышать допустимые принтером. Масштабирование можно производить как с сохранением пропорций модели, так и по каждой оси отдельно. Также в левой зоне программы есть инструменты для перемещения модели в рабочей зоне принтера и её поворачивания по осям.

Рисунок 1.4. Размеры модели в разделе Scale.

После настройки положения, масштабов и ориентации модели следует настроить параметры печати. Для этого открываем настройки печати (рисунок 1.5), указываем температуру экструдера, отмечаем наличие Raft и Support.

Raft (Подложка) – флажок устанавливается, если требуется печать модели на подставке (подложке). Подложка необходима для любых

опорных структур, а также обеспечивает хорошую адгезию к рабочей поверхности. После снятия готового объекта с рабочей поверхности подложку можно легко удалить.

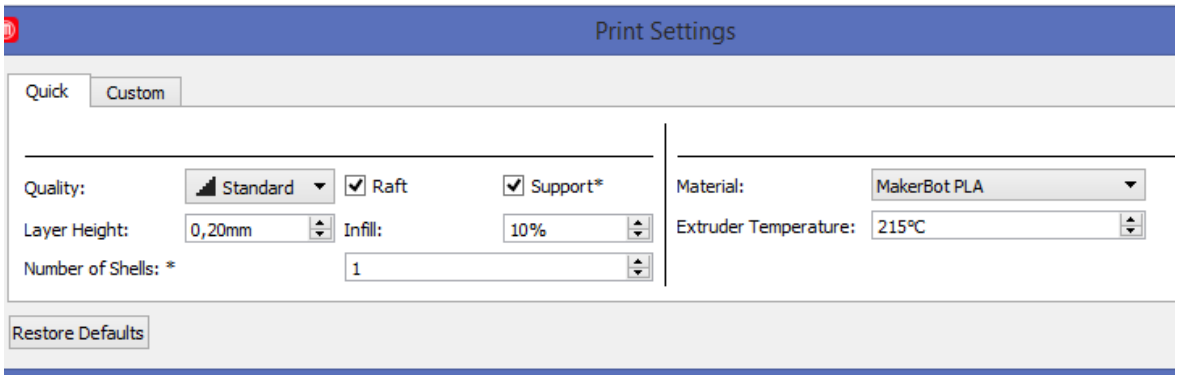


Рисунок 1.5. Настройки печати.

Supports (Опоры) – флажок устанавливается, чтобы напечатать объект с опорными структурами. MakerBot Desktop автоматически создает опоры для любых нависающих частей объекта, чей угол наклона по отношению к рабочей поверхности составляет 68 градусов (при желании этот угол можно настроить во вкладке Support). После снятия готового объекта с рабочей пластины опоры можно легко удалить.

Для использования расширенных настроек печати следует выбрать вкладку Custom (рисунок 1.6).

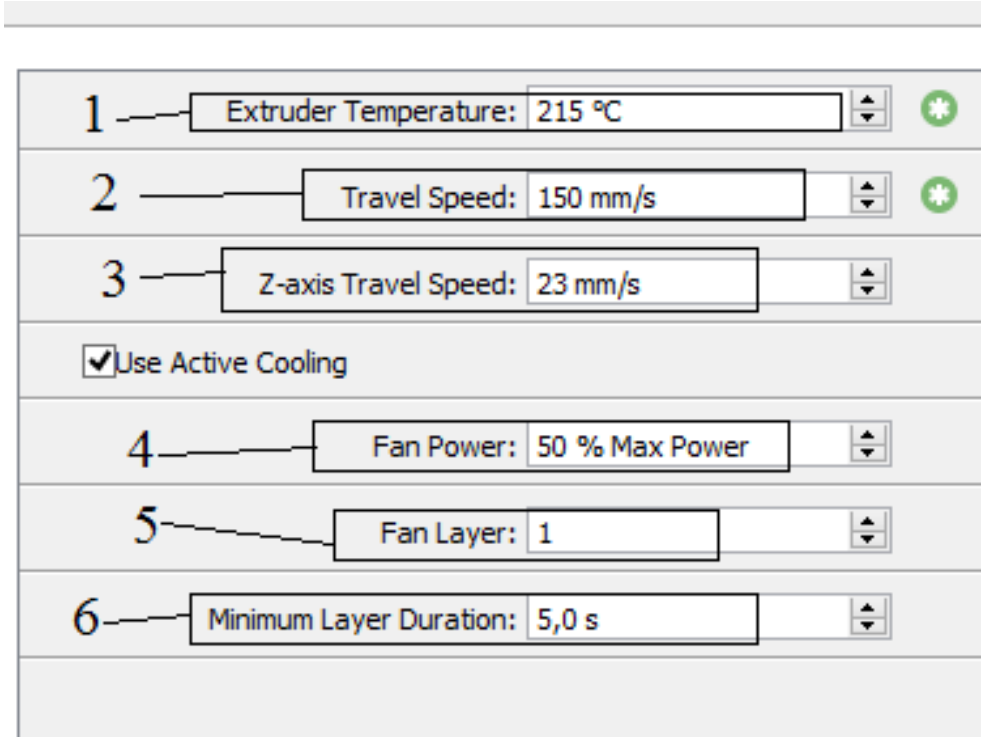


Рисунок 1.6. Настройка режимов печати.

В главном окне настройки устройства вы можете видеть:
1 – температура экструдера,
2 – скорость движения экструдера,
3 – скорость движения экструдера по вертикальной оси Z,
4 – мощность вентилятора,
5 – настройка определяет уровень охлаждения вентилятора,
6 – минимальное время заполнения одного слоя.

В графе настроек рекомендуется установить значение 210 градусов для печати PLA-пластиком. Охлаждающий вентилятор следует отключить (Use active cooling).

Другие вкладки позволяют настроить:

Extrusion speed – скорость движения экструдера для каждого типа элементов в отдельности (поверхность модели, подложка, поддержки, заполнение и т.д.)

Infill – заполнение детали и тип заполняющей структуры (сотовая сетка, линейная сетка и т.д.). Рекомендуемое значение для типовых моделей – 20%.

Model Properties – настройка отдельных элементов модели (толщины стенок, их количества и т.д.).

Raft – настройка подложки.

Supports and Bridging – настройка поддерживающих структур.

Extruder – настройка характеристик пластика и детальные настройки экструдера.

Устанавливаем катушку с выбранным материалом и заправляем конец нити в экструдер.

Нажимаем на клавишу «Preview», которая создаст управляющую программу, покажет время печати и объем пластика, который уйдет на создание объекта (рисунок 1.7). В случае, если все параметра печати в порядке, можно нажимать клавишу «Print», инициализирующую печать.

После инициализации печати происходит калибровка принтера и нагрев экструдера. Затем, по достижении необходимой температуры экструдером, начинается печать модели. Первым проходом экструдера снимается остаток материала с прошлой печати путем формирования полосы материала у переднего края рабочей поверхности принтера. Затем принтер начинает печать подложки, если она была выбрана, или сразу печать подготовленной детали.

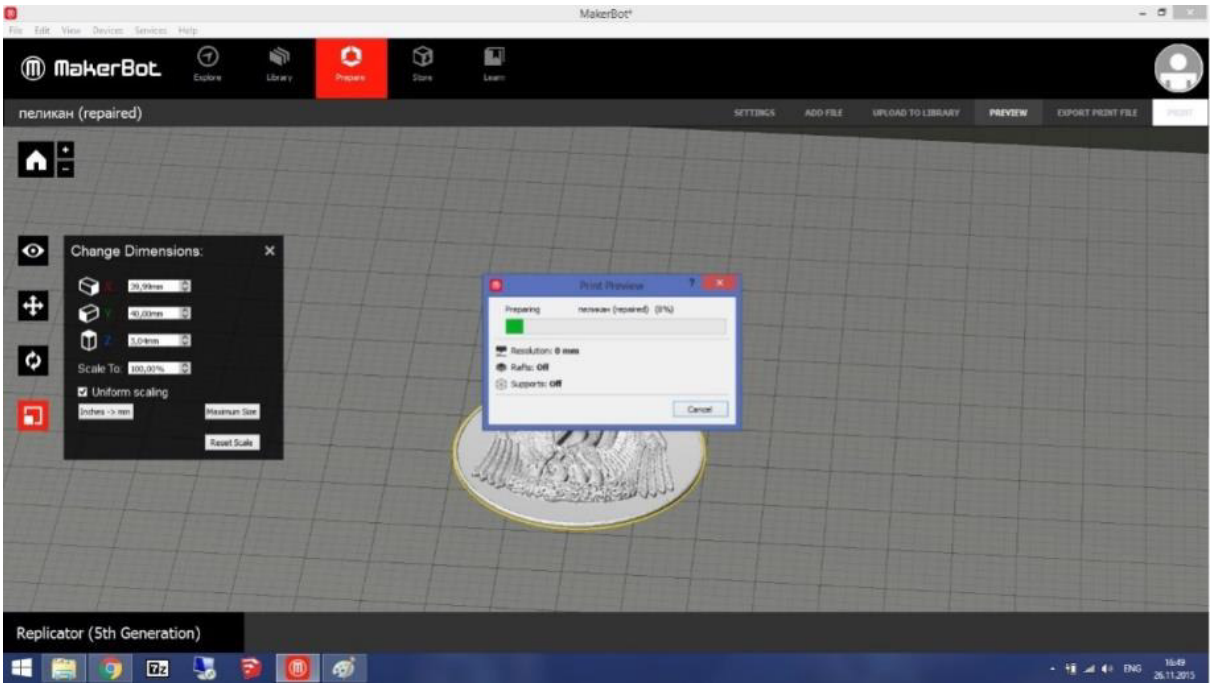


Рисунок 1.7. Подготовка к печати.

После того как принтер заканчивает печать детали, печатная головка смещается в нулевую точку. После окончания печати деталь следует снимать с помощью шпателя. Далее следует произвести постобработку детали – очищение от подложки, поддержки и т.п.

1.4 Применение Prism Mini

Цель: изучение и приобретение навыков работы с трехмерным принтером PRISM mini, печатающим по технологии FDM.

Задачи:

1. Подготовить трехмерную модель;
2. Загрузить ее в ПО принтера и подготовить УП для печати;
3. Подготовить трехмерный принтер к работе;
4. Отправить УП на печать;
5. Извлечь готовую модель и очистить от поддержек.

Последовательность выполнения работы и результаты:

Открываем ПО Cura. Настраиваем принтер для печати исходя из технических характеристик, указанных ранее. Загружаем 3D-модель в рабочую область. При загрузке файла модели в Cura, программа автоматически создаёт готовую к печати управляющую программу (УП).

В Cura, можно менять установки и выбирать тип печати. После подготовки УП, появляется кнопка «Сохранить траекторию инструмента», что дает возможность сохранить подготовленную программу.

Cura показывает описание файла печати:

- Оценочное время печати
- Количество необходимого материала
- Вес готового изделия.

Первым делом следуем произвести ориентацию модели в пространстве и её масштабирование.

Далее открываем настройки Basic (рисунок 1.8). Выставляем температуру печати 235 С° для ABS пластика или 215 С° для PLA пластика.

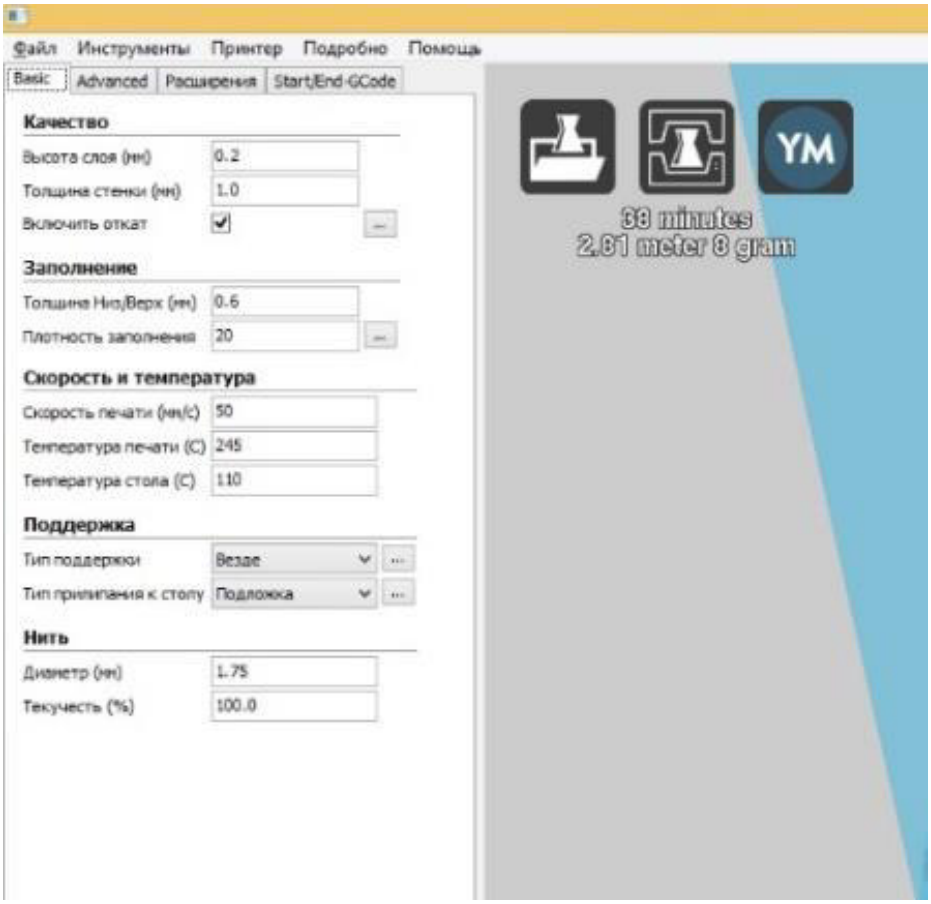


Рисунок 1.8. Настройки печати в Cura.

Затем, переходим во вкладку Advanced (рисунок 1.9). Убираем галочку с пункта «Включить охлаждающий вентилятор». Это необходимо, чтобы деталь хорошо прилипала к столу.

Выставляем позицию в печати в 0.0 и отмечаем круговое направление движения (circular). Далее создаем УП в виде G-кода.

Рисунок 1.9. Вкладка Advanced.

При помощи программы для управления принтером PrintRUN Pronterface через COM порт («communications port» – порт коммуникации, в данном случае в виде определенного USB выхода) подключаем принтер (кнопка Connect), частоту порта при этом следует установить в значение 250000. Информация о состоянии принтера отображается в правой части программы, как показано на рисунке 1.10.

