



МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ



Инженерный класс
в московской школе



МОСКОВСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

ТЕХНОЛОГИИ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Учебное пособие



МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ

Москва 2024

УДК 672.86.02
Т38

Рецензенты:

д-р тех. наук, доц., профессор кафедры «Автоматика и управление»
ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» *В.Р. Гасияров*;
канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры молекулярной физики (№ 10)
института лазерных и плазменных технологий, начальник отдела
компетенций WorldSkills НИЯУ МИФИ *А.М. Грехов*;
канд. физ.-мат. наук, руководитель проектов Центра технологической
поддержки образования МФТИ *Д.В. Савицкий*

Авторский коллектив:

*Баранова А.П., Герасимова А.А., Гостева Е.А., Губанов С.Г.,
Давыдкин М.Н., Емельянов И.А., Карфидов А.О., Ли Э.В.,
Лопатин В.Ю., Морозова И.Г., Мясков А.В., Степашкин А.А.,
Титов А.Ю., Филичкина В.А., Харитонов Н.Д.*

Т38 Технологии современного производства : учебное по-
сobie / А.П. Баранова, А.А. Герасимова, Е.А. Гостева
[и др.] ; под общ. ред. В.В. Зотова. – Москва : Изда-
тель-
ский Дом НИТУ МИСИС, 2024. – 424 с.
ISBN 978-5-907833-48-7

Учебное пособие разработано в соответствии с программой кур-
са «Технология современного производства» (64 ч) для обучаю-
щихся 10–11-х классов школ – участниц проекта предпрофессио-
нального образования «Инженерный класс в московской школе». В учебном пособии представлены основные теоретические раз-
делы, отражающие этапы современного производства, основное
оборудование и технологии, в том числе в сфере Индустрии 4.0:
3D-моделирование, аддитивные технологии, функциональные
материалы, роботизация процессов и др. Пособие содержит прак-
тико-ориентированные задания двух уровней сложности, вопро-
сы для самоконтроля и примеры кейсовых заданий для развития
инженерного творческого мышления школьников.

Материал, представленный в учебном пособии, может быть
полезен студентам, обучающимся в университетах на инженерно-
технических направлениях подготовки.

УДК 672.86.02

© Коллектив авторов, 2024
© НИТУ МИСИС, 2024

Оглавление

Глава 1. Основы технологий современного производства	7
1.1 Введение в технологии современного производства	7
1.2 Принципы и применение инженерных технологий	8
1.3 Основные понятия и термины в технологиях производства	11
1.4 Оборудование и инструменты в технологиях производства	14
Глава 2. Аддитивные технологии и моделирование	23
2.1 Моделирование	23
2.1.1 Принципы и применение инженерных технологий	23
2.1.2 Виды моделирования	25
2.1.3 Подготовка моделей к выводу. Программное обеспечение для обработки моделей	30
2.2 Оборудование для 3D-печати	46
2.2.1 Виды 3D-принтеров	46
2.2.2 Техника безопасности при работе с принтерами	47
2.2.3 Устройство принтера формата FDM	48
2.2.4 Установка и настройка принтера формата FDM	50
2.2.5 Вывод модели на печать – основные ошибки при настройке печати	52
2.2.6 Устройство принтера формата SLA	60
2.2.7 Установка и настройка принтера формата SLA	62
Глава 3. Субтрактивные технологии	84
3.1 Лазерная резка	84
3.1.1 Устройство и принцип работы лазерного станка	84
3.1.2 Подготовка и формат вводных данных для лазерного станка	95
3.1.3 Настройка и подготовка станка к работе. Техника безопасности	112
3.1.4 Режимы работы и постобработка изделий	120
3.1.5 Типичные ошибки при работе с лазерным станком	122

3.2 Механическая обработка деталей резанием	127
3.2.1 Оборудование и технология токарной обработки материалов	127
3.2.2 Оборудование и технология фрезерной обработки материалов	142
3.2.3 Техника безопасности	159
3.2.4 Выбор режима работы оборудования при обработке резанием различных материалов	162
3.3 Станки с ЧПУ	172
3.3.1 Устройство фрезерного станка с ЧПУ	172
3.3.2 Принцип работы фрезерного станка с ЧПУ	190
3.3.3 Виды фрезерных станков с ЧПУ	191
3.3.4 Настройка и подготовка фрезерного станка с ЧПУ	194
3.3.5 Завершение работы на станке с ЧПУ	195
3.3.6 Обслуживание фрезерного станка с ЧПУ	195
3.3.7 Техника безопасности при работе с фрезерным станком с ЧПУ	195
3.3.8 Виды фрезерной обработки с ЧПУ	196
3.3.9 Режущий инструмент, использующийся во фрезерных станках с ЧПУ	198
3.3.10 Параметры процесса фрезерования	200
3.3.11 Проектирование деталей для изготовления на фрезерном станке с ЧПУ	200
3.3.12 Подготовка управляющей программы	201
3.3.13 Типичные ошибки при работе с фрезерным станком с ЧПУ	202
3.3.14 Правила техники безопасности при работе на токарном станке с ЧПУ	205
Глава 4. Основы металлургии	212
4.1 Литейное производство	212
4.1.1 Литые детали и области их применения	212
4.1.2 Цифровые технологии в литейном производстве	215
4.2 Обработка металлов давлением	220
4.3 Порошковая металлургия	223
4.3.1 Свойства металлических порошков и методы их получения	223
4.3.2 Формование металлических порошков	228

4.3.3 Спекание металлических порошков	229
Глава 5. Конструкционные материалы	234
5.1 Виды и типы материалов для современного производства	234
5.2 Металлы и сплавы	241
5.2.1 Железо и его сплавы	241
5.2.2 Чугуны	243
5.2.3 Стали	248
5.2.4 Производство сталей	252
5.3 Полупроводники	255
5.4 Полимеры	263
5.5 Композиты	274
Глава 6. 3D-сканирование как основополагающий этап реверс-инжиниринга.	285
6.1 Основные понятия и принципы реверс-инжиниринга.	285
6.2 Инструменты для 3D-сканирования	290
6.3 Технологическая последовательность проведения 3D-сканирования.	298
6.4 Оценка результатов 3D-сканирования	302
Глава 7. Автоматизация и роботизация производства	312
7.1 Основы автоматизации производственных процессов	312
7.2 Применение роботов в современном производстве	326
7.3 Программирование и управление роботами	346
Глава 8. Особенности промышленного производства	371
8.1 Способы масштабирования под серийное производство	371
8.2 Экология и управление качеством	380
8.2.1 Экология	380
8.2.2 Управление качеством	387
Библиографический список	396
Ответы	402

Предисловие

Технологии современного производства активно внедряются во все сферы человеческой жизни, превращая привычные задачи в автоматизированные процессы. Перед инженерами настоящего и будущего стоят сложнейшие мультидисциплинарные задачи, которые требуют не только специализированных знаний в определенной области, но и комплексного понимания всех современных промышленных технологий и совокупности средств, с помощью которых можно получить оптимальный результат.

Цель данного пособия – предоставить читателю систематизированные данные о современных технологиях производства. Пособие охватывает широкий спектр тем – лазерная резка, робототехника, литье, реверс-инжиниринг и др., начиная с основ организации производственного процесса и до внедрения цифровых решений и управления качеством продукции.

Каждая глава пособия включает теоретические основы, практические примеры и кейсы, что позволяет читателю не только понять принципы работы современных технологий, но и применить их в реальных условиях. Пособие содержит значительное количество сведений иллюстративного характера, которые делают учебный материал более информативным.

Авторы уверены, что полученные знания не только помогут реализовать весь творческий потенциал школьника, но и дадут ему возможность сделать свой вклад в научно-техническое будущее страны.

*С уважением,
и.о. директора передовой инженерной школы
«Материаловедение, аддитивные
и сквозные технологии»,
заведующий лабораторией
«Гибридные наноструктурные материалы»
Университета науки и технологий МИСИС,
канд. техн. наук А.А. Комиссаров
и коллектив авторов*

Глава 1. Основы технологий современного производства

Автор: Губанов С.Г., канд. техн. наук, доцент кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения Университета МИСИС

1.1 Введение в технологии современного производства

На протяжении всей истории развития человечество старалось облегчить свой труд. Особенно это касалось тяжелых видов работ, таких как разработка грунта, подъем предметов, масса которых могла быть больше, чем масса человека, который пытался их поднять, использование огня, воды, ветра и др. По сути, нужно признать, что без какого-либо инструмента человек практически бессилен в своей жизнедеятельности.

Развитие различных форм и видов инструментов позволяло (и позволяет по сей день) увеличивать урожай, отапливать дома и снабжать их водой, производить различные изделия, которые нужны людям.

Человечество проделало долгий путь от ручных средств труда, которые сменились станками на паровом двигателе, а затем могли работать на электричестве и дизельном топливе, к оборудованию, которое осуществляет производство практически в автоматизированном режиме, а часть его может создавать такие формы продукции, которые классические средства производства изготовить не могли.

Если проанализировать развитие технологий производства в период с конца XIX века по настоящее время, то с уверенностью можно сказать, что практически все, что вы себе можете представить, можно произвести сегодня или можно будет произвести завтра, но иногда нужно совсем чуть-чуть подождать, пока высокая волна развития современных технологий позволит реализовать эту задумку.

Контрольные вопросы¹

1.1.1. Какие природные ресурсы и силы человек использовал для облегчения своего труда?

1.1.2. Как развитие различных форм и видов инструментов повлияло на жизнь человека?

1.1.3. Какие виды тяжелых работ старалось облегчить человечество на протяжении своей истории?

1.1.4. Какие виды двигателей, приводящие в действие станки, существуют?

1.2 Принципы и применение инженерных технологий

Любая технология представляет собой набор приемов и способов воздействия на объект с целью получения конечного продукта.

В свою очередь, слово «инженер», по информации большинства словарей, впервые появилось во французском языке и было образовано от латинского слова *ingenium* – способность, изобретательность. Если сформулировать более точно, инженер – специалист в вопросах конструирования, производства и эксплуатации машин, механизмов, технических систем и устройств. Все это требует от инженера наличия специальных знаний, навыков и умения ими пользоваться с некоторой долей изобретательности.

Складывая два понятия вместе, мы получаем инженерные технологии, которые применяются на всех этапах жизненного цикла изделий для обеспечения необходимой производительности и долговечности технических систем.

Основные отличительные особенности инженерных технологий:

- наличие научного обоснования любого применяемого способа или приема;
- использование измерений и расчетов для обеспечения требуемых параметров и свойств изделия;

¹ Ответы помещены в конце книги.

- масштабируемость, т.е. возможность переноса технологии на объекты большего и меньшего размеров, производительности в смежные области; и т.п.

Рассмотрим подробнее особенности инженерных технологий. Все инженерные разработки опираются на результаты проведенных ранее научных исследований. Причина этого подхода в том, что процессы, происходящие в машинах и механизмах, осуществляются по законам естественных наук, в первую очередь физики и химии. Фундаментальные науки открывают новые явления, определяют их границы и формулируют законы, в которых отражается суть сделанных открытий. Прикладные науки находят, каким образом открытия фундаментальных наук использовать самым выгодным способом при создании механизмов, устройств и других сложных систем. Иногда происходит наоборот. Прикладные исследования открывают новые явления и обогащают фундаментальную науку. Настоящий инженер должен быть в курсе самых последних научных изысканий, чтобы своими идеями не пытаться опровергнуть законы природы. Самый яркий пример подобного подхода – это попытки изобрести механический вечный двигатель, другими словами, попытки опровергнуть закон сохранения механической энергии, один из основополагающих законов классической механики.