В данной программе можно управлять принтером при помощи команд G-кода или предоставленными функциями, к примеру команда HOME возвращает печатающую головку в начальные координаты.

Необходимо включить подогрев стола и нагрева экструдера с установкой температуры для выбранного вида пластика (температура стола для ABS пластика – 100 градусов, для PLA – 60) (рисунок 1.11).

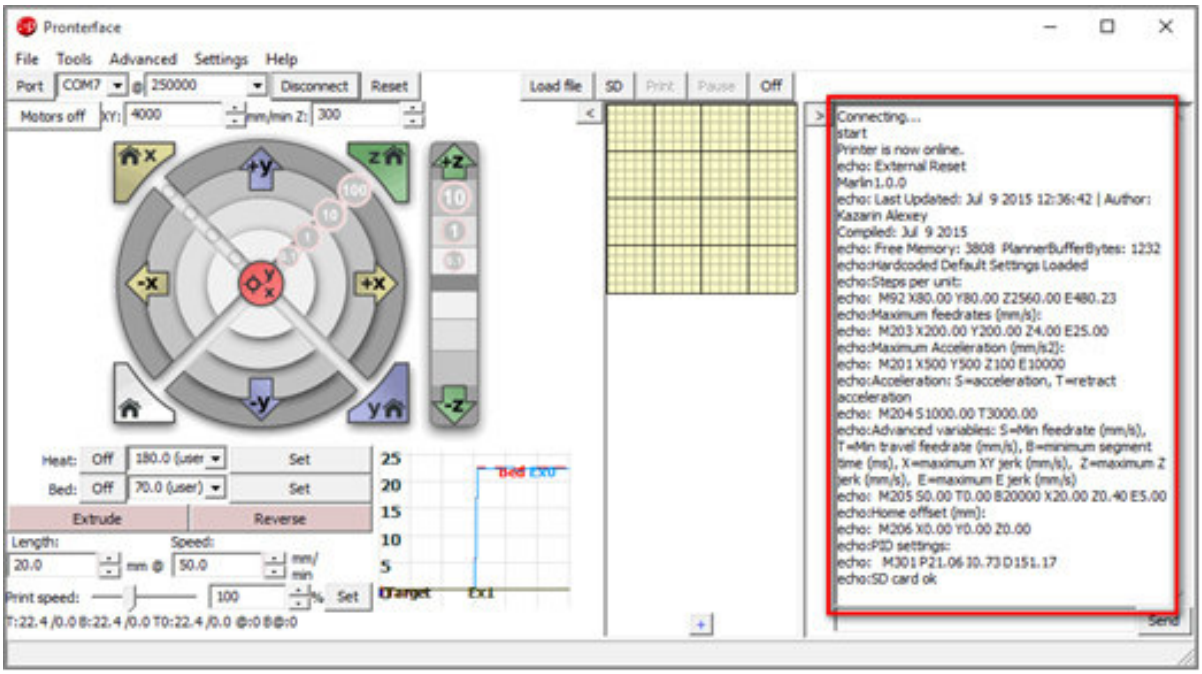


Рисунок 1.10. Интерфейс программы Pronterface.

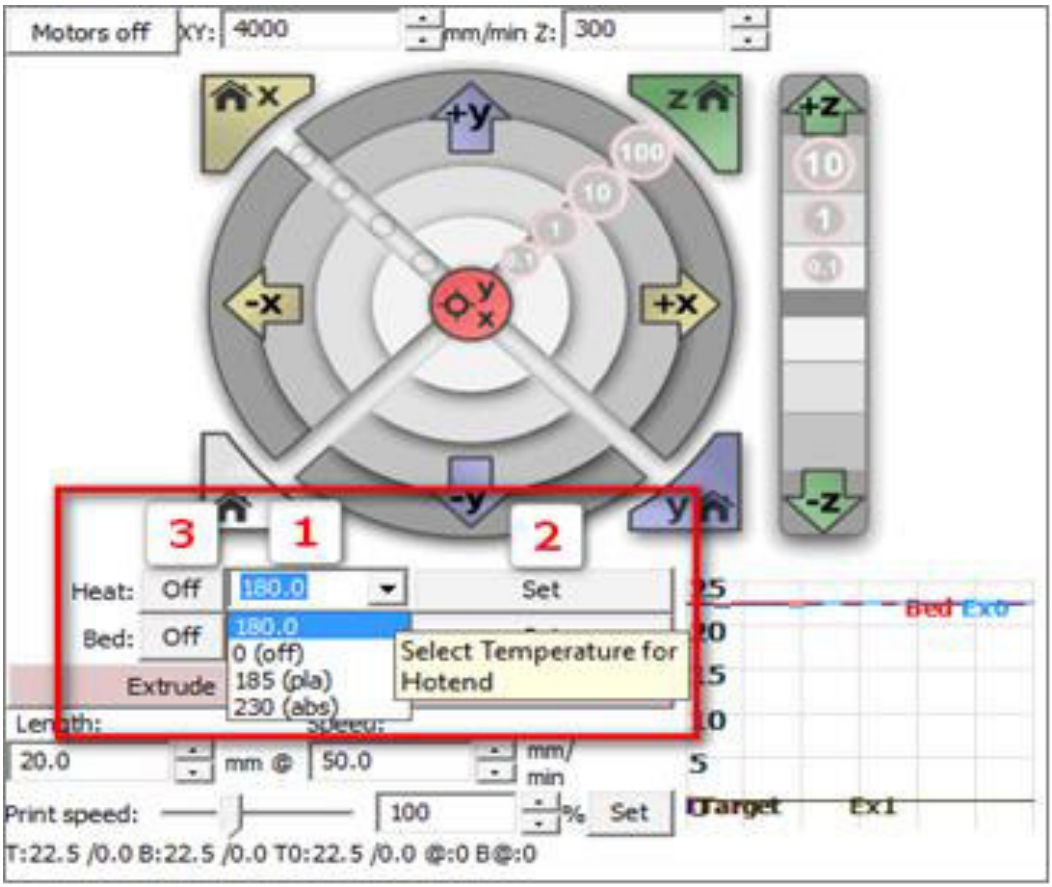


Рисунок 1.11. Установка температуры сопла и стола.

Загружаем УП (кнопка Load File) и начинаем печать (Print). После окончания печати производим постобработку детали.

ГЛАВА 2
ЛАЗЕРНАЯ ГРАВИРОВКА

2.1 Общие сведения о лазерной гравировке

Лазерная гравировка – это технология нанесения изображений на поверхность изделий, основанная на эффекте удаления части материала или его покрытия (например, краски, лакового покрытия или одного слоя у двухслойного пластика). Лазерная гравировка максимально автоматизирована и происходит при полном отсутствии ручных процессов, что позволяет снизить количество ошибок связанных с человеческим фактором в процессе производства. Лазером гравируются практически любые природные и многие синтетические материалы (дерево, оргстекло, пластик, кожа, камень, стекло, металлы и много других).

Бесконтактный метод лазерной маркировки позволяет использовать ее для изготовления изделий с повышенными требованиями к точности, изделий из хрупких, нежестких и других материалов, не допускающих ударного клеймения. Например, многие электронные компоненты чипов, кабелей, разъемов и тому подобные. Возможна гравировка цилиндрических форм (бокалы, стаканы, бутылки, кольца).

Преимущества лазерной резки перед другими способами раскроя:
- высокоточный способ раскроя;
- высокая скорость раскроя;
- возможность получить качественный срез не требующий дополнительной обработки;

ЛАЗЕР — это аббревиатура от «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation». То есть «усиление света посредством вынужденного излучения». Частицы света (протоны), возбужденные током, излучают энергию в форме света. Этот свет собирается в пучок, образуя лазерные лучи. [5]

Все лазеры состоят их трех компонентов, это:
- Внешний источник накачки
- Активная лазерная среда
- Оптический резонатор.

Источник накачки направляет внешнюю энергию к лазеру. Активная лазерная среда находится внутри лазера. В зависимости от конструкции активная лазерная среда может состоять из смеси газа (CO_2-лазер), кристаллического тела (YAG-лазер) или стекловолокна (волоконный лазер). Когда

энергия подается в активную лазерную среду через систему накачки, то это ведет к выделению энергии в форме излучения.

В данном пособии будет рассмотрен лазерный гравер на CO_2, а именно LaserPro Spirit LS40 (рисунок 2.1).

Рисунок 2.1. Лазерный гравер.

Характеристики:

- Мощность излучателя: 40Вт
- Тип излучателя: Отпаяный CO2-Лазер с высокочастотной накачкой
- Тип охлаждения излучателя: Воздушное, температура окружающей среды 15°-30°C
- Рабочая область: 740*460 мм
- Максимальный размер загружаемого материала: 800*570*176 мм (при сквозной загрузке материала)
- Макс. скорость двигателей 1,5 м/с

- Перемещение по оси Z: Автоматическое
- Система фокусировки: Автоматическая
- Разрешение DPI: 200, 250, 300, 500, 600, 1000
- Объем буфера памяти: 32 МБ
- 4-х строчный дисплей показывает имя текущего файла, общее время работы, мощность, скорость, файлы (загруженные в буфер памяти) меню настройки и диагностики.

2.2 Гравировка и вырезание изображения

Цель: изучить работу LaserPro Spirit LS40.

Задачи:
1. Гравировка различных материалов на основе растрового изображения.
2. Лазерная резка различных материалов на основе векторного изображения.

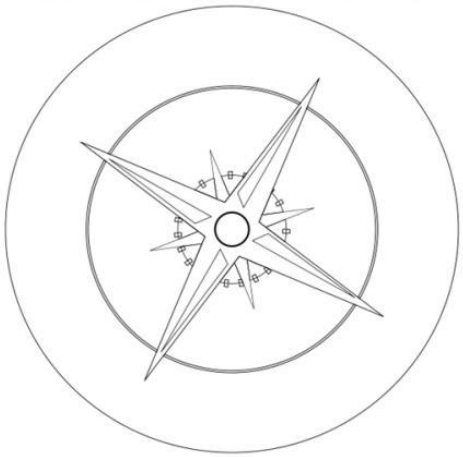
Последовательность выполнения работы и результаты:

В качестве ПО для данного гравёра используется графический редактор CorelDRAW. Выберем изображение для гравировки или готовим его непосредственно в программе. Для примера используем данный рисунок звезды (рисунок 2.2a).

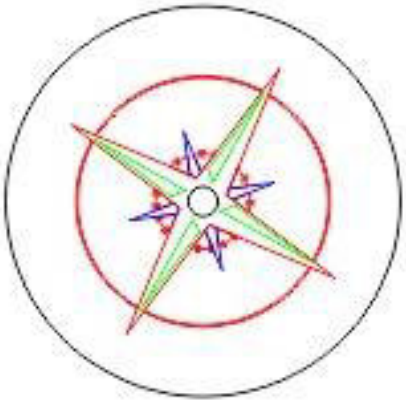
Для различных цветов в формате RGB можно задавать разные параметры гравировки. В данном случае чёрным цветом разметим контур, по которому материал будет прорезаться насквозь; красным – линии контура для гравировки линий (без заливки); синим и зелёным – линии контура для гравировки по площади (с заливкой) (рисунок 2.2b).

Убедимся, что для всех красных и чёрных линий выбрана толщина линий «Сверхтонкий абрис» (рисунок 2.3a). В противном случае эти линии будут восприниматься как контур для гравировки по площади. Теперь для синих и зелёных областей выберем соответствующий цвет заливки (рисунок 2.3b), а в толщине абриса укажем значение «Нет» (рисунок 2.3c).

Перенесём наш рисунок в левый верхний угол с некоторым отступом от краёв (рисунок 2.4a). Теперь перейдём к настройке печати: Файл/ Печать. Появится окно как на рисунке 2.4b.

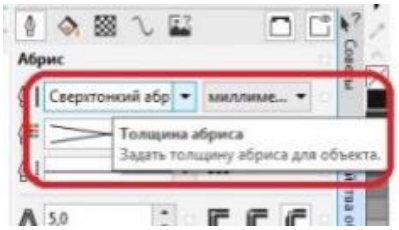


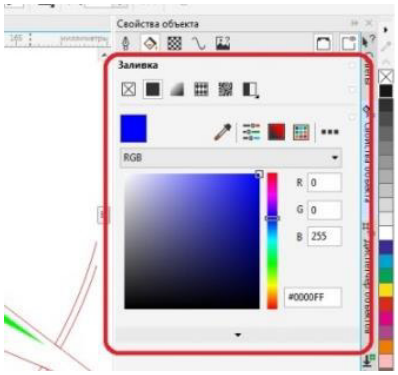
a

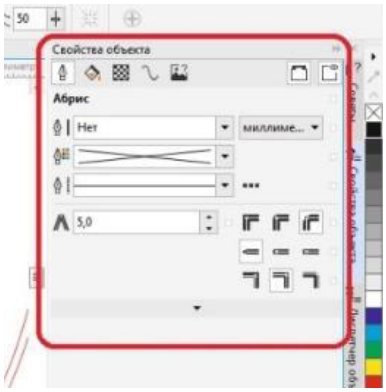


b

Рисунок 2.2. Изображение звезды для гравировки (a) и разметка цветом (b).

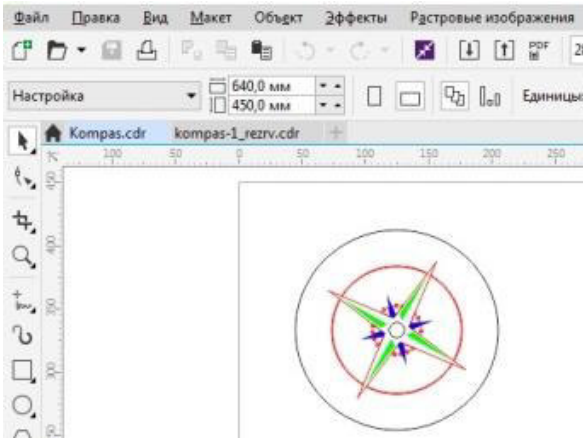




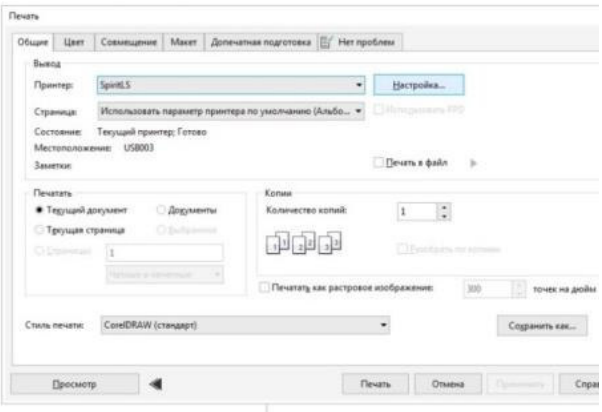


a b c

Рисунок 2.3. Толщина линий (a), заливка областей (b) и совместная настройка (c).