Когда наука ищет закономерности и формулирует законы, изучая поведение элементов механизмов и их взаимодействие друг с другом, она записывает результаты в виде математических формул. Математические формулы – это математические модели процессов, которые позволяют прогнозировать поведение инженерной системы в новых условиях, а потом определять, какие нагрузки она должна будет выдерживать. Именно после расчета нагрузок инженер-конструктор подбирает материалы, формы и размеры деталей механизма или системы, чтобы они работали долго и эффективно. Поэтому расчеты и вычисления – основа любой инженерной технологии.

Во времена, когда не существовало единых инженерных подходов, информация о формах и конструкциях ремесленных изделий хранилась в основном в виде шаблонов. Размеры шаблонов определялись опытным путем, методом проб и ошибок, что позволяло изготавливать изделие только одного размера, производительности и т.п. Проблема такого подхода заключалась в том, что при попытке изменить размеры изделия изменялись массы частей и нагрузки в узлах и механизмах. При этом изменение нагрузок не было пропорционально изменению размеров. Другими словами, при изменении линейных размеров в 1,5 раза в одних узлах нагрузка вырастала на 15–20 %, а в других – на 150–200 % и приходилось искать эти изменения методом проб и ошибок, что очень долго и дорого. Инженерный подход, опирающийся на расчеты, позволяет до начала изготовления изделия посчитать все внешние и внутренние нагрузки и соответствующим образом скорректировать размеры деталей, чтобы их ресурс остался таким же, как у базовой модели.

Подводя итог, отметим, что, применяя инженерные технологии, необходимо придерживаться следующих общепринятых правил:

- в процессе проектирования инженер должен опираться в первую очередь на энергетические показатели системы, учитывая, какую полезную мощность должна развивать система и какие потери энергии будут в системе при применении тех или иных технических решений;
- на этапе разработки конструкции инженер должен пользоваться расчетами для определения конструктивных параметров механизма или системы, учитывая внешние и внутренние нагрузки;
- при производстве выбирать и применять технологии упрочнения и снижения износа деталей, не требующие увеличения их массы;
- в процессе эксплуатации проверять и обслуживать технику в соответствии с технической документацией и требованиями производителя и не допускать работы техники с перегрузкой и неисправностями.

Контрольные вопросы

- 1.2.1. Инженер, который занимается технологиями современного производства, это...
- 1.2.2. Перечислите основные отличительные особенности инженерных технологий.
- 1.2.3. Что позволяет прогнозировать поведение инженерной системы?
- 1.2.4. Каких правил должен придерживаться инженер?

1.3 Основные понятия и термины в технологиях производства

Производство деталей, механизмов или конструкций – это один из этапов жизненного цикла изделия. Базовый перечень понятий, которыми оперируют инженеры, принимающие непосредственное участие в изготовлении продукции, напрямую связан с технологическими процессами, применяемыми на производстве. Производство следует за этапом разработки конструкторской документации и начинается с работы инженеров-технологов.

Взяв в качестве исходной информации комплект конструкторской документации, инженеры-технологи разрабатывают технологический маршрут изготовления для каждой детали, каждого механизма и машины в целом.

Технологическим маршрутом называют последовательность обработки исходного материала (металл, пластик и пр.), в результате которой из заготовки получается готовая деталь. В технологическом маршруте пошагово дается описание каждой технологической операции. Вне зависимости от используемых технологий технологический маршрут начинается с выбора производственного оборудования.

Если для получения изделия применяются *субтрактивные технологии*, т.е. технологии обработки, убирающие лишний материал, то выбирают станки, которые необходимы, чтобы получить изделия заданной формы и размеров.

Тела вращения изготавливают с использованием токарных станков, отверстия круглой формы в основном делают на сверлильных станках, для всех прочих форм используют фрезерные станки и многокоординатные обрабатывающие центры. Для некоторых материалов и сложных форм могут применяться специальные методы обработки, например электроэрозионный, но они здесь не рассматриваются.

Если решено использовать *аддитивные технологии* – методы, добавляющие материал к изделию для придания ему размеров и формы, то в зависимости от материала и требуемой точности выбирают соответствующий 3D-принтер. (К аддитивным технологиям также относятся такие методы классического производства, как сварка, пайка, наплавка и некоторые другие, но их мы также не будем рассматривать в рамках этого учебного пособия.)

Дальше в силу существенных технологических и терминологических отличий рассмотрим сперва субтрактивные технологии. Следующим шагом определяют способ получения заготовки.

Заготовка – это материал или продукт, из которого дальнейшей обработкой получают готовое изделие. Размеры заготовки всегда больше размеров готового изделия. Материал, который срезают с заготовки, чтобы сделать деталь, называют *припуском*. Для деталей, обрабатываемых на токарных или фрезерных станках, в качестве заготовки могут использоваться отрезки труб, прутков различной формы и сечения, отливки, штампованные заготовки. Для деталей, обрабатываемых на гравировальных станках, станках лазерной резки или гибки, в качестве заготовки берется листовая материал: пластик, металл, фанера, дерево и т.п.

Далее в зависимости от физических свойств материала, главными из которых являются твердость и пластичность, а также требований точности изготовления детали выбирается режущий инструмент для обработки заготовки. После того как инструмент выбран, инженер-технолог рассчитывает режимы резания. Режим резания определяется двумя параметрами:

трами: скоростью резания и толщиной материала, удаляемой за один проход инструмента. У каждого режущего инструмента есть свой диапазон значений скорости резания.

Скорость резания – это скорость перемещения режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Слишком маленькая скорость резания испортит поверхность детали, слишком большая испортит инструмент.

Съем материала за один проход может быть разным. Здесь, следует заметить, что если точность изготовления детали должна быть высокой, то припуск снимается в несколько приемов. Сначала грубым, но прочным резцом снимают большую часть припуска, это называется *черновая обработка*. Потом чистовым инструментом, иногда в несколько проходов и операций снимают остатки, и это уже *чистовая обработка*.

Когда деталь изготавливают из стали, для изменения физических свойств материала и придания ему необходимой твердости деталь несколько раз нагревают до определенных значений температуры и охлаждают с заданной скоростью (за несколько часов, минут или секунд). Все эти операции вместе называются *термообработкой*, а каждая в отдельности имеет свое название: *отжиг, отпуск, нормализация, закалка*.

После того как инженеры-технологи определили способ получения заготовки, выбрали оборудование и режущий инструмент, режимы термообработки, технологическая документация передается в цех и начинается непосредственное производство изделий.

В случае применения аддитивных технологий вторым шагом будет выбор материала детали. Самыми доступными и популярными материалами на настоящий момент являются пластики PLA и ABS для печати по технологии FDM. Материалы выбираются исходя из свойств прочности, пластичности, хрупкости и точности изготовления изделия.

На следующем этапе технологического маршрута модель детали в формате STL загружают в программу – слай-

сер. В этой программе выполняется подготовка процесса 3D-печати. Подготовку начинают с выбора положения детали на рабочем столе принтера. Правильное расположение позволяет минимизировать количество поддержек и коробление изделия. В программе можно задать толщину слоя, направление наплавки нитей филамента в соседних слоях, пористость материала, температуру наплавки и еще ряд параметров, от которых зависит качество поверхности, точность печати и остаточное *коробление детали* – деформирование материала изделия в результате неравномерного нагрева и остывания. Результат работы программы слайсера – это файл программы, передаваемый на принтер. В этом файле в G-кодах записаны перемещения рабочего инструмента (экструдера), который формирует изделие и все вспомогательные элементы (подложка, поддержки). Следует подчеркнуть, что в аддитивном производстве настройка программы слайсера – это один из самых ответственных этапов создания изделия. После запуска программы на принтере следует набраться терпения, так как 3D-печать – процесс небыстрый.

Контрольные вопросы

- 1.3.1. Технологический маршрут изготовления детали – это...
- 1.3.2. Какие два вида технологий применяют для создания изделий?
- 1.3.3. Почему важно правильно выбрать скорость резания материала?
- 1.3.4. Какие операции называют термообработкой?
- 1.3.5. Что считается короблением детали?

1.4 Оборудование и инструменты в технологиях производства

Технологии современного производства занимают все более значимое место в различных сферах деятельности че-

ловека. Они представляют собой инновационный подход к производству, который позволяет создавать объекты путем последовательного нанесения материала слой за слоем. Такой метод производства отличается высокой точностью и гибкостью, что открывает широкие перспективы для реализации самых смелых идей. Аддитивные технологии (АТ) находят применение в различных отраслях промышленности, медицине, образовании, искусстве и других сферах. Они позволяют создавать сложные геометрические формы, которые трудно или невозможно получить с помощью традиционных методов производства. АТ обеспечивают значительную экономию материалов и времени, что делает их привлекательными для бизнеса и производства.

Далее мы рассмотрим основные виды аддитивных технологий, такие как 3D-печать, лазерное спекание, послойное наплавление и др. Также мы рассмотрим преимущества и недостатки различных способов 3D-печати.

Фотополимеризация в ванночке. В основе этого процесса лежит химическая реакция, которая происходит под воздействием света определенной длины волны. Эта реакция называется фотополимеризацией. В результате получается твердая печатная модель из жидкой смолы.

SLA: Stereolithography, или стереолитография. В процессе стереолитографической печати платформа, на которой будет держаться модель, погружается в резервуар с жидкой фотополимерной смолой. Когда платформа оказывается в смоле, один или несколько точечных лазеров, расположенных внутри принтера, начинают светить снизу на те участки смолы, которые, согласно вашему трехмерному цифровому дизайну, должны затвердеть для создания распечатки. Так создается первый слой объекта. После того как слой затвердел, платформа поднимается на расстояние, равное толщине слоя, и новая смола заполняет пространство под затвердевшим слоем. Этот процесс повторяется до тех пор, пока все слои, образующие модель, не будут облучены и не затверде-

ют. После завершения процесса фотополимеризации модель извлекается из принтера, дополнительно засвечивается ультрафиолетом (УФ) и может быть дополнительно обработана для улучшения ее внешнего вида и функциональных характеристик. Это может включать шлифовку, полировку, окрашивание и нанесение защитного покрытия.

В процессе производства распечаток зачастую используются опоры для навесных элементов модели. Эти элементы добавляются к модели перед печатью и удаляются вручную после обработки изделия ультрафиолетом.

К преимуществам данного метода печати можно отнести высокую точность, качественную поверхность распечатанных моделей и возможность использования как бытовых, так и промышленных принтеров. Однако есть и недостатки: хрупкость распечатанных моделей, высокая стоимость принтеров и расходных материалов. Этот метод печати широко применяется в медицине, ювелирном деле и при создании литьевых моделей. Для печати используются различные типы смол: стандартные, упрочненные, гибкие, прозрачные и литейные.

DLP: Direct Light Processing, или цифровая светодиодная проекция. Технология печати цифровой светодиодной проекции очень похожа на стереолитографию. В отличие от SLA-печати DLP-принтеры используют цифровую светодиодную проекцию, у которой засвечивается весь слой целиком. Засвечивание происходит до полного затвердевания смолы, затем печатный стол поднимается и происходит печать следующего слоя.

Рассмотрим процесс более детально. В ванночку с прозрачным дном и жидким фотополимером погружается рабочая поверхность стола, на которой распечаток будет держаться. Проектор DLP-принтера, расположенный под этой ванночкой, проецирует на печатную область изображение одного слоя модели до полного затвердевания смолы под УФ-лучами. Далее рабочая поверхность поднимается на толщину

ну одного слоя, и засвечивается следующий слой. Так слой за слоем создается распечаток.

В процессе печати используются цифровые проекторы, которые проецируют изображение на экран в виде пикселей. В результате каждый слой распечатки состоит из маленьких квадратов, называемых вокселями. Преимущества такого способа печати включают высокую точность и скорость работы (по сравнению с SLA-принтерами), а также наличие настольных и промышленных моделей. Однако есть и недостатки, такие как хрупкость распечатанных моделей, высокая стоимость принтеров и расходных материалов. Этот метод печати широко применяется в медицине, ювелирном деле и при создании литьевых моделей. Для печати используются стандартные и литейные смолы.