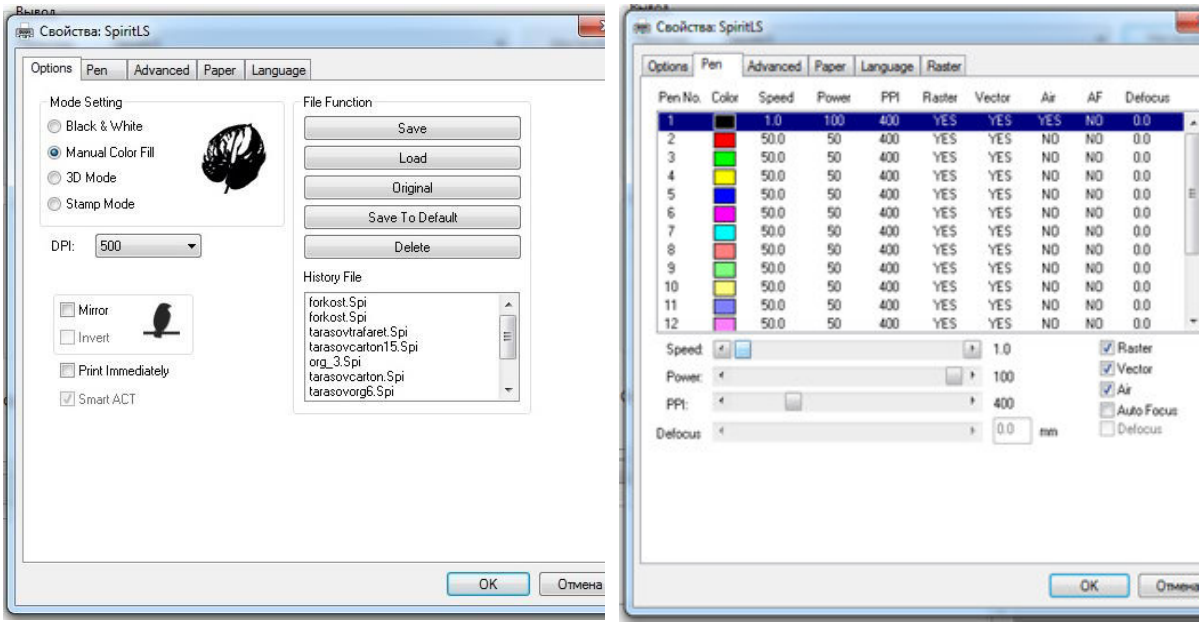
a



b

Рисунок 2.4. Настройка отступов (a) и базовых параметров печати (b).

Нажимаем на кнопку «Настройка» и переходим к окну «Свойства SpiritLS» (рисунок 2.5a). В первой вкладке «Options» выберем «Manual Color Fill». Этот режим обозначает, что каждый цвет будет восприниматься как отдельный элемент. Всё остальное оставляем без изменений. Переходим во вторую вкладку «Pen» (рисунок 2.5b). Рассмотрим подробнее эти настройки.



a b

Рисунок 2.5. Вкладка Options (a) и Pen(b).

Каждому цвету в созданном изображении можно присвоить собственные значения мощности и скорости. Всего можно использовать 16 таких профилей. Состав каждого цвета можно варьировать, изменяя соотношение Красного, Зеленого и Синего. Если для какого-либо цвета значения скорости или мощности равны 0, то эта цветовая область или векторная линия выводиться не будут. Если в изображении использует несколько цветов (например, черный контур и заполнение красным и синим цветом), то драйвер Spirit будет использовать различную скорость и мощность лазера для каждого цвета.

Speed. Диапазон скорости – от 0,1 – 100%. 100% скорости эквивалентно 1,5 метрам в секунду; скорость на 10 % эквивалентно 15 сантиметрам в секунду. При обработке кривых линий лазер работает медленнее, чем на прямых линиях. Чем больше толщина заготовки, тем медленнее должна быть скорость. Например, для фанеры толщиной 3 мм рекомендуется скорость 1, а для фанеры 4 мм – скорость 0,7. Заготовки большой толщины лучше прорезать путем повторного запуска цикла резки.

Power. Мощность. Диапазон мощности такой же, от 0.1 до 100%. Параметры «скорость» и «мощность» влияют на глубину резки и гравировки материала. Высокая мощность и низкая скорость делают гравировку более глубокой.

Vector. В этом режиме каретка лазера движется непрерывно вдоль линии контура.

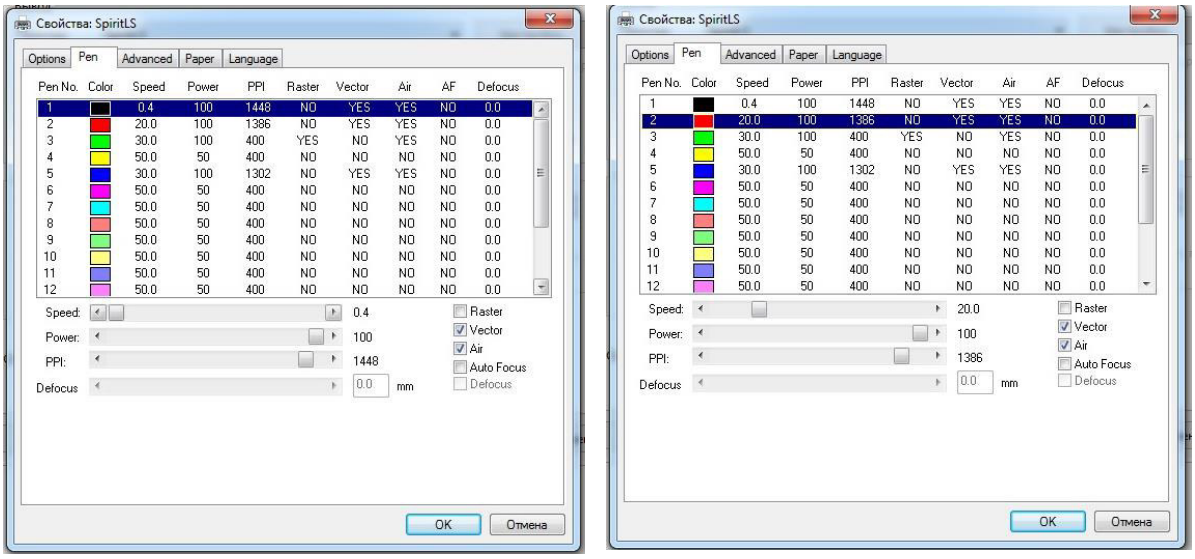
Raster. В этом режиме каретка лазера движется наподобие печатающей головки струйного принтера.

Air. Функция включает поток воздуха, который сбивает пламя от лазера с вашей заготовки и защищает оптические элементы от оседания дыма в процессе печати.

С помощью этих настроек можно создавать гравировку с несколькими уровнями и различными оттенками «выжженного» материала. Для того чтобы подобрать нужные настройки стоит взглянуть на образец, который представлен на рисунке ниже. Оригинал образца, можно найти рядом с гравёром (рисунок 2.6).

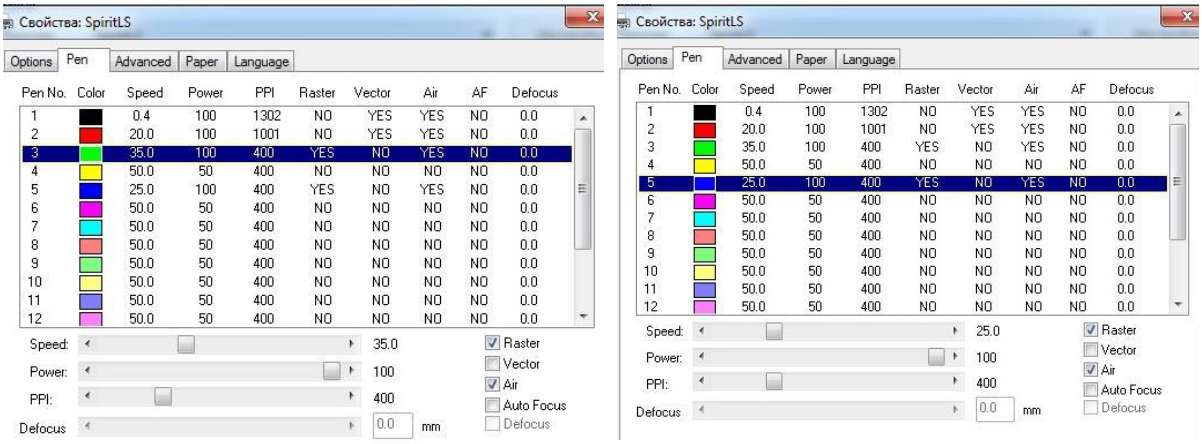
Рисунок 2.6. Образец с различными настройками режимов гравировки на фанере.

Теперь рассмотрим настройки для нашего рисунка. В нём использовано четыре различных цвета: чёрный, красный, зелёный и синий. Чёрным и красным выполнены линии без заливки. Для них мы выбираем функцию Vector и соответствующие скорости. (рисунок 2.7). Зелёным и синим выполнены области с заливкой (мы уже убрали контурные линии вокруг этих областей). Для них выбирается функция Raster и разные скорости (рисунок 2.8). Во всех случаях включаем функцию Air и ставим ползунок Power на 100 (рисунки 2.7 и 2.8).



a b

Рисунок 2.7. Настройки для чёрного (a) и красного (b) цвета.



a b

Рисунок 2.8. Настройки для зеленого (a) и синего (b) цвета.

Переходим в третью вкладку «Advanced». В «Position mode» устанавливаем галочку на “Relative” – гравировка начнется с того места, на котором установлена каретка и после завершения резки вернется на то же место. «Center» – выполнение гравировки начнется с центра изображения (в этом случае, нужно передвинуть каретку подальше от края заготовки, чтобы изображение поместилось). В случае выбора печати из позиции «Home» гравировка начнется с верхнего левого угла рабочего поля (рисунок 2.9). В четвёртой вкладке «Paper» устанавливаем галочку “Extend”, а “Paper size” по X: 740 mm, по Y: 460 mm, что соответствует рабочей области лазера модели Spirit LS40 (рисунок 2.10).

После этого нажимаем «ОК» и переходим в «Окно печати». Прежде чем отправлять файл на печать нужно подготовить гравёр к работе.

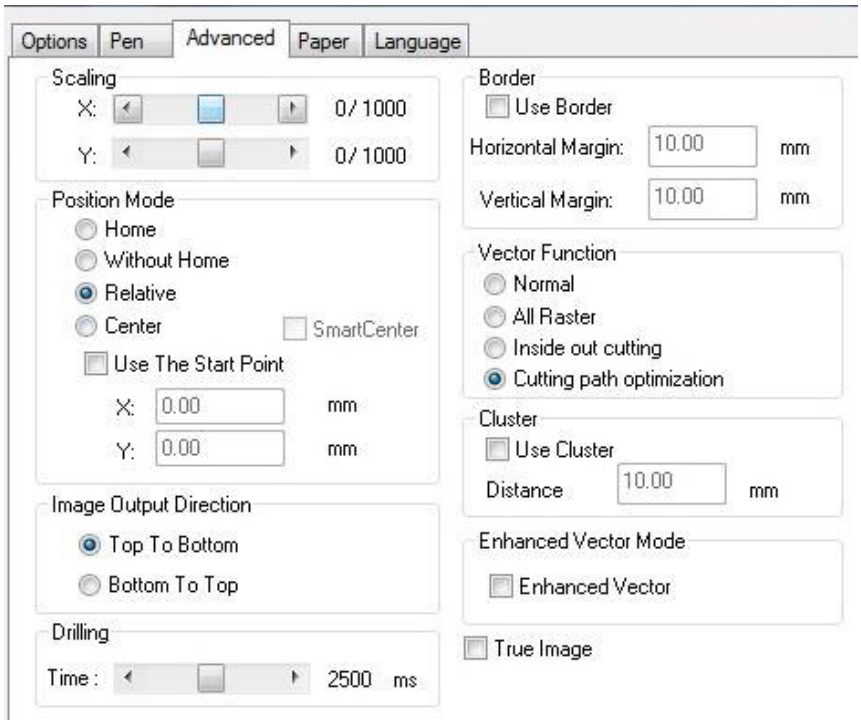


Рисунок 2.9. Настройки «Advanced».

Подготовка к работе и рабочий цикл гравёра.

Вначале нужно проверить включена ли вытяжка. Если нет, то нужно включить её. Также необходимо включить сам гравёр.

Устанавливаем заготовку (материал фанера толщиной 4 мм) на рабочем столе в левом верхнем углу.

Теперь проведём автофокусировку. Передвигаем каретку в центр заготовки, вставляем датчик автофокуса в каретку и нажимаем на дисплее «Auto Focus».

Далее снимите датчик и положите его на место. Закройте крышку гравёра и нажмите «Печать» в окне печати Corel DRAW. На дисплее лазера выбираем нужный файл (кнопки F1 и F2). Для запуска лазера нужно нажать кнопку «START/STOP» (рисунок 2.11a).

Примечание. Если необходимо приостановить резку (с последующим ее продолжением) используем кнопку «Pause». В режиме паузы вы можете изменить заданные ранее параметры скорости и мощности работы лазера. Далее, нажав F1 (“Resume”), вы можете продолжить работу лазера с того места, на котором он был приостановлен. Для прекращения рабочего цикла используется кнопка “STOP”. И при дальнейшем нажатии «START», Ваш файл будет выполняться с нуля (с начала программы).

После окончания рабочего цикла открываем крышку и извлекаем готовое изделие (рисунок 2.11b). Удаляем из рабочей зоны остатки материала.

Необходимо понимать, что если вы хотите работать с другим материалом (например, с оргстеклом), то настройки для резки и гравировки придётся подобрать экспериментально.

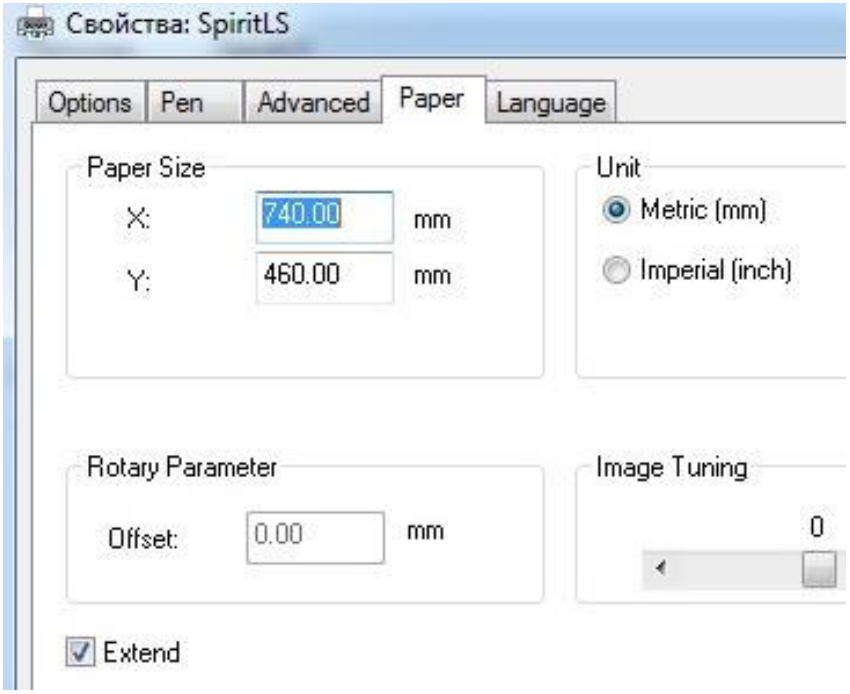


Рисунок 2.10. Настройки «Paper».

a b

Рисунок 2.11. Запуск процесса (a) и результаты изготовления (b).

ГЛАВА 3
ТРЕХМЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ

Цель: изучить методы сканирование при помощи 3D-сканера Artec Eva

Задачи:
1. Отсканировать выбранный объект при помощи Artec Eva
2. Обработать отсканированный объект в программе Artec Studio

Последовательность выполнения работы:

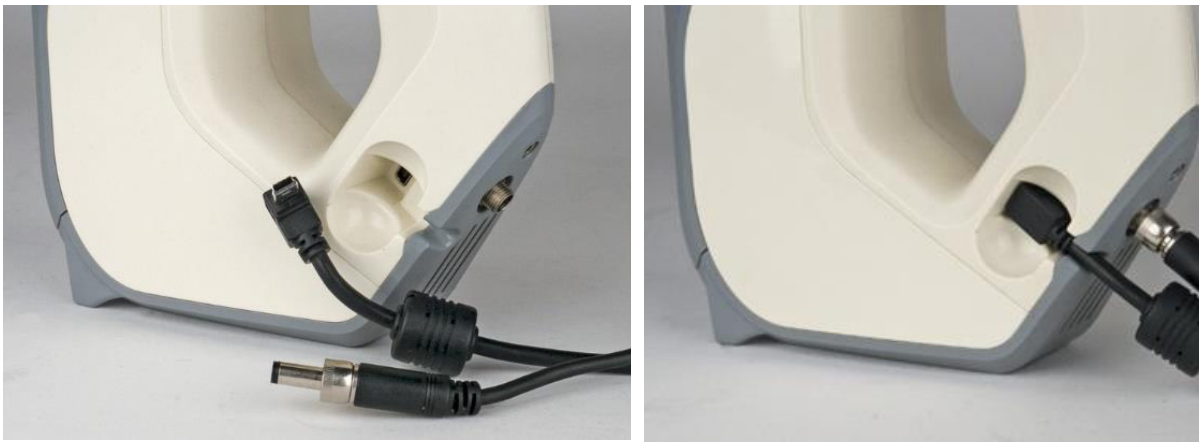
В качестве объекта сканирования была выбрана “Дрель” (рисунок 3.1a) Для сканирования объекта используется 3D-сканер Artec Eva (рисунок 3.1b). [6]

a

b

Рисунок 3.1. Объект для сканирования “Дрель” (a) и 3D-сканер Artec Eva (b).

Подключите сканер для начала работы. Для этого вставьте USB-кабель в USB-порт вашего компьютера, а затем силовой кабель в розетку. Подключение проводов к 3D-сканеру показано на рисунке 3.2. Светодиодный индикатор на корпусе сканера Artec EVA на короткое время загорится синим цветом, сигнализируя о том, что устройство загружается.



a b

Рисунок 3.2. Подключение проводов к 3D-сканеру Artec Eva.

В целях экономии ресурсов компьютера на время сканирования рекомендуется закрывать другие ресурсоемкие приложения.

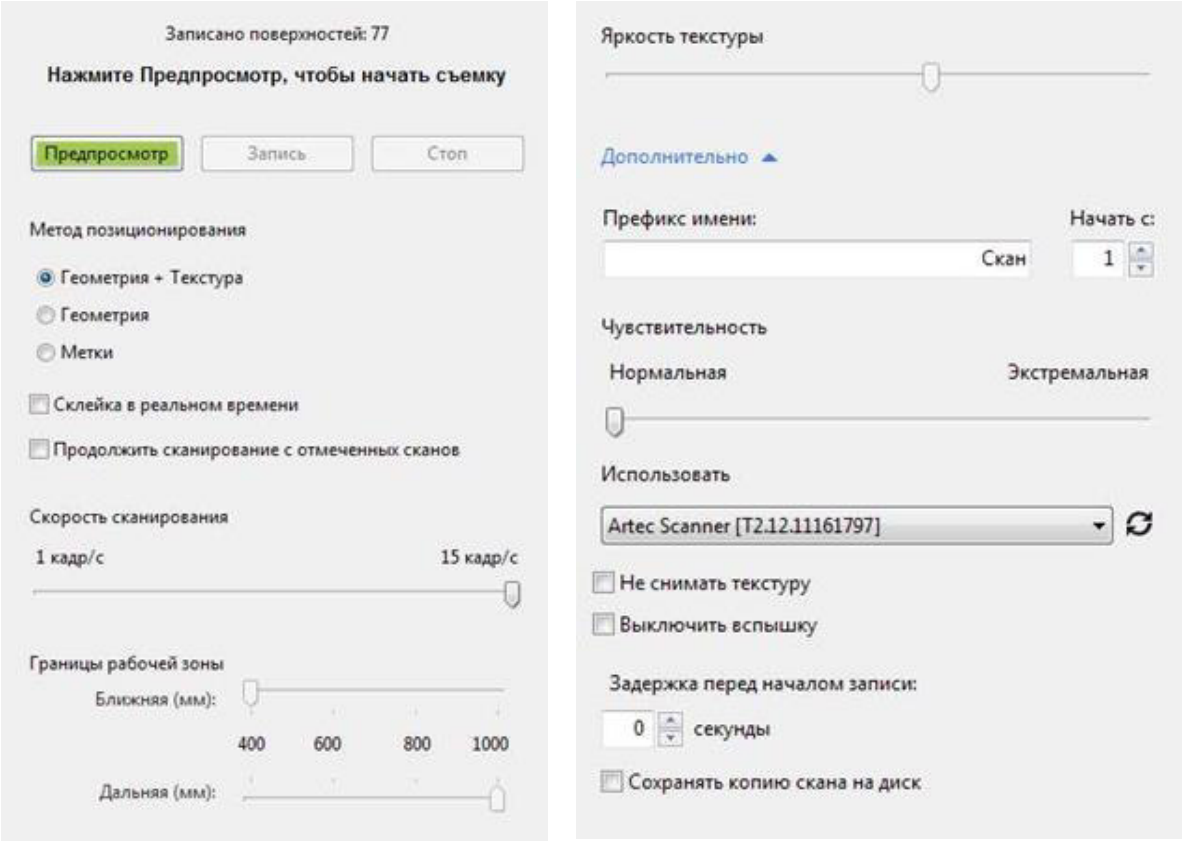
Для начала сканирования необходимо открыть программу Artec Studio, выбрать режим «Съемка» на боковой панели (рисунок 3.3).
В открывшейся панели можно:

- выбрать метод позиционирования для текущей сессии.
- задать границы рабочей зоны в миллиметрах (плоскости отсечения)
- установить чувствительность. При нормальных значениях чувствительности достигается максимальная точность, но возможны проблемы со съемкой поверхностей с малым коэффициентом отражения. Высокие значения чувствительности позволяют снимать широкий диапазон поверхностей даже с низкой отражающей способностью, но с увеличением шумов и сниженной точностью.
- изменить скорость съемки (количество кадров в секунду) – рекомендуемые значения при плавном движении сканера лежат в диапазоне 7-15 кадров в секунду.
- установить или снять флажок не снимать текстуру чтобы соответственно выключить или включить съемку текстуры (рекомендуем снять данный флажок).

Для запуска съемки нажмите либо кнопку **Предпросмотр**, либо клавишу **F7** на клавиатуре, либо кнопку на корпусе сканера.

Геометрия + Текстура — стандартный режим сканирования, подходящий для большинства случаев.

Режим Геометрия хорошо работает на низкопроизводительных компьютерах.



a b

Рисунок 3.3. Панель настроек съемки.

Используя режим Склейка в реальном времени можно получить модель сразу после завершения сканирования. Чтобы активировать данный режим нажмите **Стоп**, а затем установите соответствующий флажок и нажмите **Предпросмотр.**

Отсканируйте объект со всех сторон за один сеанс, если это возможно, плавно перемещая сканер вокруг объекта. Возможен еще другой способ, подразумевающий вращение самого объекта вокруг своей оси и перемещения сканера в вертикальной плоскости.

Во время сканирования обращайте больше внимания на изображение объекта на экране, чем на реальный объект.

Если слышен зуммер и появляется красное сообщение об ошибке, плавно направьте сканер на уже отсканированный участок. Существует несколько причин появления ошибки ≪Отслеживание траектории прервано≫:

- сканируемый объект находится за пределами экспозиции (рабочая зона сканера от 40 до 100 см от объекта)
- сканер движется слишком быстро

Как только вы закончите, нажмите меню **Файл** и выберите **Сохранить проект.**

Завершив сканирование объекта со всех нужных ракурсов и получив достаточное количество данных, можно приступать к созданию 3D-модели.

После сканирования была получена 3D-модель (рисунок 3.4a), В полученной модели могут встречаться ряд дефектов:

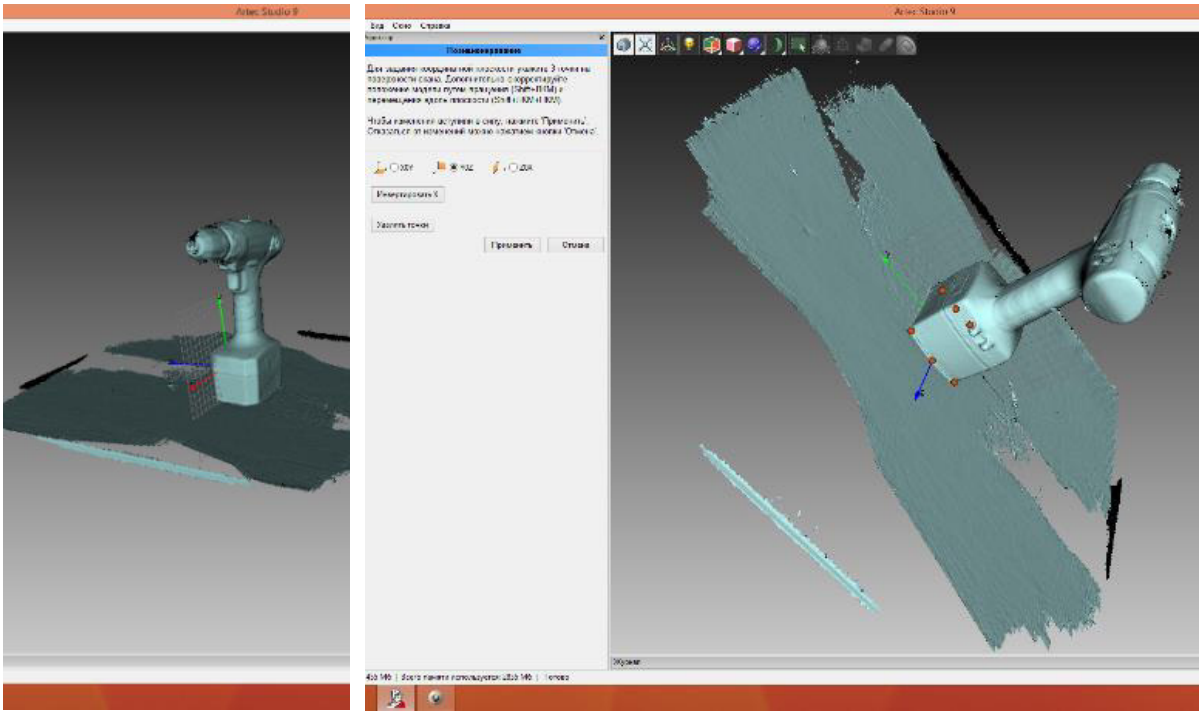
- неправильное расположение осей координат;
- наличие лишних элементов, попавших в поле сканера;
- наличие дырок и неровных границ;
- шумные области на 3D-модели.

Разместим модель на координатных плоскостях. Для этого используем инструмент Позиционирование.

Откройте панель **Редактор** с помощью одноименной кнопки боковой панели инструментов и нажмите либо на той же панели кнопку Позиционированные, либо «горячую» клавишу P.

Выберите координатную плоскость, на которой вы хотите разместить 3D-модель (XOY или YOZ или ZOX).

Отметьте с помощью ЛКМ как минимум три точки на поверхности модели, и плоскость, проходящая через центр этого множества точек, построится автоматически (рисунок 3.4b).



a b

Рисунок 3.4. Модель после трехмерного сканирования (a) и ее позиционирование в глобальной системе координат (b).

Удалим лишние элементы, попавшие в поле сканера. Для этого необходимо изменить вид объекта из перспективной в ортогональную проекцию (Вид/Ортогональная проекция), как показано на рисунке 3.5.