CDLP: Continuous DLP, или непрерывная цифровая светодиодная проекция. Технология непрерывной цифровой светодиодной печати, известная как CDLP (Continuous Digital Light Processing), работает по тому же принципу, что и DLP-печать, но с ключевым отличием: в CDLP-печати платформа непрерывно движется вверх по оси Z, что значительно увеличивает скорость производства модели. Преимущества CDLP-печати включают высокую точность, достигаемую за счет печати очень тонких слоев, и высокую скорость производства. Однако у этого метода есть и недостатки, такие как хрупкость распечатанных моделей, высокая стоимость принтеров и расходных материалов. Основные области применения CDLP-печати включают медицину, ювелирное дело и создание литьевых моделей. С помощью этой технологии можно производить модели из стандартных, упрочненных и литейных смол, что делает ее универсальной для различных производственных задач. CDLP-печать позволяет создавать детали с высокой точностью и сложной геометрией, что особенно важно в медицине для изготовления протезов и имплантатов. В ювелирном деле этот метод используется для создания точных копий драгоценных камней и украшений. В литьевом

производстве CDLP-печать позволяет создавать формы для последующего литья металлов и других материалов. CDLP-печать представляет собой передовую технологию, которая находит широкое применение в различных отраслях благодаря своей высокой точности, скорости и универсальности.

Экструзия материала. В этой технологии 3D-печати принтер экструдировывает, или выдавливает, материал из своего сопла на платформу печати. Сопло следует заданной цифровой моделью траектории и печатает слой за слоем. Материал может быть разнообразным, включая пластик, металл, керамику и даже биоматериалы. Это позволяет создавать сложные и точные модели, которые находят применение в различных отраслях, таких как медицина, авиастроение, архитектура и дизайн. Процесс печати управляется программным обеспечением, которое позволяет точно контролировать форму, размер и расположение каждого слоя. В результате получаются изделия с высокой детализацией и прочностью.

FDM: Fused Deposition Modeling, или моделирование послойным наплавлением. FDM-печать, известная как FFF (Fused Filament Fabrication) или производство методом наплавления нитей, является наиболее распространенным видом 3D-печати. Этот метод печати включает несколько ключевых этапов. Сначала катушка с нитями термопластика загружается в принтер. Затем нити, проходя через нагретое сопло принтера, расплавляются. Принтер непрерывно перемещает сопло в соответствии с траекторией, заданной системой автоматизированного проектирования (CAM), укладывая расплавленный материал в необходимых местах. Когда материал остывает, он затвердевает, образуя готовый слой распечатки. Процесс продолжается до тех пор, пока не будут напечатаны все слои.

Существуют принтеры, которые позволяют печатать сразу несколькими материалами. Печать несколькими материалами позволяет создавать цветные распечатки или печатать поддержки модели из растворимого материала для их легкого удаления после печати.

К положительным аспектам печати FDM относятся низкая стоимость принтеров и расходных материалов, а также возможность использования широкого спектра различных пластиков. Основным недостатком является низкая точность печати по сравнению с SLA-принтерами и шероховатая поверхность распечатанных моделей. FDM-печать находит применение в различных областях, включая прототипирование, промышленное производство и домашнюю печать. В прототипировании она используется для создания предварительных моделей, которые затем могут быть доработаны и улучшены. В промышленном производстве FDM-печать применяется для массового производства деталей, таких как корпуса электронных устройств или компоненты для автомобилей. В бытовой печати она позволяет создавать уникальные изделия для личного использования или в качестве подарков.

Одной из ключевых особенностей FDM-печати является возможность использования различных типов пластиков, каждый из которых имеет свои уникальные свойства. При печати можно использовать термопластики и композиты, поставляемые в виде катушек – ABS, PLA, нейлон, PC, армированный волокнами нейлон, ULTEM, экзотические материалы (наполнение металлом, деревом и т.д.). Например, ABS-пластик подходит для создания прочных и жестких моделей, PLA-пластик идеален для печати моделей, которые не требуют высокой прочности, а PETG-пластик обладает хорошей устойчивостью к химическим веществам и высокой температуре. Однако, несмотря на все преимущества, FDM-печать имеет и свои ограничения. Низкая точность и шероховатая поверхность моделей могут потребовать дополнительной обработки, такой как шлифовка или полировка. Кроме того, процесс печати может занимать значительное время, особенно при создании сложных моделей.

В целом FDM-печать является доступным и универсальным методом 3D-печати, который находит широкое применение в различных областях. Благодаря возможности использования различных материалов и относительно низ-

кой стоимости оборудования FDM-печать остается популярным выбором как для профессионалов, так и для любителей.

Контрольные вопросы

- 1.4.1. Назовите виды аддитивных технологий.
- 1.4.2. Какие материалы можно использовать для 3D-печати способом экструзии материала?
- 1.4.3. Перечислите виды пластика, используемого в печати послойным наплавлением.

Задания для самопроверки

Задача 1.4.1

Задача на сопоставление представлена в базовом и продвинутом уровнях.

Базовый уровень

Сопоставьте способы 3D-печати с их описанием.

Способы 3D-печати:

- фотополимеризация в ванночке;
- SLA: Stereolithography;
- DLP: Direct Light Processing;
- CDLP: Continuous DLP;
- экструзия материала;
- FDM: Fused Deposition Modeling.

Основной принцип процесса печати:

- выдавливание материала из сопла на платформу печати;
- засвечивание одним или несколькими точечными лазерами нужных участков смолы;
- послойное наплавление нитей термопластика;
- светодиодная проекция с постоянным перемещением по оси Z;
- химическая реакция, которая происходит под воздействием света определенной длины волны;
- светодиодная проекция засвечивает весь слой целиком с последующим перемещением по оси Z.

Продвинутый уровень

Проведите сопоставление способа печати и примеров изделий.

Способ 3D-печати:

- струйная 3D-печать;
- селективное лазерное спекание (SLS);
- цифровая светодиодная проекция (DLP);
- стереолитография (SLA);
- послойное наплавление (FDM);
- лазерное спекание порошковых материалов.

Примеры изделий:

- керамические изделия, модели для литейной промышленности;
- прочные пластиковые и металлические детали для промышленного применения;
- небольшие пластиковые изделия со сложной геометрией, ювелирные украшения;
- высокоточные медицинские имплантаты, ювелирные изделия, прототипы;
- пластиковые бытовые товары, игрушки, архитектурные макеты;
- металлические детали для авиакосмической и автомобильной промышленности.

Кейс 1.1

Придумайте изделие, которое хотели бы создать. Это может быть все что угодно. В качестве главного критерия необходимо учитывать, что это изделие должно делать жизнь людей лучше (помогать человеку, быть удобным и (или) информативным).

После того как появилась концепция изделия, попробуйте нарисовать его эскиз (или создать 3D-модель), опишите это изделие и весь его функционал как можно подробнее.

Далее проведите поиск аналогов такого изделия. Проанализируйте, чем ваша задумка отличается от существующих разработок.

Продумайте, как ты будете производить свое новое изделие, и подробно опишите этот процесс. Если технологии современного производства не позволяют изготовить данное новое изделие, подумайте и дайте описание, как, по вашему мнению, оно может быть изготовлено в будущем.

Кейс 1.2

Придумайте конструкцию манипулятора, который сможет захватывать, поднимать и перемещать предметы (масса которых не превышает 30 кг) на относительно небольшие расстояния (1–2 м), при этом затрачивая минимум энергии и имея минимальные размеры.

При решении кейсовой задачи необходимо провести поиск аналогов, создать эскиз (или 3D-модель) манипулятора, подробно описать его принцип работы и преимущества разработанной конструкции, произвести расчет мощности механизма и действующих на него сил.

Глава 2. Аддитивные технологии и моделирование

Автор: Харитонов Н.Д., специалист по профнавигации и проектной деятельности отдела профессиональной навигации Управления профессиональной навигации и приема, Университет МИСИС

2.1 Моделирование

2.1.1 Принципы и применение инженерных технологий

Инженерные технологии в моделировании играют ключевую роль в проектировании, анализе и оптимизации различных систем. Эти технологии позволяют создавать точные и эффективные модели, которые отражают реальные процессы и объекты. В данном разделе рассматриваются основные принципы моделирования и их применение в инженерной практике.

Принципы моделирования. Создание трехмерных моделей основывается на ряде ключевых принципов.

Наглядность подразумевает четкое и правильное представление о моделируемом объекте. Это достигается через использование цвета, текстуры, формы и размеров элементов модели, что позволяет зрителю легко воспринимать ее характеристики.

Информативность модели зависит от количества пространственных характеристик, которые она содержит. Высокая информативность достигается при всестороннем представлении всех значимых элементов модели, включая их размеры и формы.

Принцип параметризации – в параметрическом моделировании создается математическая модель с определенными параметрами, изменение которых позволяет генерировать различные формы объектов. Это особенно полезно для создания множества вариаций одной и той же модели.

Принцип множественности моделей – каждая модель отражает лишь определенные (заданные) аспекты. Для построения идеального двойника требуется создание нескольких моделей и проведение расчетов. Каждая 3D-модель имеет свои недостатки и преимущества.

3D-моделирование – создание цифрового двойника на основе работы с координатами на поверхности, благодаря которым создается облик двойника.

Цифровой двойник – это цифровая (виртуальная) модель любых объектов, систем, процессов или людей. Она точно воспроизводит форму и действия оригинала и синхронизирована с ним.

Цифровой двойник нужен, чтобы смоделировать, что будет происходить с оригиналом в тех или иных условиях. Это помогает сэкономить время и средства (если речь идет о сложном и дорогостоящем оборудовании), избежать вреда для людей и окружающей среды.

Рассмотрим этапы использования и создания двойников.

Этапы 3D-моделирования:

- 1) создание геометрии модели – на этом этапе формируется базовая геометрическая структура объекта без учета его физических характеристик;
- 2) создание текстуры объекта – на этом этапе определяются материалы и текстуры, которые придают модели реалистичность;
- 3) выбор освещения – настройка освещения критически важна для восприятия модели, так как она влияет на видимость и правдоподобие.

Применение 3D-моделирования в инженерии. Инженерные технологии 3D-моделирования находят широкое применение в различных областях.

В области архитектуры использование программного обеспечения, такого как AutoCAD и Revit, позволяет архитекторам проектировать здания с высокой точностью и визуализировать их до начала строительства.

В промышленности, в механическом проектировании 3D-моделирование используется для разработки деталей и механизмов с помощью программ, таких как Компас 3D.

Создание 3D-моделей медицинского оборудования помогает в проектировании и тестировании новых устройств перед их физическим производством.

2.1.2 Виды моделирования

Существует несколько основных видов 3D-моделирования, каждый из которых имеет свои уникальные особенности и области применения.

Полигональное моделирование. Полигональное моделирование – самая первая и классическая техника моделирования, которую используют в самом начале работы с моделями. Смысл техники заключается в работе с поверхностями моделей, разбитых на полигоны.

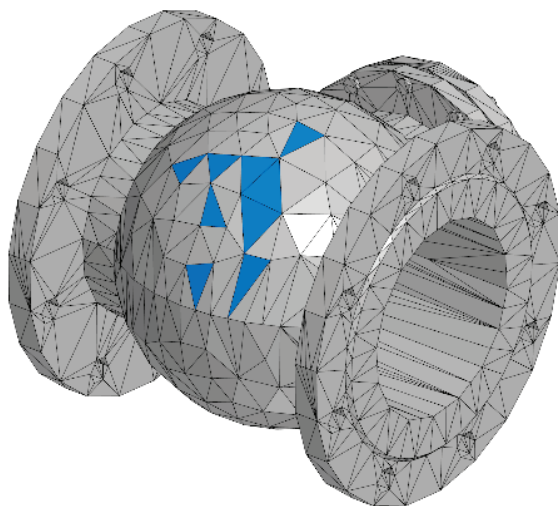


Рисунок 2.1.1 – Полигональная модель с ошибками

Полигоны – это многоугольники, содержащие внутри себя вершины (vertex), ребра (edge). Поверхность, которая образуется между точками или ребрами, называется гранью (face). Изменение объектов происходит с использованием базовых операций и модификаторов. К базовым операциям можно отнести перемещение (translate), вращение (rotate), масштабирование (scale), выдавливание (extrude), разделение (subdivide), слияние (merge), скольжение (slide). Эти операции часто повторяются (рисунок 2.1.1).

Методом последовательных комбинаций базовыми операциями можно получить из «простого» объекта сложную форму – чем больше операций будет применено, тем более сложную форму можно получить (рисунок 2.1.2).

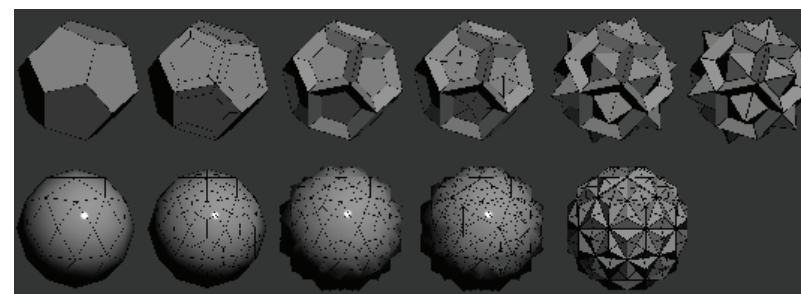


Рисунок 2.1.2 – Усложнение простого объекта

В технике полигонального моделирования существуют правила построения полигональной сетки, или меша (от англ. *mesh* – сетка). Правила описывают подходы, позволяющие формировать и поддерживать корректную топологию сетки. Топология как раздел математики изучает явление непрерывности пространства. Как это можно применить к сетке? Выстраиваясь, полигоны образуют направления – полигональные кольца или петли (loop). В зависимости от того, как взаимно расположены или склеены полигональные петли, зависит то, как будет происходить сглаживание объекта при

операциях подразделения. Сложные полигональные объекты состоят из тысяч полигонов. 3D-художник редактирует форму объекта только на базовом уровне детализации, а финальное сглаживание выполняет модификатор подразделения. Для того чтобы такое сглаживание приводило к ожидаемому результату, 3D-художнику нужно предусмотреть расположение полигональных петель на критичных участках формы. Иначе будут заметны артефакты сглаживания или форма объекта будет казаться оплавленной. Необходимо следить, чтобы плотность сетки была одинаковой по всей поверхности объекта и состояла только из квадов (полигонов с четырьмя сторонами). Иногда допускается врезка треугольных граней (faces), но это исключение. Есть небольшие различия в моделировании высокополигональных моделей (для кино) и моделей, предназначенных для визуализации реального времени (интернет, игры). Для высокополигональных моделей важны правильная топология и сетка, состоящая из четырехугольных граней, а для игровой графики важна оптимизация. Поэтому модели, которые прошли оптимизацию, имеют большую угловатость и состоят преимущественно из треугольных граней.

Твердотельное моделирование. Твердотельное моделирование – это метод 3D-моделирования, который позволяет создавать трехмерные объекты как цельные и непрерывные тела. Этот подход широко используется в инженерии и машиностроении благодаря своей способности точно отражать физические свойства объектов, что критически важно при проектировании деталей, подверженных значительным нагрузкам.

Основные характеристики твердотельного моделирования. Целостность и непрерывность. Твердотельные модели представляют собой полные объемные объекты, которые обладают такими характеристиками, как объем и масса (рисунок 2.1.3). Это позволяет инженерам учитывать не только внешнюю, но и внутреннюю структуру деталей.

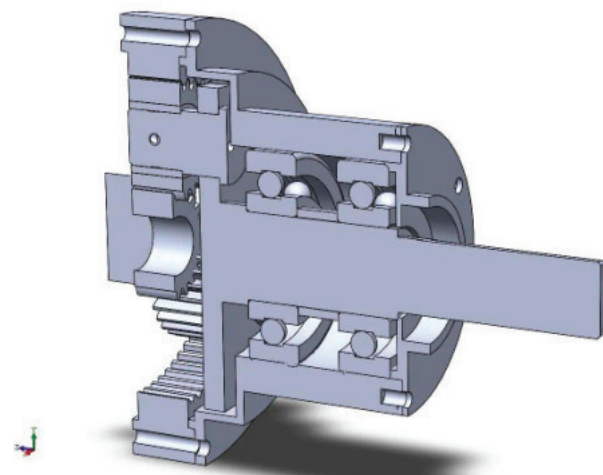


Рисунок 2.1.3 – Твердотельная модель

Использование CAD-систем. Твердотельное моделирование осуществляется с помощью специализированных программ CAD (Computer-Aided Design), таких как SolidWorks, Компас 3D. Эти программы позволяют создавать модели на основе базовых геометрических примитивов (кубов, цилиндров и т.д.) с использованием булевых операций для их объединения или вычитания (рисунок 2.1.4).

Твердотельное моделирование

Твердотельные примитивы	Булева операция		
	объединение (U)	разность (-)	пересечение (∩)
	$A \cup B$	$A - B$ $B - A$	$A \cap B$
			

Рисунок 2.1.4 – Булевы операции в твердотельном моделировании

Параметризация. Важной особенностью твердотельного моделирования является возможность параметрических изменений. Это позволяет легко вносить корректировки в размеры и форму модели без необходимости ее полного пересоздания.

Анализ и симуляция. Твердотельные модели могут быть использованы для проведения различных видов анализа, таких как прочностные испытания и тепловые расчеты, что позволяет выявлять потенциальные проблемы еще до начала производства.

Преимущества твердотельного моделирования. Точность и детальность. Твердотельные модели представляют собой непрерывные объекты, которые точно описывают физические характеристики, такие как объем, масса и плотность. Это позволяет проводить более точные расчеты прочности и других параметров, что критически важно в инженерии и производстве.

Возможность проведения анализа. Твердотельное моделирование позволяет выполнять различные виды инженерного анализа, включая прочностные испытания, тепловые расчеты и симуляции физических процессов. Это помогает выявлять возможные проблемы на этапе проектирования, что снижает риски при производстве.

Параметризация. Одним из ключевых преимуществ является возможность параметрического изменения модели. Инженеры могут легко вносить изменения в размеры и форму объекта без необходимости пересоздания всей модели, что экономит время и снижает вероятность ошибок.

Совместимость с САМ-системами. Твердотельные модели могут быть непосредственно использованы для создания управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Это обеспечивает высокую точность при производстве деталей и минимизирует погрешности.

Универсальность применения. Твердотельное моделирование находит применение в различных отрас-

лях – от автомобилестроения до медицины и ювелирного производства. Оно позволяет создавать сложные изделия с высокой степенью детализации и функциональности.

Экономия времени на разработку. Благодаря возможности быстрого внесения изменений и проведения анализа на ранних этапах проектирования твердотельное моделирование значительно ускоряет процесс разработки новых изделий.

Эти преимущества делают твердотельное моделирование предпочтительным выбором для инженеров и дизайнеров, стремящихся к высокой точности и эффективности в процессе проектирования и производства.

Поверхностное моделирование. Данный метод фокусируется на создании гладких и детализированных поверхностей объектов. Он часто используется в автомобилестроении и дизайне изделий, где важна эстетика и форма.

Каркасное моделирование. Это базовый тип 3D-моделирования, который создает контур или скелет объекта без деталей. Каркасное моделирование используется на ранних этапах проектирования для визуализации концепций.

2.1.3 Подготовка моделей к выводу.

Программное обеспечение для обработки моделей

Первый этап подготовки модели для 3D-печати заключается в выборе подходящего программного обеспечения (ПО) для 3D-моделирования. Существует множество программ, каждая из которых обладает уникальными характеристиками и преимуществами. Перед тем как выбрать программу для слайсинга (слайсер – это программа, которая преобразует 3D-модель в управляющий код для 3D-принтера), необходимо решить несколько ключевых вопросов, касающихся вашей модели:

- поддержка формата STL – убедитесь, что программа позволяет экспортировать файлы в формате STL, который является стандартом для 3D-печати;

- выбор единицы измерения – проверьте, чтобы единицы измерения в программе соответствовали единицам вашего 3D-принтера (обычно это миллиметры), это поможет избежать ошибок при масштабировании модели;

- настройка рабочей области – настройте рабочую область в программе так, чтобы она соответствовала рабочей области вашего 3D-принтера, это позволит вам точно визуализировать, как модель будет размещена на платформе для печати.

Создание 3D-модели – это увлекательный творческий процесс, но важно учитывать некоторые технические аспекты, чтобы модель была пригодна для печати. Правильная оптимизация модели поможет избежать проблем в процессе печати и повысить качество конечного изделия.

Основные принципы моделирования для 3D-печати. Избегайте тонких стенок. Стенки модели должны быть достаточно толстыми для успешной печати. Обычно минимальная толщина стенки составляет 1–2 мм. Тонкие стенки могут не выдержать нагрузки и деформироваться во время печати.

Добавление поддержек. Если модель имеет нависающие элементы, обязательно добавьте поддержки, чтобы эти элементы не обрушились в процессе печати. Поддержки можно удалить после завершения печати, но они помогут сохранить форму модели.

Оптимизация геометрии. Убедитесь, что модель не содержит лишних деталей и имеет оптимальную геометрию для печати. Это позволит сократить время печати и уменьшить расход материала.

Большие модели. При моделировании и постобработке учитывайте размеры печатного стола и размер вашей модели – лучшим вариантом будет разделить модель на части или планировать сборную деталь заранее.

При создании модели в векторных 3D-редакторах, таких как SketchUp, важно следовать правилу Solid. Это означает, что модель должна быть цельной, иногда говорят,

герметичной (water tightness). Модель должна представлять собой замкнутый объем, чтобы ее можно было успешно распечатать на 3D-принтере.

Основные аспекты solid-правила приведены ниже.

1. Замкнутый объем. Для того чтобы структура считалась цельной, она должна быть сформирована из непрерывной поверхности без разрывов или отверстий. Это похоже на ведро – если в ведре есть дыры, оно не сможет удерживать воду.

2. Группировка объектов. Чтобы SketchUp распознал вашу модель как цельную, все ее элементы должны быть сгруппированы. Даже если вы создадите структуру с соблюдением всех правил, она останется просто набором элементов, пока не будет объединена в одну группу.

3. Проверка на герметичность. В SketchUp есть инструменты для проверки того, является ли ваша группа или компонент цельным объектом. Если структура не имеет утечек (отсутствующих граней или граней, которые не соединяются по краям), она будет считаться solid.

4. Исправление ошибок. Если ваша модель перестала быть цельной в процессе редактирования, SketchUp не укажет конкретные причины этого. Однако существуют инструменты, такие как Outer Shell и Solid Inspector, которые могут помочь объединить элементы и выявить проблемы.

Примеры оптимизации. Предположим, вы разрабатываете модель чашки. Убедитесь, что стенки чашки имеют достаточную толщину, а ручка поддерживается дополнительными элементами, чтобы избежать деформации во время печати. Если ваша модель обладает сложной геометрией, рассмотрите возможность разделения ее на несколько частей, которые можно будет собрать после завершения печати (рисунок 2.1.5).

Экспорт и проверка модели в формате STL. Экспорт 3D-модели в формат STL. После создания и оптимизации модели необходимо экспортировать ее в формат STL. Этот формат является стандартом для большинства 3D-принтеров

и позволяет передать все необходимые данные для печати. Правильный экспорт и проверка модели на ошибки помогут избежать проблем в процессе печати.