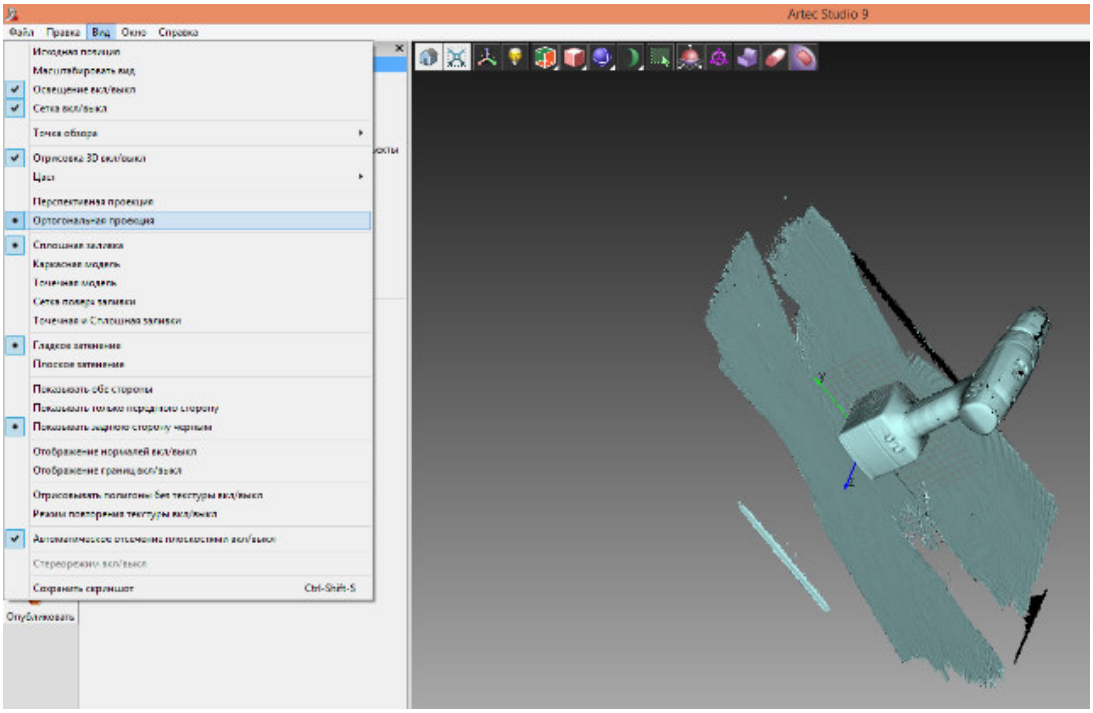


Рисунок 3.5. Ортогональная проекция модели.

Далее изменяем точку обзора модели (Вид/Точка обзора/Прямо), изображено на рисунке 3.6.

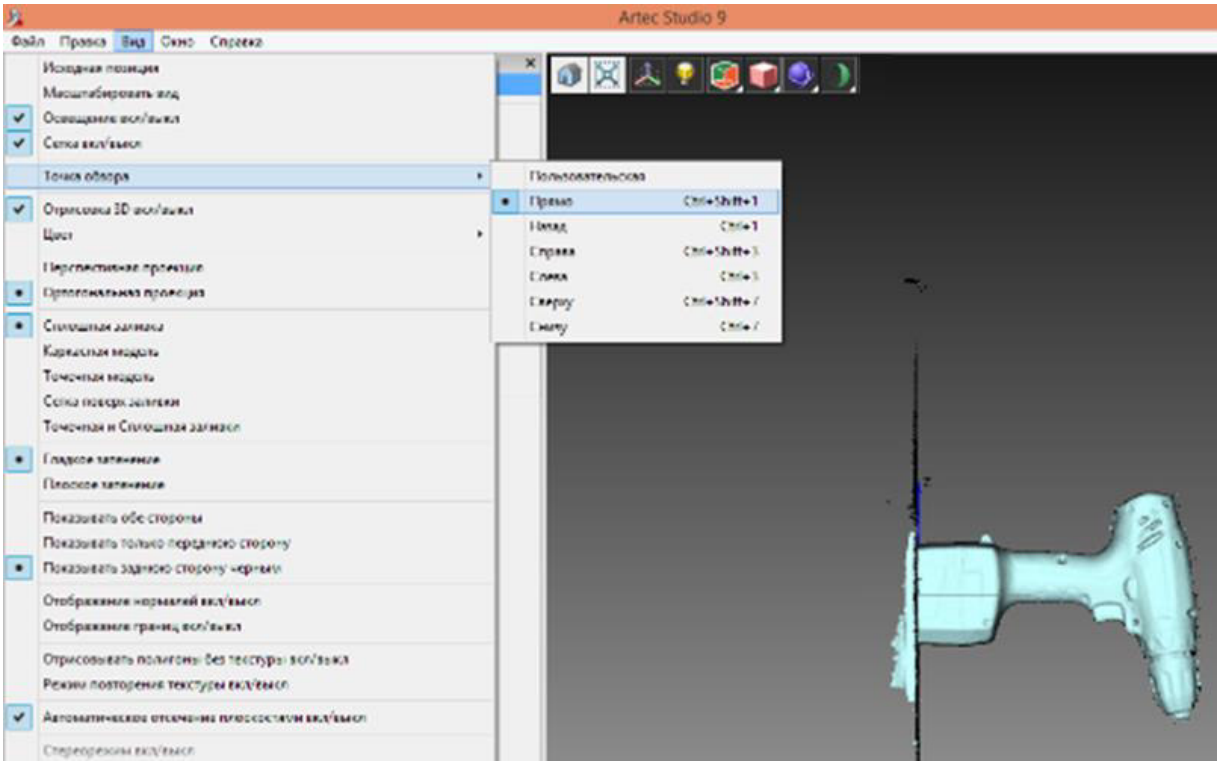
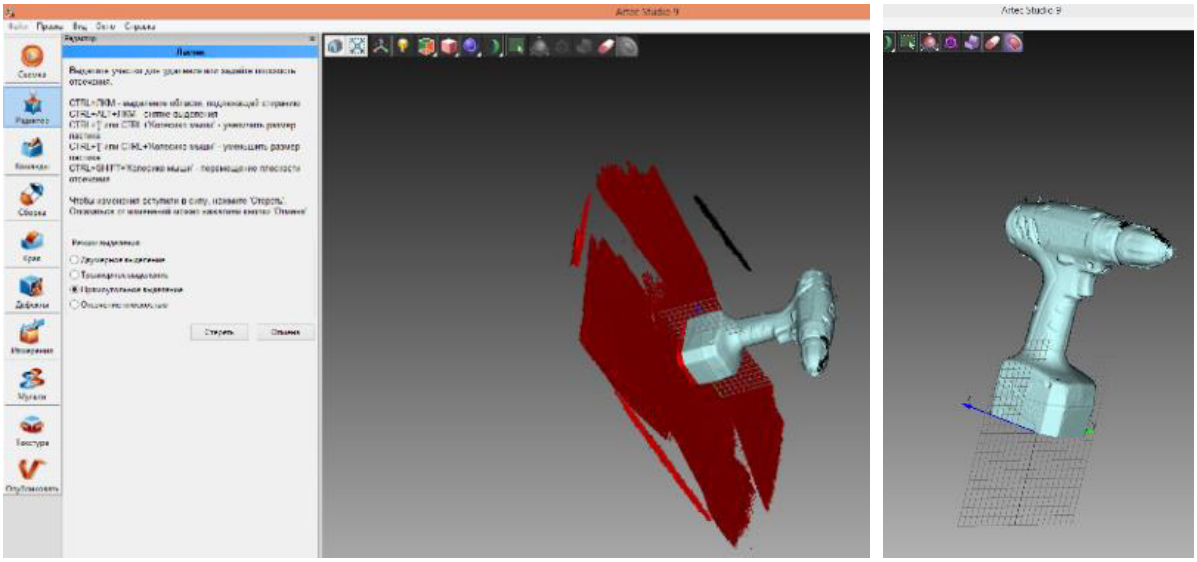


Рисунок 3.6. Точка обзора модели – Прямо.

С помощью инструмента «Ластик», выделяем прямоугольную область и удаляем лишние элементы, тем самым формируя ровную поверхность нашей модели (рисунок 3.7a). В итоге получаем объект, изображенный на рисунке 3.7b.



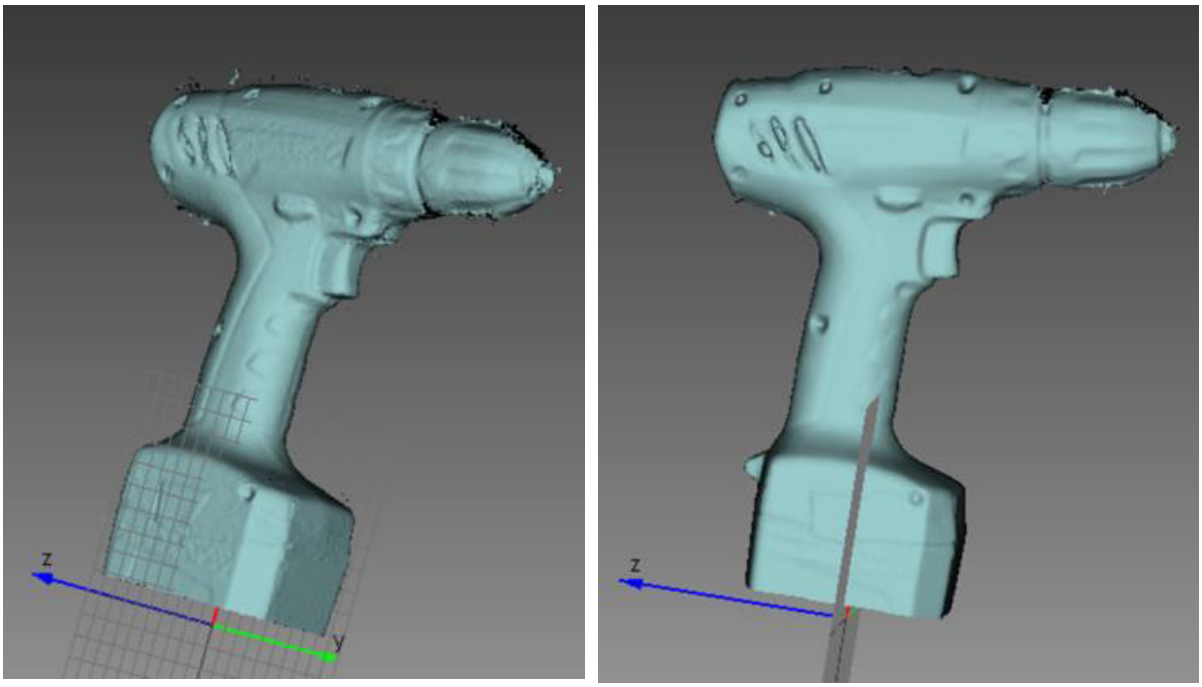
a b

Рисунок 3.7. Модель с лишними областями (a) и их удаление (b).

При помощи Фильтра мелких объектов можно эффективно удалять ненужные объекты, используя алгоритм фильтрации по размеру объекта (рисунок 3.8).

В **Рабочей области** выделите только редактируемую модель и откройте панель **Команды**. Для того, чтобы запустить алгоритм фильтрации, нажмите кнопку **Применить** на закладке **Фильтр мелких объектов**. При нажатии на стрелке рядом с кнопкой открывается закладка настроек алгоритма. На этой закладке можно выбрать один из двух режимов работы алгоритма (параметр **mode**):

- **mode** – при выборе из выпадающего меню варианта *leave biggest objects* из сцены будут удалены все объекты кроме самого большого; при выборе варианта *filter by threshold* будут удалены объекты, число полигонов в которых ниже числа, указанного в параметре *threshold*.
- **threshold** – пороговое значение фильтра, равное количеству полигонов и используемое в случае выбора режима работы *filter by threshold*.



a b

Рисунок 3.8. Модель до удаления мелких объектов (a) и после (b).

Иногда поверхность сканируемого объекта, его форма или условия съемки не позволяют достаточно хорошо отсканировать все детали, так что на модели, полученной в результате склейки, остаются дыры, соответствующие тем областям реального объекта, которые не попали в поле зрения сканера. Для таких случаев в **Artec Studio** предусмотрен инструмент, позволяющий интерполировать поверхность в подобных областях.

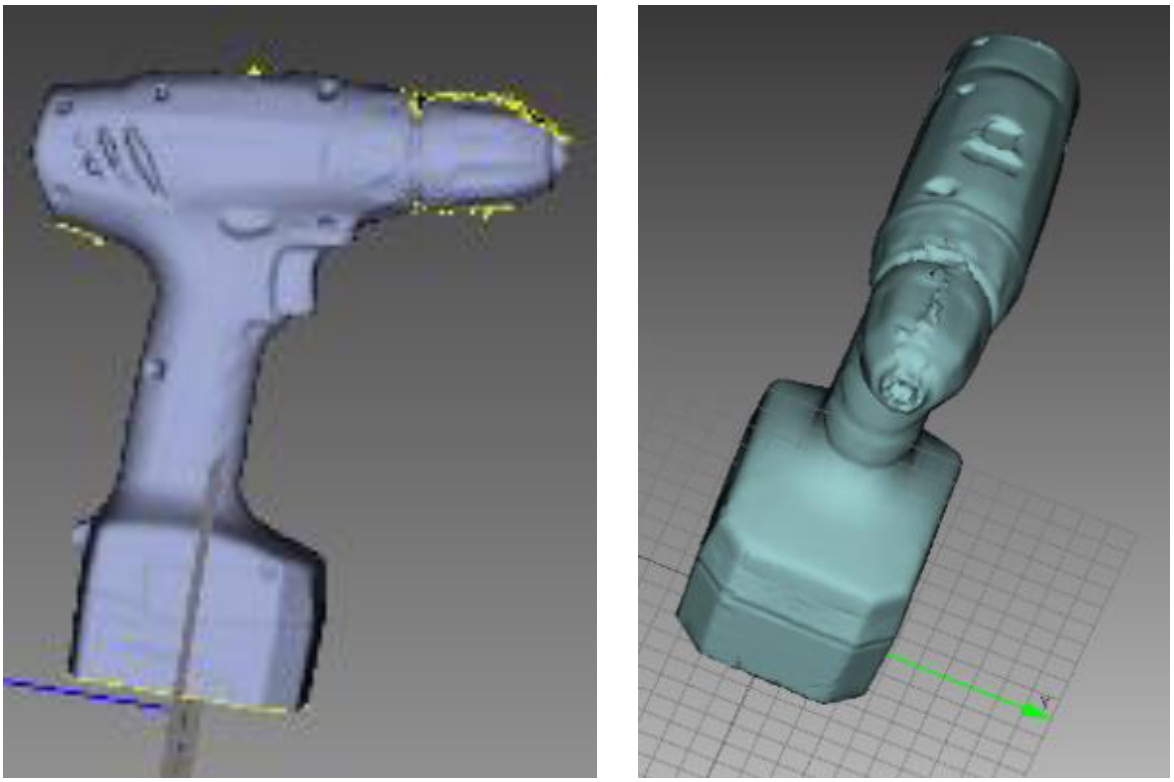
Для того, чтобы начать анализ и исправление модели, выделите ее и нажмите на кнопку **Края боковой панели**. Открывшаяся панель состоит из двух вкладок: **Края** и **Дырки**, в каждой из которых представлен список замкнутых границ, обнаруженных на поверхности, отсортированный по длине. Работа в обеих вкладках осуществляется идентичным образом. При выделении элемента списка соответствующая граница подсвечивается в окне 3D вида. Если в панели выбрана опция **Перемещать камеру к выделенному элементу**, то модель автоматически развернется таким образом, чтобы выбранная граница была видна в окне 3D вида. По умолчанию, при переключении между границами камера плавно перемещается от одной границы к другой.