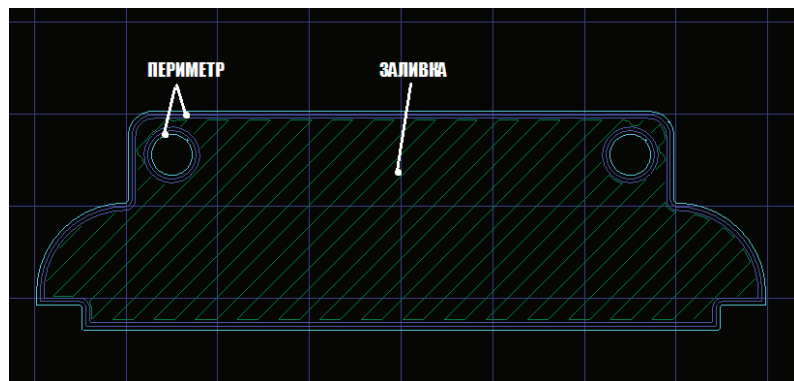


Рисунок 2.1.5 – Экспорт файла в слайсер

Процесс экспорта. Выбор формата. В меню экспорта выберите формат STL. Убедитесь, что вы установили правильные параметры экспорта, такие как точность и размер файла.

Настройка параметров экспорта. Убедитесь, что параметры экспорта соответствуют требованиям вашего 3D-принтера. Например, для высококачественной печати может потребоваться более высокая точность, что увеличит размер файла.

Проверка модели. Перед тем как отправить модель на печать, рекомендуется провести проверку на наличие ошибок. Существуют специальные программы, такие как Netfabb или Meshmixer, которые помогут обнаружить и исправить проблемы в модели.

Основные проверки. Проверка на наличие дыр. Убедитесь, что модель не содержит дыр или разрывов в поверхности. Наличие дыр может привести к неправильной печати и дефектам в конечном продукте.

Проверка на наличие пересечений. Убедитесь, что элементы модели не пересекаются друг с другом. Пересечения могут вызвать проблемы при генерации поддержек и привести к дефектам в процессе печати.

Практико-ориентированное задание 2.1. **Создание прототипа с использованием программ твердотельного моделирования**

Задание 2.1.1. Выполнить построение согласно чертежу. Перевести деталь в формат стереолитографии для работы с печатью (рисунок 2.1.6).

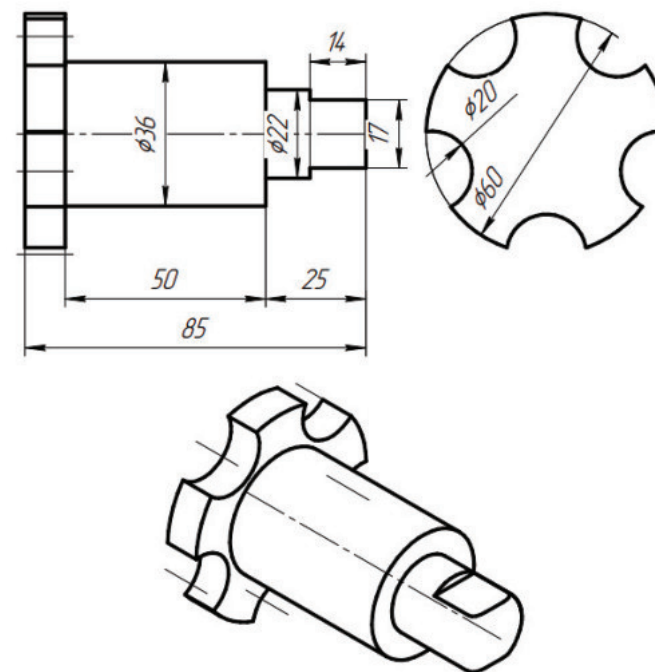


Рисунок 2.1.6 – Задание 2.1.1

Алгоритм выполнения задачи описан на основе системы трехмерного проектирования Компас-3D (далее – Компас-3D).

Алгоритм построения модели согласно чертежу. Открыть Компас-3D. Выбрать функцию меню «Файл – Создать – Деталь» (рисунок 2.1.7).

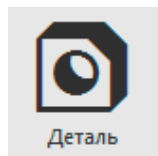


Рисунок 2.1.7 – Функция меню «Деталь»

С помощью команды «Создать эскиз» создать эскиз по чертежу на боковой поверхности (рисунок 2.1.8).



Рисунок 2.1.8 – Функция «Эскиз»

Для построения эскиза используются инструменты «Окружность» (рисунок 2.1.9) и «Копия по окружности» (рисунок 2.1.10).

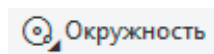


Рисунок 2.1.9 – Инструмент «Окружность»

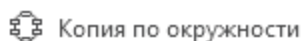


Рисунок 2.1.10 – Инструмент «Копия по окружности»

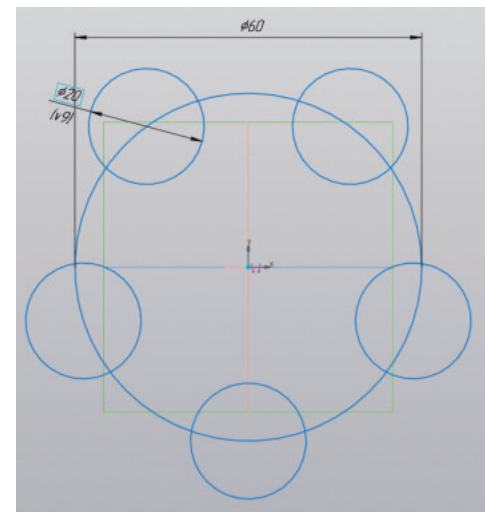


Рисунок 2.1.11 – Полученный эскиз

С помощью команды «Элемент выдавливания» необходимо выдавить весь эскиз, за исключением частей отверстий, на длину 10 (рисунок 2.1.12).

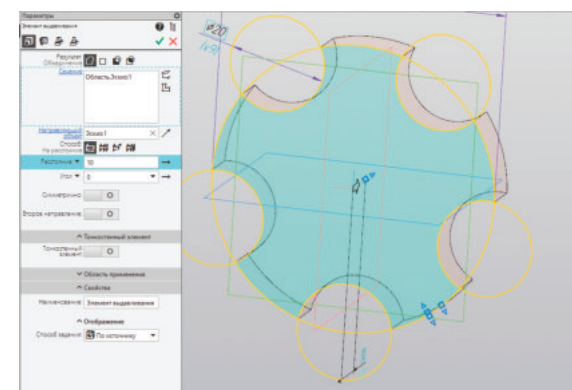


Рисунок 2.1.12 – Процесс выдавливания эскиза

Произвести создание нового эскиза на поверхности созданной модели. Для этого необходимо построить окружность диаметром 36 (рисунок 2.1.13).

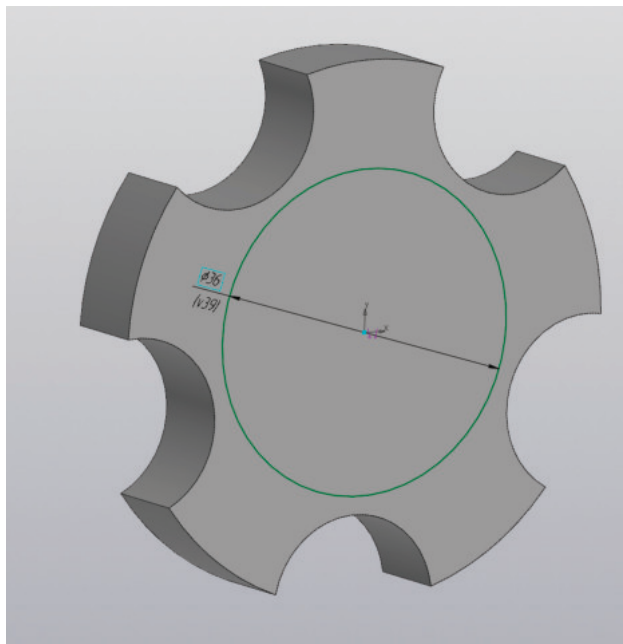


Рисунок 2.1.13 – Новый эскиз на поверхности модели

С помощью команды «Элемент выдавливания» необходимо выдавить весь эскиз на длину 50.

Произвести построение последней части данной модели, а именно, небольшой цилиндр, с которого срезали две части. Для этого необходимо выполнить постройку эскиза со всеми срезами, а затем выдавить каждый на определенную длину.

Сначала строится окружность диаметром 22 (рисунок 2.1.14).

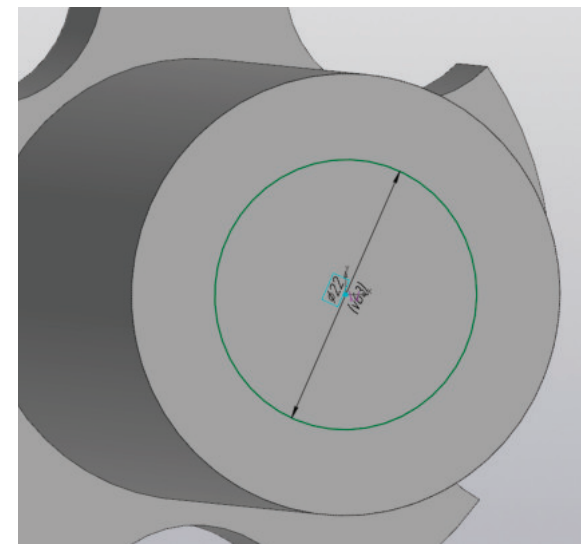


Рисунок 2.1.14 – Построение цилиндра

Выполняется вырез на расстоянии 17 от центра окружности. Для этого создается отрезок длиной 17 и срез комбинацией команд «Отрезок» (рисунок 2.1.15) и «Усечь кривую» (рисунок 2.1.16).

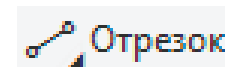


Рисунок 2.1.15 – Инструмент «Отрезок»

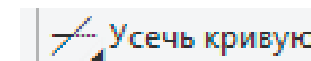


Рисунок 2.1.16 – Инструмент «Усечь кривую»

Процесс построения эскиза завершен (рисунок 2.1.17).

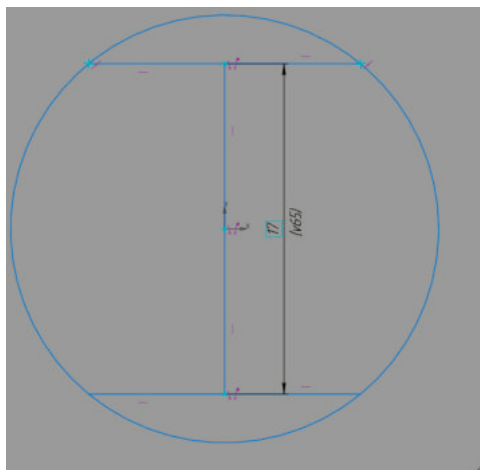


Рисунок 2.1.17 – Завершенный эскиз

Выполняются две команды выдавливания.

Выдавливание меньшей части среза на полную длину (25) (рисунок 2.1.18).

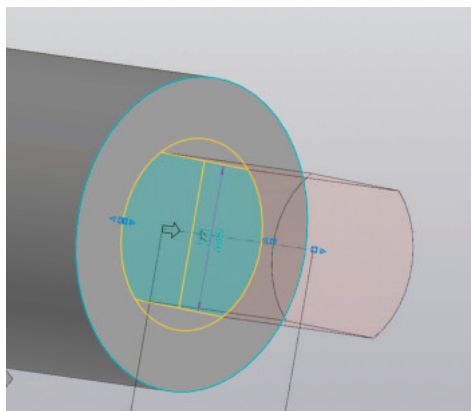


Рисунок 2.1.18 – Выдавливание меньшей части среза

Выдавливание остатка окружности на длину $(25 - 14 = 11)$ (рисунок 2.1.19).