В случае, если рассматриваемая модель имеет слишком большой размер, данное перемещение может занимать много времени. Для быстрого переключения необходимо выключить опцию **Анимировать камеру**. Пользователь должен выбрать те границы, которые нуждаются в исправлении, поставив возле их номера галочку. Такие границы будут подсвечены цветом в окне 3D вида (рисунок 3.9a). Для выделения/снятия выделения со всех границ на панели предусмотрены кнопки **Выделить все** и **Снять выделение**.

Также, границы можно выделять непосредственно на поверхности. Для этого нужно развернуть модель таким образом, чтобы интересующая граница оказалась видимой в окне 3D вида. После этого ее можно выделить нажатием **ЛКМ**. Получившийся результат обработки вы может видеть на рисунке 3.9b.

На вкладке **Дырки** у вас есть возможность запустить автоматическое сглаживание дырок после их заполнения, для этого достаточно поставить галочку в опции **Сглаживать дырки после заполнения.** На вкладке **Края** интенсивность сглаживания границ настраивается ползунком **Интенсивность**.

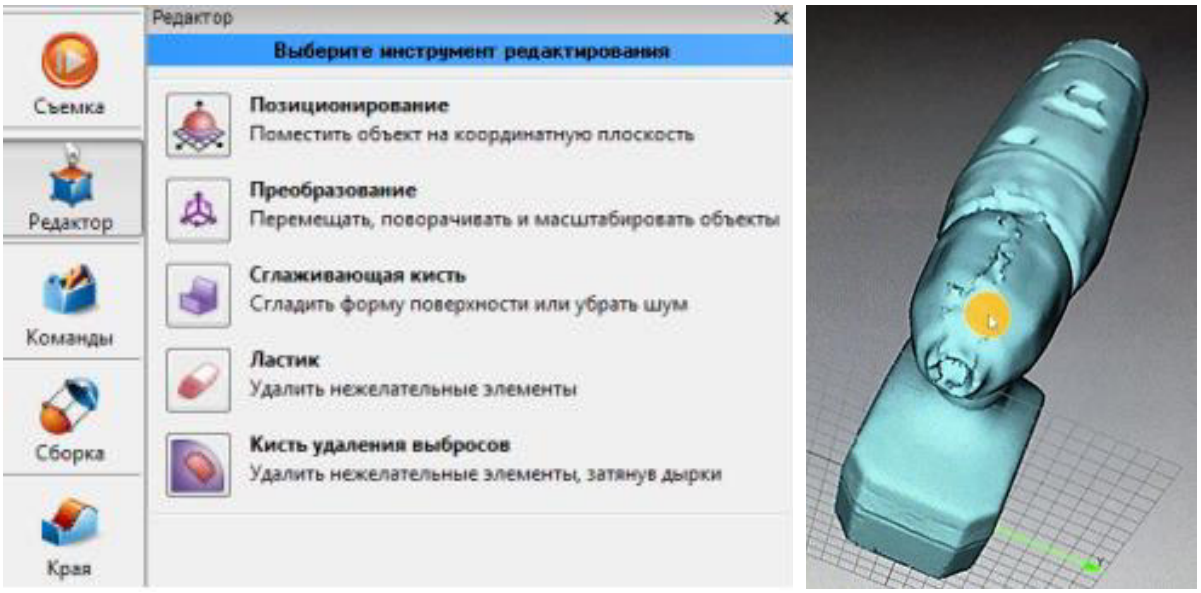
Алгоритм сглаживания позволяет сгладить шумные области на 3D-модели. В приложении Artec Studio существует два инструмента: автоматическое сглаживание всей модели и ручное сглаживание отдельных областей кисточкой



a b

Рисунок 3.9. Модель до закрытия дыр (a) и после (b).

Для того, чтобы воспользоваться ручным инструментом **Сглаживающая кисть**, выделите одну поверхность, откройте панель **Редактор** и нажмите на кнопку в окне 3D вида или горячую клавишу **S** (рисунок 3.10a).



a b

Рисунок 3.10. Панель редактора (a) и сглаживание недостаточно отсканированного участка (b).

При нажатии клавиши **Ctrl** вокруг курсора в окне 3D вида появится оранжевое пятно. Его размеры можно изменить при помощи **Колеса прокрутки**, посредством ввода с клавиатуры значения (мм) диаметра в поле **Размер кисти** или передвигая ползунок на панели **Сглаживающая кисть**. Также можно отрегулировать интенсивность сглаживания с помощью ползунка или посредством внесения значения в поле **Интенсивность**. Нажатие ЛКМ в этом режиме применит сглаживание к выделенному участку модели (рисунок 3.10).

После завершения редактирования нажмите кнопку **Применить** или **Отменить** для сохранения или отмены результатов.

ГЛАВА 4
ФРЕЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА

Работу фрезерного станка мы будем рассматривать на примере станка HIGH-Z S-1400 (рисунок 4.1).

Рисунок 4.1. Фрезерный станок HIGH-Z S-1400.

Правила техники безопасности при работе на станке

Прежде чем включать фрезерный станок необходимо убедиться в его общей исправности, визуально проверить наличие (правильное подключение/закрепление) всех элементов, а также их корректное расположение – они должны находиться в исходной позиции. Необходимо проверить наличие/качество смазки (прежде всего – на направляющих инструментального портала, а также других узлах трения).
Следует обеспечить наличие режущего инструмента, необходимого для предстоящего технологического процесса, а также убедиться в нормальном состоянии фрез. [7]

Крепление фрезы в патроне шпинделя осуществляется следующим образом:
- фреза нужного типа вставляется в цангу соответствующего диаметра;
- цанга вставляется в цанговый патрон;

- патрон закрепляется в «конусе» шпинделя поджатием гайки (рекомендуется использовать инструмент из комплекта поставки станка).
Для извлечения фрезы вышеуказанная последовательность повторяется в обратном порядке.
До момента включения станка необходимо убедиться в свободном вращении шпинделя (проверив его от руки). Эту операцию можно проводить только при нахождении инструментального портала в крайнем верхнем положении – во избежание повреждения фрезы при контакте с конструктивными элементами станка.
Необходимо подготовить требуемое количество материалов (заготовок), подходящих для обработки на данном станке (прежде всего, по твёрдости материала и по габаритным размерам). Следует внимательно проверять надёжность закрепления материалов на рабочем столе.
В процессе фрезерования следует работать в плотно облегающей одежде из материала, податливого на разрыв (для снижения риска «затягивания» одежды вращающимися частями станка). При работе на оборудовании оператору следует использовать средства индивидуальной защиты (перчатки, очки, амортизирующая нескользящая обувь, наушники, респиратор).
Фрезерные станки оборудованы легкодоступной и хорошо заметной кнопкой аварийного останова. При возникновении посторонних стуков, шумов, неправильного поведения станка в процессе работы следует немедленно остановить работу!
После окончания работы, прежде всего, следует отключить электропитание станка. Тщательно очистить рабочий стол от стружки и пыли при помощи специальной щётки. Также необходимо удалить стружку, остатки заготовок и прочий мусор с пола вокруг и вблизи станка. Необходимо всегда убирать готовые изделия, инструмент и другие рабочие материалы после завершения обработки.
После очистки станка необходимо проверить состояние смазочного слоя в узлах трения. Ни в коем случае нельзя допускать накопление пыли на смазанных деталях – в этом случае смазку необходимо заменять.

4.1 Фрезерование на ЧПУ-станке HIGH-Z S-1400

Цель: Научиться работать с фрезерным станком HIGH-Z S-1400

Задачи:
1. Изучить ПО VCarve Pro
2. Изучить ПО станка HIGH-Z S-1400
3. Изготовить деталь с использованием фрезерного станка HIGH-Z S-1400

Последовательность выполнения работы:

Предварительно необходимо подготовить макет для вырезания. Для этого необходим файл в формате PDF представляющий из себя опорные контуры с которыми мы будем работать. Например, если вы хотите вырезать круг, а внутри него квадрат, то вам нужны соответствующие фигуры в векторном формате в необходимых размерах.

Мы советуем использовать для подготовки макета программное обеспечение Inkscape. Так же можете использовать CorelDRAW. Главное условие — файл должен быть векторным и сохраненным в PDF.

4.1.1 Подготовка задания

При работе используется ПО VCarve Pro.

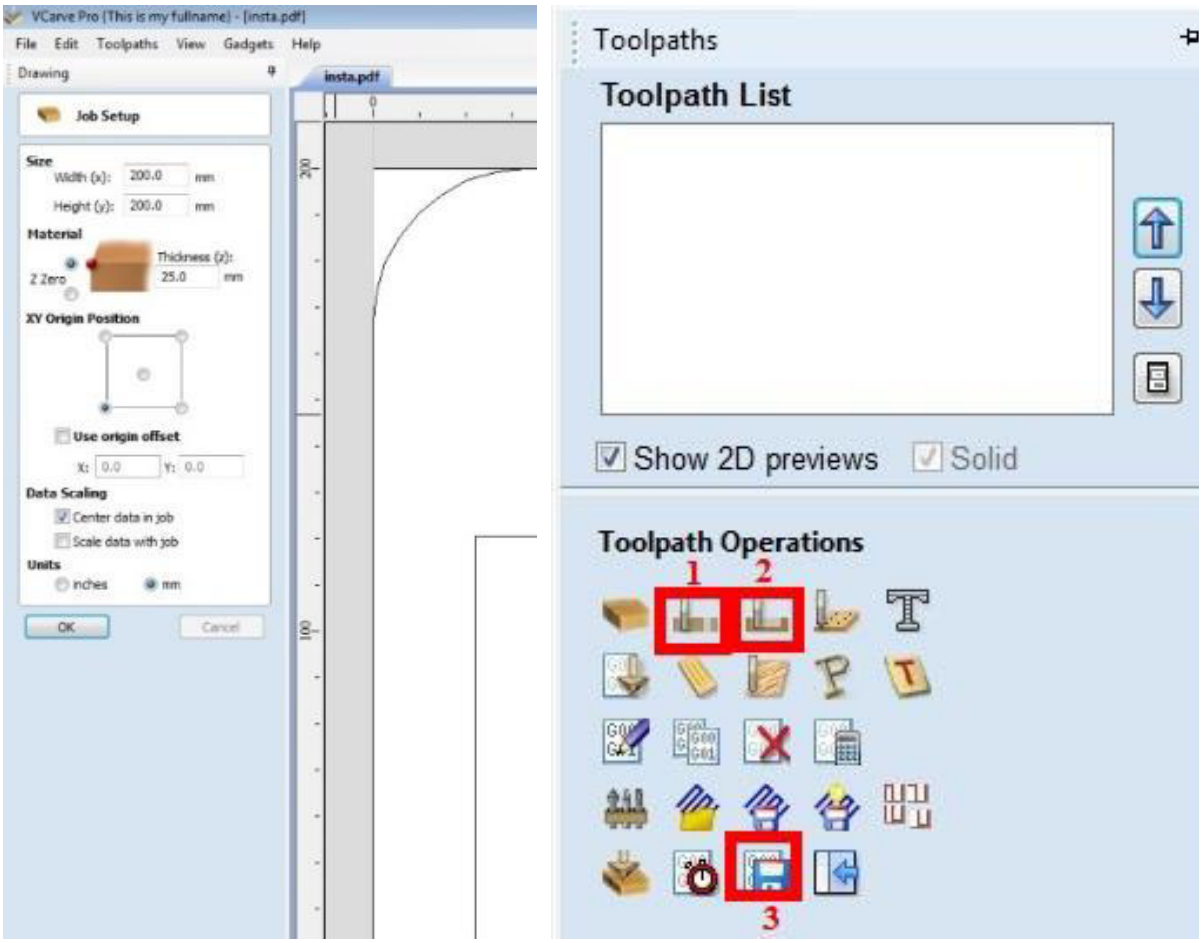
Запускаем программу VCarve Pro. В появившемся диалоговом окне выбираем и открываем нужный нам макет в формате PDF.

Результат видим на рисунке 4.2a. Справа отражается наш макет в виде векторных фигур. Удостоверьтесь, в правильности макета. Если все верно, то переходим к следующему пункту.

Слева мы видим данные нашего макета, которые нужно уточнить и дополнить. В графе Size («Размер») по умолчанию выставляются значения ширины и длины вашего макета. Эти данные нужны для того, чтобы вы грамотно выбрали материал и его размеры. Выбирайте лист больше отражаемых значений минимум по 2 сантиметра по каждой оси для обеспечения корректного закрепления. Далее смотрим в графу Material («Материал»). Здесь выставляется значение толщины имеющегося материала (отсчет идет сверху). В следующей графе так же оставляем точку нетронутой (она должна быть в нижнем левом углу). Убираем галочку у Use origin offset («Использовать исходный отступ») и ставим галочку у Center data in job («Отцентрировать макет в рабочей области»). Нажимаем OK.

После этого нажимаем кнопку Toolpaths («Задания») в правом верхнем углу программы (рисунок 4.2a – элемент «1»).

Далее появляется следующее окно, с которым будет проводиться работа (рисунок 4.2b). В данной работе мы будем рассматривать операции в четырех подпрограммах. Это режимы «Вырезание по контуру» (элемент «1»), «Фрезерование участка» (элемент «2») и «Сохранение задания» (элемент «3»).



a b

Рисунок 4.2. Окна настройки материала (a) и выбора типа резания (b).

Перейдем в режим «Вырезание по контуру». Для начала с помощью клавиши Shift и левой кнопки мыши выделяем все нужные нам контуры, которые мы будем вырезать. Их цвет меняется на розовый.