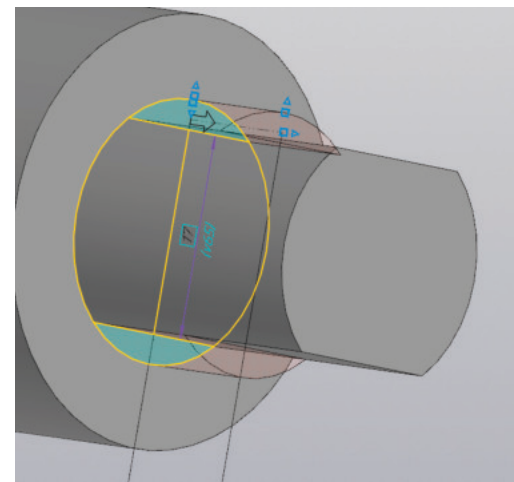


Рисунок 2.1.19 – Выдавливание остатка окружности

Построение модели завершено.

Для перевода детали в унифицированный формат нажать на кнопку «Сохранить как» (рисунок 2.1.20).



Рисунок 2.1.20 – Функция «Сохранить как»

В графе «Тип файла» (рисунок 2.1.21) выбрать формат STL (*.stl). Это позволит сохранить файл в необходимом формате.

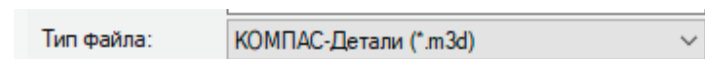


Рисунок 2.1.21 – Функция «Тип файла»

Задание 2.1.2. Выполнить построение согласно чертежу. Перевести деталь в формат стереолитографии для работы с печатью (рисунок 2.1.22).

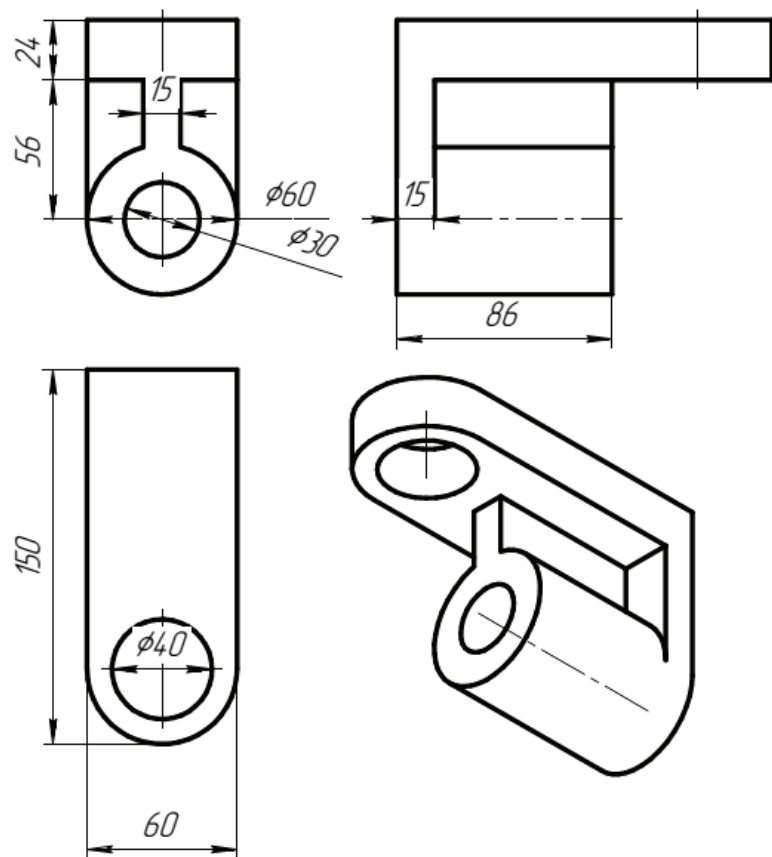


Рисунок 2.1.22 – Чертеж детали

Алгоритм выполнения задачи описан на основе Компас-3D.

Открыть Компас-3D. Выбрать функцию меню «Файл – Создать – Деталь» (см. рисунок 2.1.7).

С помощью команды «Создать эскиз» (см. рисунок 2.1.8) создать эскиз по чертежу на нижней поверхности (рисунок 2.1.23).

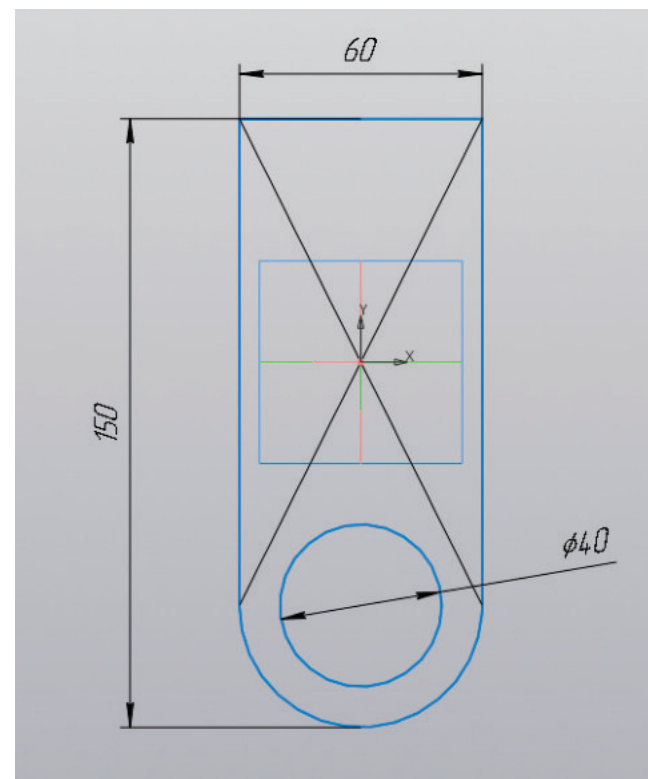


Рисунок 2.1.23 – Чертеж

С помощью команды «Элемент выдавливания» необходимо выдавить эскиз, основываясь на чертеже (рисунок 2.1.24). Процесс построения эскиза завершен.

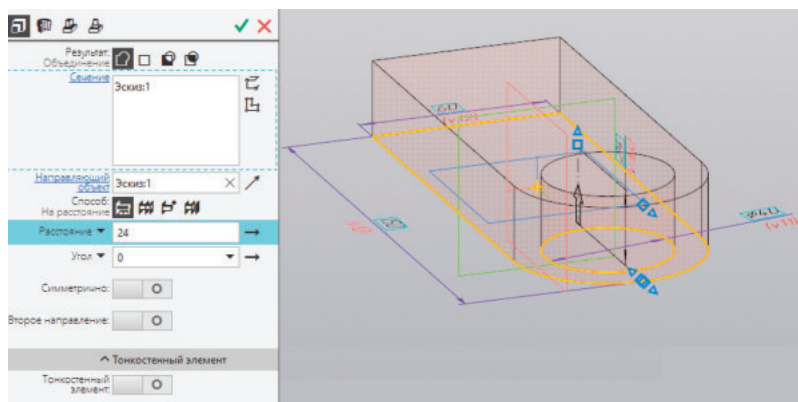


Рисунок 2.1.24 – Выдавливание эскиза

Создать эскиз на боковой поверхности данной модели (рисунки 2.1.25, 2.1.26).

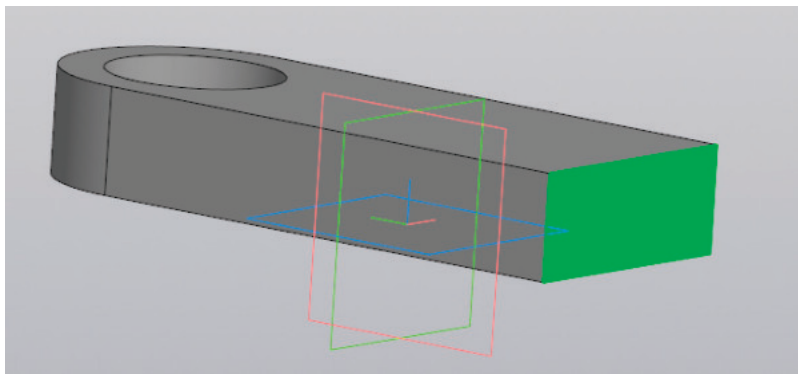


Рисунок 2.1.25 – Боковая поверхность модели

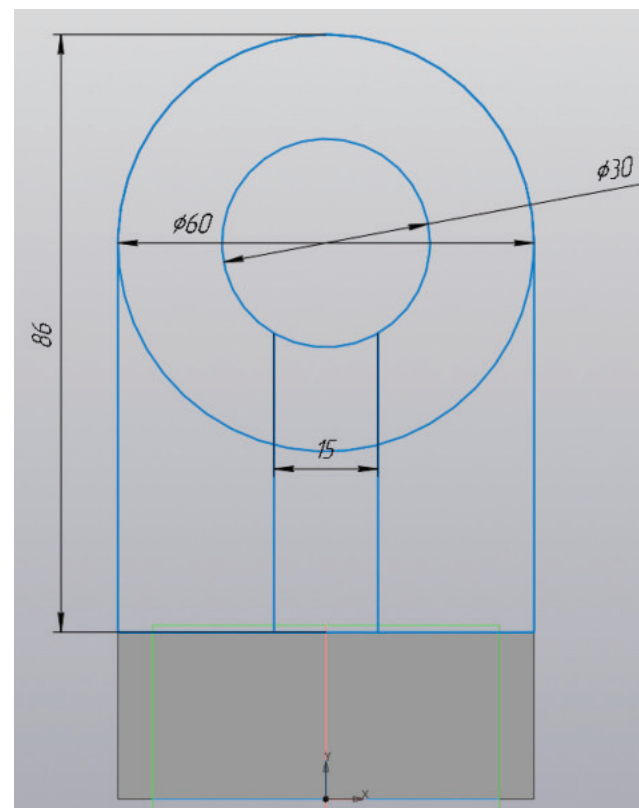


Рисунок 2.1.26 – Эскиз на боковой поверхности

С помощью команды «Элемент выдавливания» выдавить весь эскиз за исключением отверстия по центру на длину 15 (рисунок 2.1.27).

Для создания остальной части необходимо воспользоваться эскизом еще раз.

В команде «Элемент выдавливания» выбрать функцию «Окружность с отверстием с подставкой» и выдавить на длину 86 (рисунок 2.1.28).

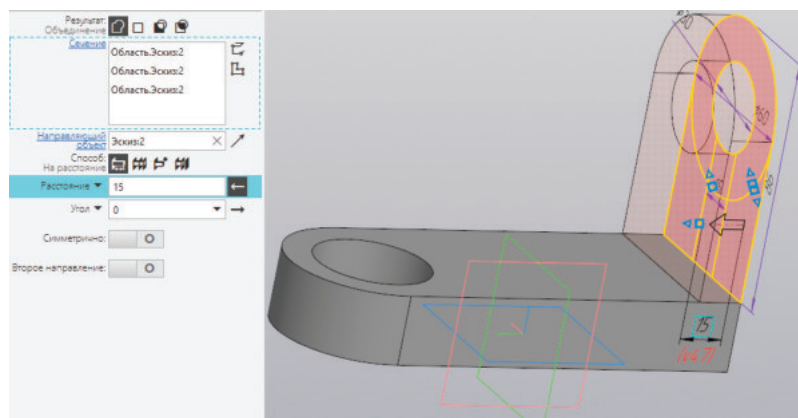


Рисунок 2.1.27 – Выдавливание бокового эскиза

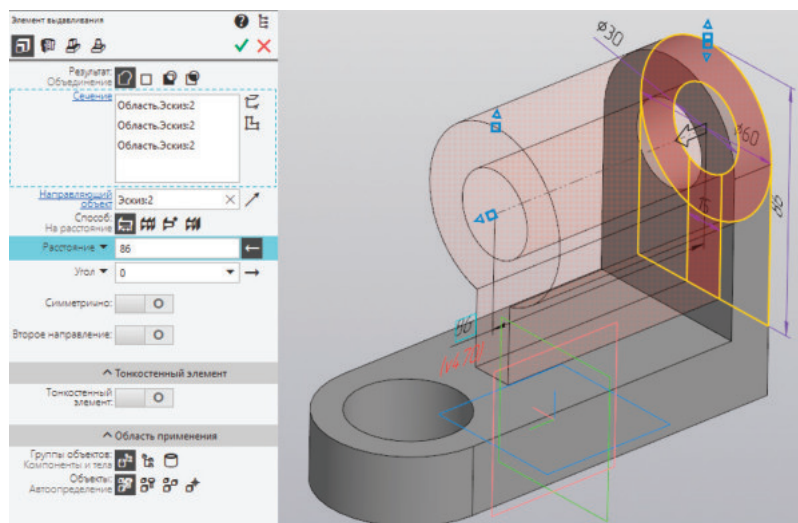


Рисунок 2.1.28 – Выдавливание окружности с подставкой

Для перевода детали в унифицированный формат нажать на кнопку «Сохранить как» (см. рисунок 2.1.20).

В графе «Тип файла» (см. рисунок 2.1.21) выбрать формат STL (*.stl). Это позволит сохранить файл в необходимом формате.

2.2 Оборудование для 3D-печати

2.2.1 Виды 3D-принтеров

3D-принтеры – это устройства, способные создавать трехмерные объекты из различных материалов, таких как пластик, металл или керамика, путем нанесения слоев материала один за другим. Эта технология, также известная как аддитивное производство, отличается от традиционных способов изготовления объектов путем вырезания или отливки материала.

Основные виды принтеров и печати:

1) Fused Deposition Modeling (FDM) – этот тип 3D-принтеров является самым распространенным и доступным. Он работает путем нагрева пластикового филамента и нанесения его слой за слоем для создания объекта. FDM-принтеры могут использовать различные материалы, такие как PLA, ABS, PETG и др.;

2) Stereolithography (SLA) – этот тип 3D-принтеров использует ультрафиолетовый лазер для обеспечения затвердевания жидкой смолы, создавая объекты слой за слоем. SLA-принтеры дают более высокое качество печати и более гладкую поверхность, чем FDM-принтеры, но требуют специальных материалов;

3) Selective Laser Sintering (SLS) – в этом типе 3D-принтеров используется лазер для нагревания и спекания порошкового материала, такого как нейлон или полиамид. SLS-принтеры могут создавать объекты без поддерживающей структуры, что делает их идеальными для создания сложных деталей.

2.2.2 Техника безопасности при работе с принтерами

Технология 3D-печати становится все более популярной и широко применяется в различных областях. Однако, как и при работе с любым другим оборудованием, необходимо соблюдать определенные меры безопасности для предотвращения несчастных случаев и повреждений.

Основные рекомендации при работе с 3D-принтером приведены ниже.

1. Осторожность с нагревающимися элементами. Не прикасайтесь к нагревающимся частям принтера, таким как нагревательный стол или экструдер, когда принтер находится в работе.

2. Проверка кабелей и подключений. Регулярно проверяйте состояние кабелей и электрических соединений, чтобы избежать коротких замыканий и пожаров.

3. Следуйте инструкциям от производителя. Обязательно ознакомьтесь с инструкциями по безопасности, предоставленными производителем принтера, и обучитесь основным правилам использования устройства.

4. Работа в проветриваемом помещении. Убедитесь, что вы работаете в хорошо проветриваемом помещении или используйте воздухоочиститель для удаления паров и запахов, выделяемых при печати.

5. Не оставляйте принтер без присмотра. Никогда не оставляйте работающий 3D-принтер без присмотра, особенно вблизи легковоспламеняющихся материалов.

6. Безопасное хранение расходных материалов. Храните расходные материалы для принтера в закрытом и безопасном месте, вне досягаемости для детей и животных.

7. Реакция на неисправности. В случае любых проблем или неисправностей с принтером немедленно прекратите использование устройства и обратитесь к специалистам по обслуживанию.

8. Открытые раны. Не работайте с 3D-принтером, если у вас есть открытые раны, чтобы избежать инфекций.

9. Осторожность с фотополимерными материалами. При работе с фотополимерными принтерами и материалами будьте осторожны при обработке и подготовке изделия к печати из-за токсичности некоторых материалов.

10. Работа под напряжением. Не работайте под напряжением. Всегда отключайте принтер от сети перед выполнением технического обслуживания.

11. Перемещение шаговых моторов. Шаговые моторы не следует двигать вручную даже при выключенном принтере. Для перемещения экструдера и стола лучше использовать команды с блока управления. Если необходимо перемещать сопло и стол вручную, отключите двигатели от блока управления, иначе это может привести к повреждению драйверов управления моторами.

12. Ожоги от горячих элементов. Отдельные элементы 3D-принтера могут нагреваться до температуры выше 200 °C и вызывать ожоги при соприкосновении с кожей. Помните, что горячее сопло выглядит точно так же, как и холодное.

2.2.3 Устройство принтера формата FDM

Принтеры формата FDM (Fused Deposition Modeling) используют технологию пластикового наплавления для создания трехмерных объектов. Устройства FDM состоят из нескольких основных компонентов: экструдера, подогреваемой платформы и управляющего программного обеспечения (рисунок 2.2.1).

На рабочей поверхности (print-bed) производится построение (выращивание) моделей. В зависимости от схемы движения печатающего блока рабочая поверхность может быть мобильной (подвижной) или статичной (неподвижной). Подогреваемая платформа обеспечивает устойчивую температуру для пластика во время печати, что помогает предотвратить искривление и обеспечить более высокое качество окончательного изделия (рисунок 2.2.2).

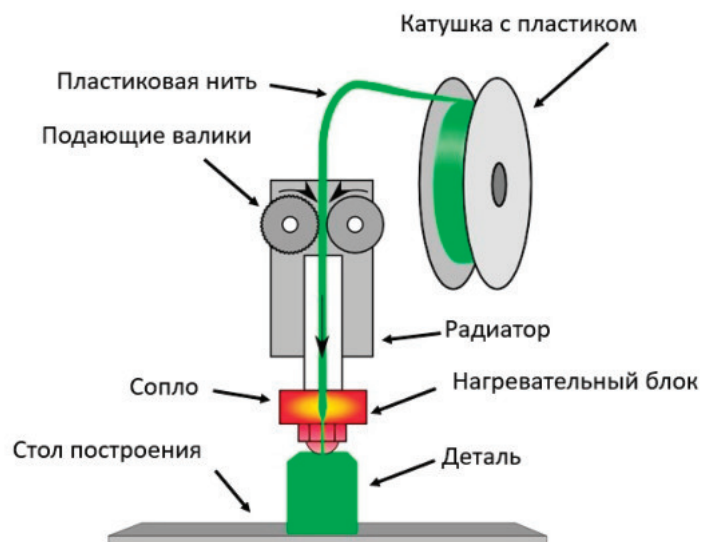


Рисунок 2.2.1 – Конструкция принтера формата FDM

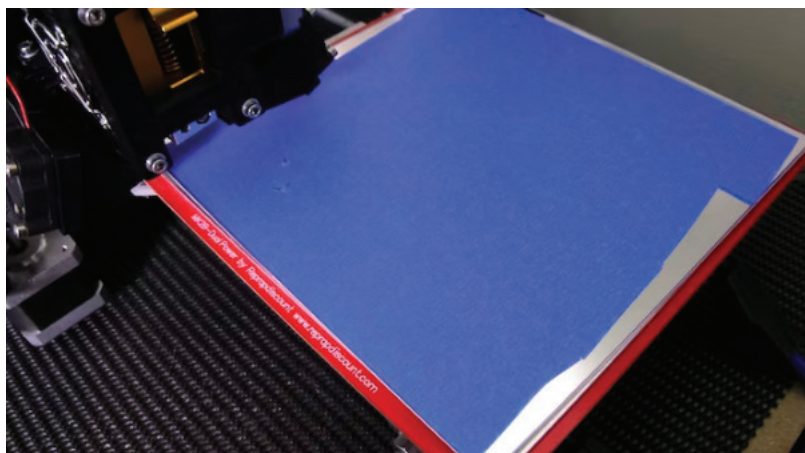


Рисунок 2.2.2 – Рабочая поверхность

Управляющее программное обеспечение (например, Cura или Simplify3D) принимает 3D-модель объекта и разбивает ее на слои, которые затем преобразуются в код управления принтером (G-код). Программное обеспечение также управляет параметрами печати, такими как скорость печати, температура пластика и др.

Принтеры формата FDM идеально подходят для быстрого и относительно доступного производства прототипов, создания макетов, деталей, игрушек и других объектов. Они отличаются простотой в использовании, надежностью и широким выбором материалов для печати.

2.2.4 Установка и настройка принтера формата FDM

FDM-принтер состоит из стола, экструдера, направляющих и приводов к ним (рисунок 2.2.3). Перемещения осуществляют шаговые двигатели. За определение начала координат отвечают концевые выключатели. Действия электроники координирует блок управления.

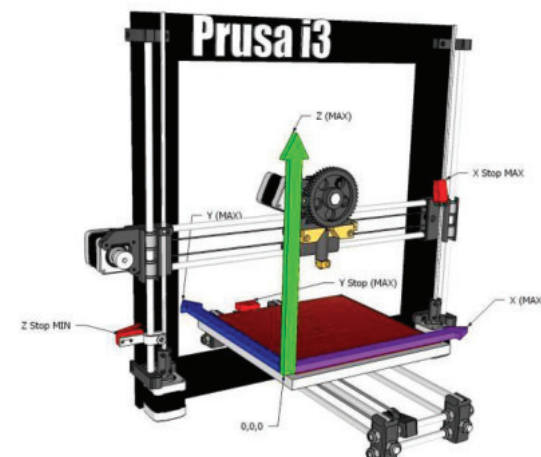


Рисунок 2.2.3 – FDM-принтер

Обычно все производители присылают принтер в формате «уже собран – только откалибруй», поэтому мы будем рассматривать уже собранный и готовый к работе принтер.

Когда все элементы 3D-принтера соединены, наступает важный этап – калибровка стола и экструдера. В данном процессе можно отключить двигатели от блока управления и перемещать стол и экструдер вручную. Порядок действий будет схож для всех декартовых кинематик (рисунок 2.2.3).

Процесс калибровки

1. Подготовка калибровки:

- необходимо установить нулевую высоту сопла, которая определяется концевым выключателем Z-stop, сопло должно соприкоснуться со столом, при этом оставляя запас для регулировки стола вверх и вниз;
- необходимо подстроить концевой выключатель оси Z под намеченный уровень нулевой высоты.

2. Настройка Z-stop:

- используйте систему крепления стола на четырех подпружиненных винтах. Затяните регулировочные винты до половины возможной высоты;
- опустите сопло вручную (с отключенными шаговыми двигателями) до соприкосновения со столом;
- поднимите Z-stop до срабатывания (до щелчка) и зафиксируйте в этом положении;
- притяните стол вниз, чтобы предотвратить его повреждение в случае ошибки.

3. Перемещение сопла:

- дайте принтеру команду переместить сопло в начальную точку. Теперь сопло находится на нулевой высоте, и можно приступать к калибровке стола;
- выравнивание стола – выравнивание плоскости по четырем точкам может вносить кривизну, поэтому лучше выполнять регулировку в два этапа: черновой (с использованием щупов) и чистовой (при печати калибровочной модели).