Далее переходим к настройкам (рисунок 4.3). Cutting Depths («Глубины реза»). Start («Начало») = 0, Cut Depth («Глубина реза») — это глубина, на которую вы планируете вырезать. В нашем примере — это 41 мм, при толщине материала в 40 мм. 1 мм берем для обеспечения сквозного вырезания с учетом неровности материала. Графа Machine Vectors («Направление работы станка») определяет как пройдёт фреза — снаружи контура, внутри, или по контуру.

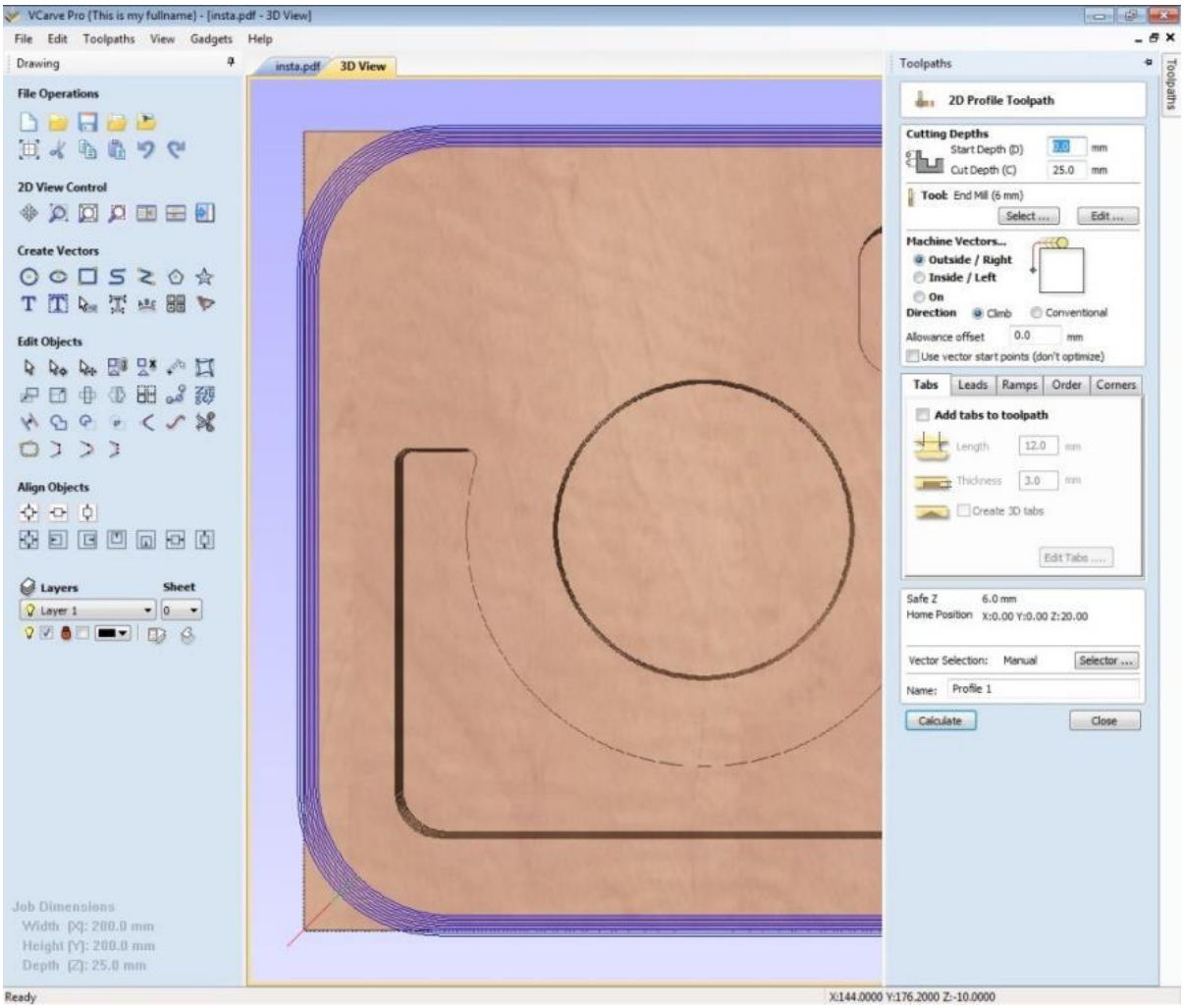


Рисунок 4.3. Окно режима «Вырезание по контуру».

Далее мы переходим к Tools («Инструменты»). Нажав Select («Выборать»), вы увидите подобную картину в графе Metric Tools («Метрический инструмент») как представлено на рисунке 4.4. Выбираете нужную фрезу в программе и сравниваете её характеристики с той, которая будет использоваться на станке. Глубину реза («Pass Depth») рекомендуется ставить не больше 3 мм. После этого нажимает Calculate («Расчет»). Если рез идет насквозь, то нажимаем OK. В появившемся окне синей линией обозначена траектория движения фрезы. При нажатии Preview Toolpath («Показать задание») мы увидим, что у нас получится по итогу резки материала

Аналогично можно сделать процедуру фрезерования области. Для этого в Toolpaths Operations нужно выбрать «Create Pocket Toolpath» (рисунок 4.4).

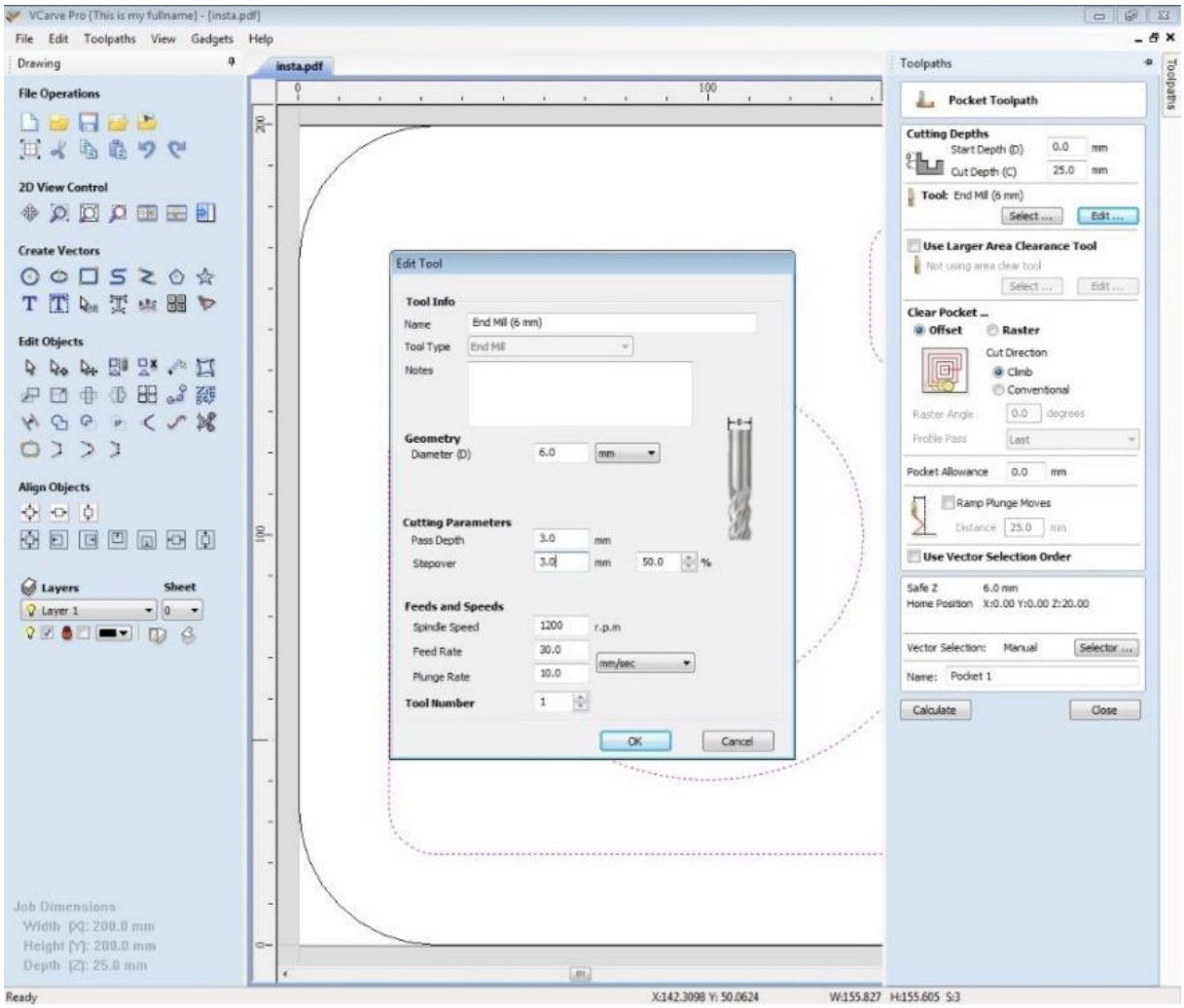


Рисунок 4.4. Окно режима «Фрезерования области» и настройка фрезы.

В появившемся окне выбираем нужную нам направляющую, выставляем глубину и характеристики фрезы аналогично действиям в предыдущей операции (рисунок 4.5). Если фреза с обратным направлением реза, то нужно в Cut Direction («Направление реза») поставить Conventional («Инвертированное»). Если же фреза обычная, то выставляем Climb («По направлению реза»). Нажимаем Calculate. В появившемся окне движение фрезы обозначается синей линией. Если нажать Preview Toolpath с выделенным заданием, то получим изображение того, что будет получено после обработки.

Далее нам нужно сохранить задание. Для этого необходимо отметить галочкой все нужные вам задания в списке и нажать Save toolpath («Сохранить задание») на рисунке 4.5. Учтите, что задания будут выполняться в том порядке что и в списке, потому сначала вырезайте все внутренние части, а только потом — внешние.

После нажатия клавиши сохранения, у вас появится список файлов на сохранение (рисунок. 4.5). Формат файла должен быть G code mm (.tap). Сохраняйте по возможности файл в отдельную папку или удаляйте его после выполнения.

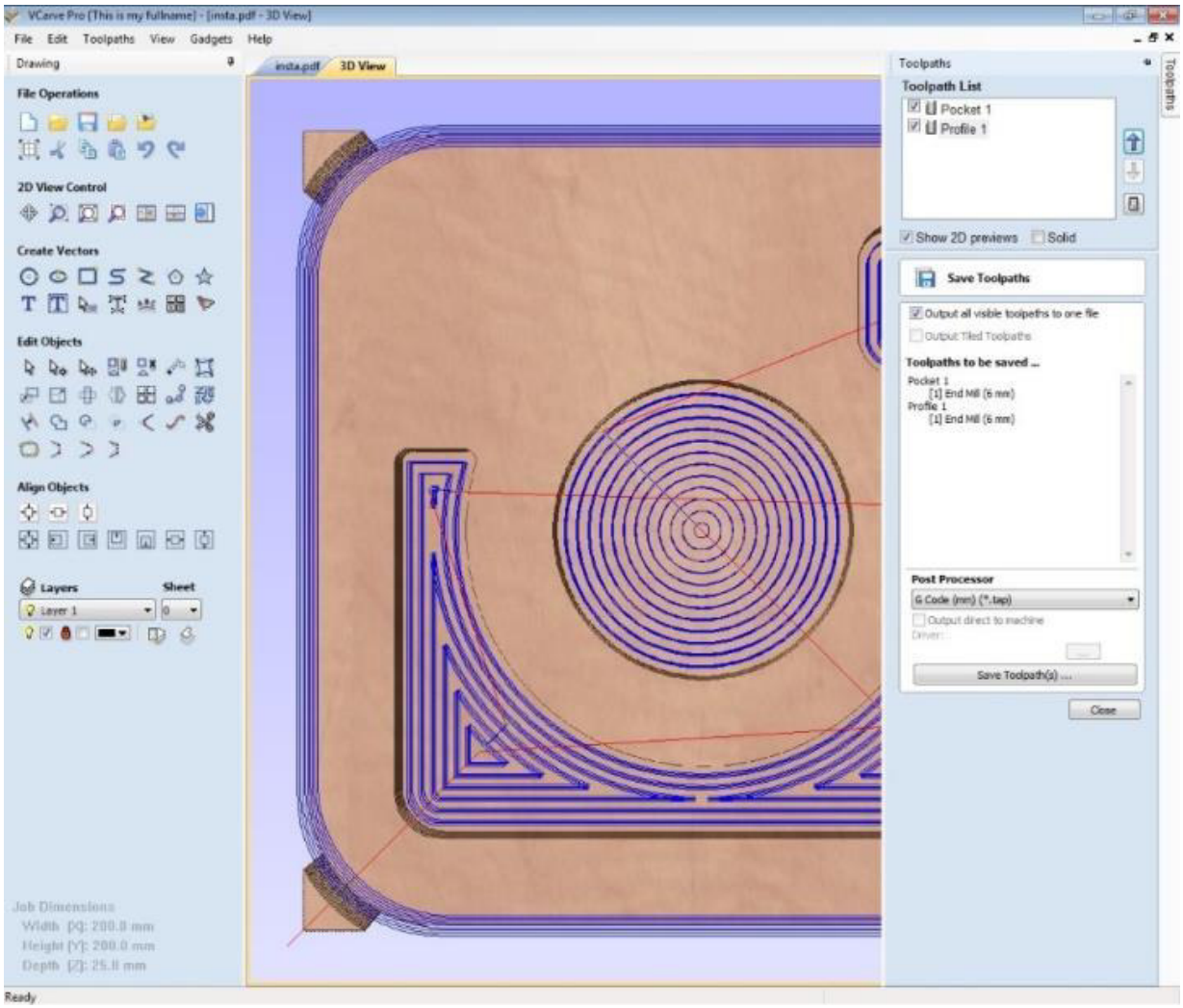


Рисунок 4.5. Окно режима «Сохранение задания».

4.1.2 Подготовка фрезерного станка и работа на нем

Ради собственного блага не забывайте про технику безопасности! Обратите внимание на блок управления (рисунок 4.6a): кнопка тумблера должна быть выключена, то есть она НЕ должна гореть. Ни в коем случае не работайте со шпинделем при включенном тумблере, это может быть опасно для жизни и здоровья. На этом же блоке находиться кнопка экстренной остановки. После этого выбираем фрезу. Набор фрез, цанг, ключей находиться рядом с фрезерным станком (рисунок 4.6b).

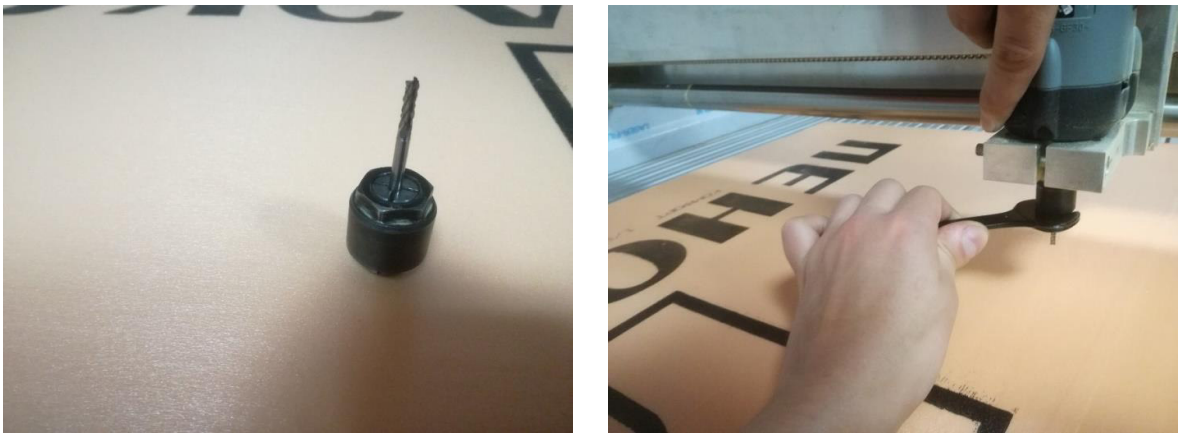
Первым делом следует вставить цангу в гайку ДО ЩЕЛЧКА. После этого вставить фрезу в цангу. Фреза должна выходить из цанги на длину глубины реза с запасом 1 мм минимум. На рисунке 4.7a показан рабочий инструмент в сборе.

a b

Рисунок 4.6. Блок управления фрезерным станком (a) и набор для работы с фрезерным станком HIGH-Z S-1400 (b).

Далее следует закрепить гайку в патрон. Закрепляется она следующим образом:

1. Нажать кнопку блокировки вала. На рисунке 4.7b её зажимает верхний палец. Если кнопка не нажимается, то надавите на неё и проворачивайте вал, пока она не упадет на всю свою глубину.
2. Не отпуская кнопку, закручиваем гайку в патрон, используя черный ключ, как на рисунке 4.6b.
3. После этого нажимаем кнопку включения фрезерного станка, она должна загореться (рисунок 4.6a).



a b

Рисунок 4.7. Финальная сборка фреза-цанга-гайка (a) и установка фрезы в шпиндель (b).

Открываем ПО для работы со станком WinPC-NC. Переходим в меню Parameters («Настройки») и заходим в графу Machine Parameters («Настройки станка») (рисунок 4.8).

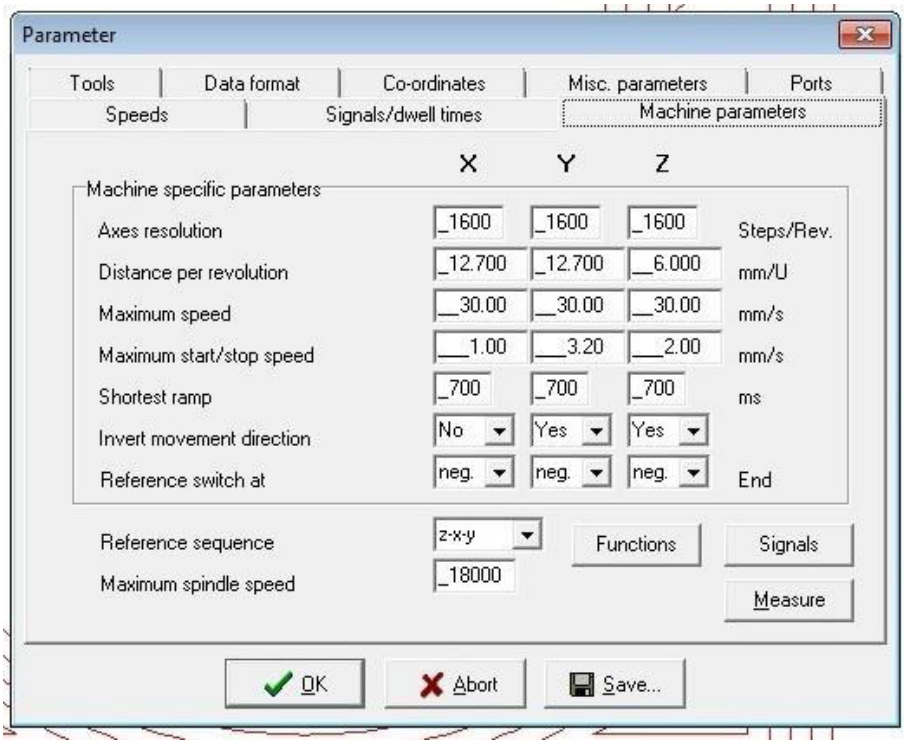


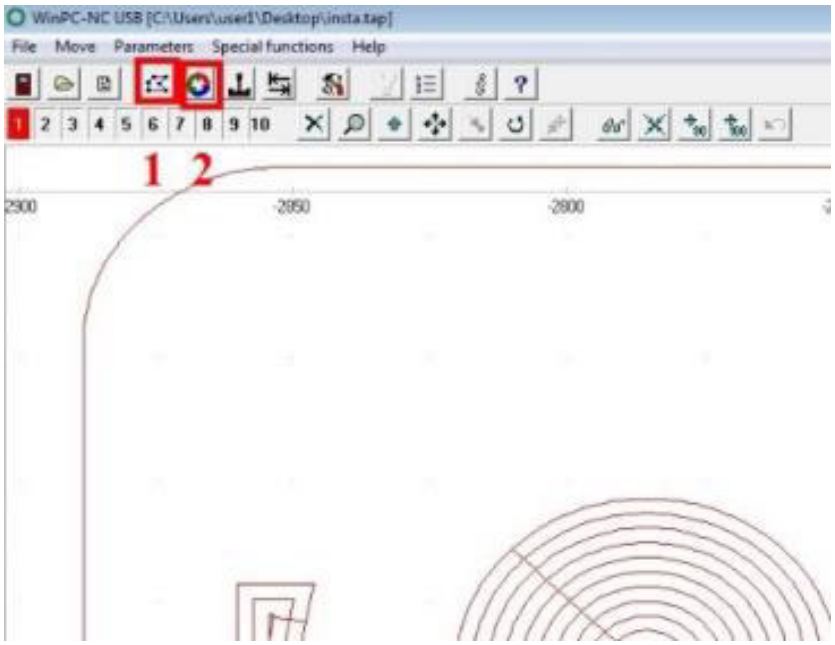
Рисунок 4.8. Настройка параметров фрезерного станка.

Необходимо задать настройки как указано на рисунке 4.8. Далее нажимаем OK и выбираем панель управления шпинделем (рисунок 4.9a – элемент «2»). После этого отводим шпиндель (используя стрелочки на панели (рисунок 4.9b) так, чтобы мы могли закрепить материал (помните, что ось Z инвертирована).

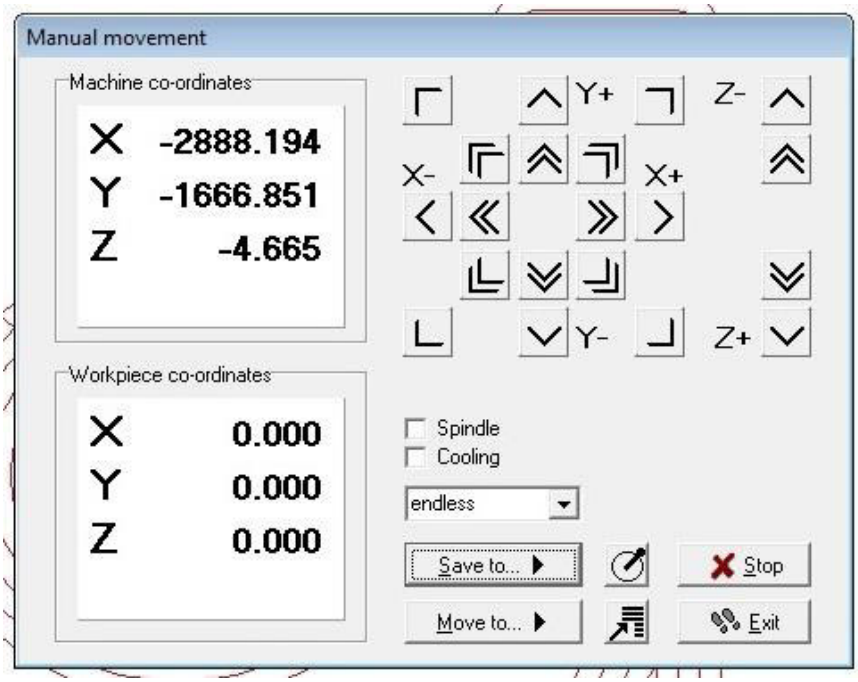
Начинаем установку материала, на станке есть черная отметка, ниже который материал ставить нельзя (смотри рисунок 4.10a). Далее необходимо закрепить материал, для этого используются болты с гайкой из набора и бруски, которые нужны, чтобы поднять материал над поверхностью стола. На примере фанеры на рисунке 4.10b показан принцип закрепления. Такие зацепы должны быть во всех четырех углах закрепляемого листа материала.

Далее закручиваем гайки до упора материала и с помощью синего ключа из набора затягиваем болты. Обратите внимание, что с фронтальной стороны лазера находиться кнопка аварийной остановки.

После этого отводим фрезу в нижний левый угол, если смотреть с фронтальной стороны фрезерного станка. Учитывайте, что это точка отсчета и фреза должна быть минимум в 1,5 см от болтов в сторону центра материала (если смотреть со стороны компьютера, то это верхний левый угол). Так же настраиваем высоту так, чтобы фреза едва касалась материала (рисунок 4.11a). Нажимаем “Save as… Zero point XYZ”.



a



b

Рисунок 4.9. Рабочая область программы фрезерного станка (a) и панель управления шпинделем фрезерного станка (b).

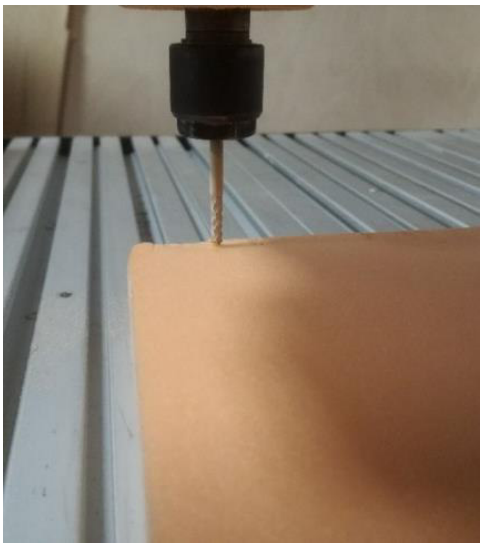
Закрываем панель управления и открываем сохраненное задание. File — Open. Проверяем ориентацию задания, по X – длинная сторона фрезера, по Y – короткая. Если ориентация неверная, вы можете повернуть задание, используя соответствующую кнопку в панели управления. После того, как все настроено, начинаем работу. Кнопка старта показана на рисунке 4.9a, элемент «1».

a

b

Рисунок 4.10. Место окончания зоны резки фрезера (a) и пример закрепления материала (b).

После начала фрезерования, появиться окно, демонстрирующее симуляцию процесса. В случае необходимости вы можете нажать STOP и продолжить задание с точки остановки, нажав Continue («Продолжить»). В случае необходимости экстренной остановки можете использовать одну из красных кнопок. Они расположены на металлическом пульте управления и непосредственно на фрезерном станке. После окончания работы фрезера выключите тумблер на контрольной панели блока, снимите заготовку и очистите станок от пыли и стружки. Пример готового изделия показан на рисунке 4.11b



a

b

Рисунок 4.11. Установка начальной позиции фрезерования (a) и получаемая после фрезерования деталь (b).

Литература

1. Lasi H, Fettke P, Kemper H-G, Feld T, Hoffmann M (2014) Industrie 4.0.
2. Лопухов И. Коммуникационные технологии умного предприятия в рамках концепции Индустрия 4.0 и Интернета вещей //Современные технологии автоматизации. – 2015. – №. 2. – С. 36.
3. Lipson H., Kurman M. Fabricated: The new world of 3D printing. – John Wiley & Sons, 2013.
4. Borenstein G. Making things see: 3D vision with kinect, processing, Arduino, and MakerBot. – " O'Reilly Media, Inc.", 2012.
5. Bertolotti M. The history of the laser. – CRC press, 2004.
6. Daanen H. A. M., Ter Haar F. B. 3D whole body scanners revisited //Displays. – 2013. – Т. 34. – №. 4. – С. 270 – 275.
7. Кувшинский В. В. Фрезерование. – 1977.

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Кафедра технологии приборостроения относится к числу ведущих кафедр института со дня его основания в 1931 году. Тогда она называлась кафедрой механической технологии и возглавлялась известным ученым в области разработки инструмента профессором А. П. Знаменским. Позже она была переименована в кафедру технологии приборостроения.

За время своего существования кафедра выпустила из стен института более тысячи квалифицированных инженеров, более сотни кандидатов и докторов наук. В разные годы ее возглавляли известные ученые и педагоги профессора Николай Павлович Соболев и Сергей Петрович Митрофанов.

Кафедра имеет выдающиеся научные достижения. Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, профессором С. П. Митрофановым были разработаны научные основы группового производства, за что он был удостоен Ленинской премии СССР. Методы группового производства с успехом применяются в промышленности и постоянно развиваются его учениками. Заслуженным изобретателем Российской Федерации Юрием Григорьевичем Шнейдером разработаны метод и инструментарий нанесения регулярного микрорельефа на функциональной поверхности.

В настоящее время кафедра осуществляет выпуск бакалавров и магистров по направлениям подготовки 200100 «Приборостроение» и 230100 «Информатика и вычислительная техника».

Стекольников Максим Владимирович
Тихонов Денис Александрович

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И БЫСТРОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Методические указания к лабораторным работам

Ответственный за выпуск Стекольников М.В.
Оригинал-макет Стекольников М.В.

Подписано в печать _____
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать RISO.
Объем _____ Тираж _____ Заказ № _____

413100, Россия, Саратовская область, г. Энгельс, пл. Свободы, 17
ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А.