4. Черновая калибровка:

- с помощью щупов установите зазор между столом и соплом на уровне 0,1 мм (обычно проверяют данное расстояние альбомным листом) над каждым из регулировочных болтов (первым, вторым, третьим и четвертым);
- после четвертого винта проверьте зазоры над первыми тремя болтами и при необходимости поправьте их;
- если удалось получить зазоры менее 0,15 мм (лучше около 0,1 мм), переходите к печати любой калибровочной модели.

5. Чистовая настройка:

- чистовая настройка проводится во время печати калибровочной модели, это позволяет дополнительно корректировать выпуклость или вогнутость покрытия стола;
- если что-то пойдет не так во время первого запуска, необходимо выключить питание принтера, это сохранит ваш принтер.

2.2.5 Вывод модели на печать – основные ошибки при настройке печати

В качестве программы для слайсинга будем использовать Ultimaker Cura (программное обеспечение используется в открытом доступе) (рисунок 2.2.4).

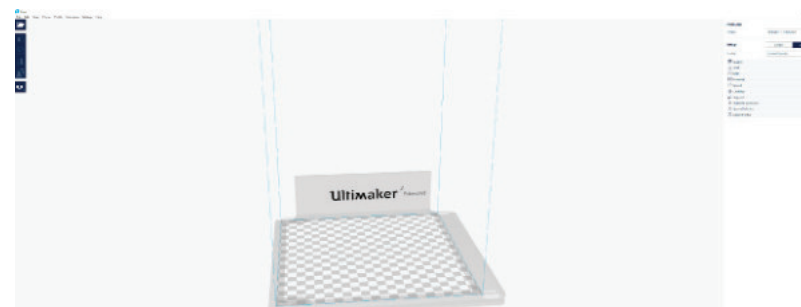


Рисунок 2.2.4 – Меню Ultimaker Cura

Главное меню

1. Файл:

Импорт. Загрузка 3D-модели. Поддерживаются форматы STL, OBJ, 3MF и др.

Экспорт. Сохранение настроек или экспортирование G-code для печати.

2 Принтер:

Добавить принтер. Выбор и настройка имеющегося 3D-принтера.

Настройки принтера. Изменение параметров (размеры платформы, тип экструдеров).

3. Модель:

Поворот. Изменение ориентации модели по осям X, Y и Z.

Масштабирование. Изменение размера модели.

Смещение. Перемещение модели по рабочей плоскости.

4. Настройки печати:

Профили намерений (Intent Profiles). Выбор предустановленных профилей для различных типов печати (например, для качества поверхности или скорости).

Расширенные настройки. Доступ к множеству параметров, таких как скорость печати, температура экструдера и стола, высота слоя и др.

5. Срезание (Slicing):

Срезать модель. Преобразование 3D-модели в G-code для печати.

Предварительный просмотр. Визуализация слоев перед печатью, чтобы проверить настройки.

6. Помощь:

Доступ к руководствам и справочным материалам по использованию программы.

Дополнительные функции

Настройка материалов. Возможность выбора и настройки профилей материалов для оптимизации печати.

Поддержки и адгезия. Настройки для добавления поддержек нависающих частей модели и улучшения сцепления с платформой.

Плагины. Поддержка установки дополнительных плагинов для расширения функциональности слайсера 3D-моделей Cura.

При первом запуске программа предложит выбрать принтер, а далее по списку функций можно узнать, как добавлять и настраивать принтер.

Для того чтобы добавить новый принтер в слайсер Ultimaker Cura, необходимо выполнить следующие действия.

1. Запуск слайсера Ultimaker Cura. Откройте программу на вашем компьютере.

2. Меню принтеров.

Выберите функцию меню «Settings» («Настройки») в верхнем меню.

Выберите функцию меню «Printer» («Принтер») и нажмите на функцию «Add Printer» («Добавить принтер»).

3. Выбор типа принтера.

В открывшемся окне выбрать принтер из списка доступных принтеров. Если интересующий вас принтер есть в списке, то выберите его.

Если интересующий вас принтер не указан, то выберите функцию меню «Other» («Другой») или «Custom» («Кастомный»), чтобы добавить этот принтер вручную.

4. Ввод параметров принтера.

На экране в окне «Add Printer» («Добавить принтер») ввести параметры интересующего вас устройства, такие как размеры рабочей области, тип экструдеров и другие характеристики. Эти данные можно найти на сайте производителя данного принтера или в документации.

После ввода всех необходимых данных выберите функцию меню «Finish» («Завершить»).

5. Настройка профиля печати.

После добавления принтера можно настроить профиль печати, включая параметры материала, высоту слоя и другие настройки.

Основные проблемы при работе с принтером формата FDM

Забивание сопла

Проблема забивания сопла является распространенной у пользователей 3D-принтеров и может вызывать ряд других проблем, таких как недоэкструзия, прощелкивание фидера и пропуски слоев (рисунок 2.2.5).

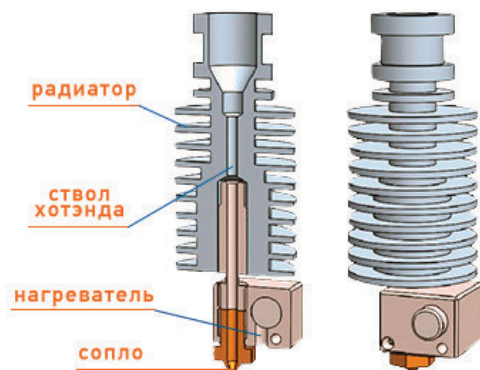


Рисунок 2.2.5 – Забивание сопла

Виды засоров и методы их устранения

1. Объемная пробка.

Причина. Нагревательный блок не справляется с производительностью, пластик расплавляется на выходе, застывая там.

Решение. Прогрейте вход в сопло выше рабочей температуры, чтобы размягчить пробку, и выдерните ее. Если это не решит проблему, снимите экструдер и очистите выход.

2. Пробка между соплом и горлом.

Причина. Некорректная сборка нагревательного блока, где между горлом и соплом есть ненужный зазор.

Решение. Пересоберите хот-энд, устранив зазор.

3. Посторонние тела в сопле.

Причина. Пыль, шерсть домашних животных или инородные включения в филаменте.

Решение. Снимите сопло и очистите его.

Процесс очистки сопла

1. Разборка на горячую

Зафиксируйте термоблок гаечным ключом и открутите сопло.

Выключите нагрев и вытолкните пробку, откусив ее и извлекая филамент из экструдера.

2. Очистка сопла

Сопло можно прокалить в пламени газовой горелки (чище) или стеариновой свечи (грязнее), а затем почистить спиртом, ватой, тонкой проволокой или зубочисткой.

3. Сборка нагревательного блока

Собирать нагревательный блок можно холодным, но окончательно протянуть сопло нужно горячим.

Если вы снимали блок с горла, сначала вкрутите горло, а затем прижимайте к горячему горлу сопло для избежания пробки.

Проблема при печати

Основные проблемы при печати появляются при неправильной настройке или калибровке принтера. Есть универсальная таблица проблем и возможных решений, но важно понимать, что проблема может быть индивидуальной.



Рисунок 2.2.6 – Отсутствие адгезии (прилипания) 1-го слоя модели

Отсутствие адгезии (прилипания) 1-го слоя модели (рисунок 2.2.6). Возможные причины:

- 1) неоткалиброванная рабочая поверхность;
- 2) большое расстояние между рабочей поверхностью и соплом;
- 3 слишком высокая скорость печати в начале;
- 4) слишком быстрое отверждение пластика;
- 5) отсутствие адгезионного покрытия (особенность модели принтера).

Появление пустот при печати. Данный эффект заметен во время печати (между слоями будет видна полость) принтер выдает меньше филамента (рисунок 2.2.7).

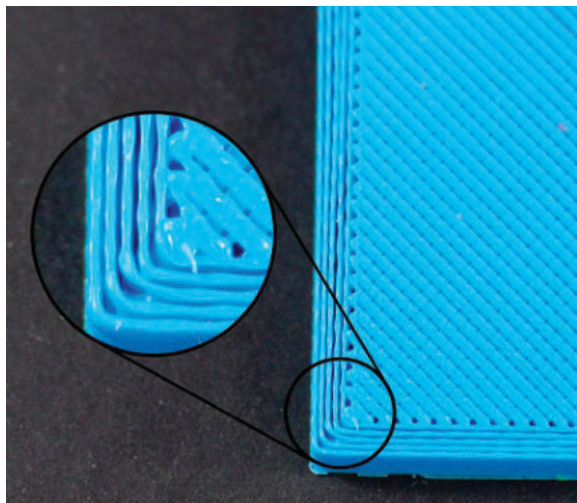


Рисунок 2.2.7 – Пустоты в модели

Возможные причины:

- скорость подачи пластика не соответствует скорости движения печатающей головки;
- неправильный диаметр пластиковой нити;
- прокрутка колеса подачи пластика;

- не соблюдено минимальное число слоев в горизонтальных стенках;
- заполнение слишком мало.

Высокие температуры (рисунки 2.2.8 и 2.2.9). Данная проблема решается использованием температуры, уникальной для каждого филамента.

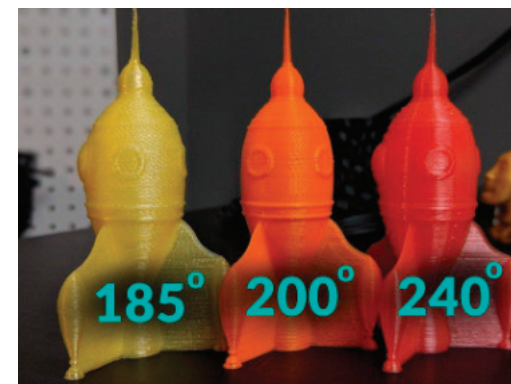


Рисунок 2.2.8 – Использование уникальной температуры



Рисунок 2.2.9 – Высокие температуры

Смещение слоев. При печати на высокой скорости или при наличии проблем в механических частях 3D-принтера могут возникать сдвиги деталей (рисунок 2.2.10). Это происходит из-за того, что механизмы принтера рассчитаны на определенные параметры ускорения. Если принтер работает быстрее, чем его конструкция позволяет, это может привести к неправильному размещению слоев и сдвигу деталей.

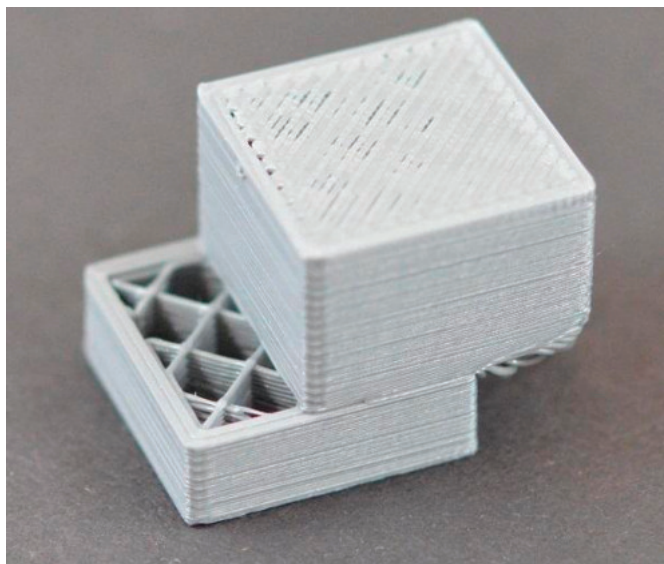


Рисунок 2.2.10 – Смещение слоев

Проскальзывание или неподача филамента на модель (рисунок 2.2.11). Возможные причины:

- износ самой шестеренки в экструдере;
- некачественный филамент;
- низкая температура печати;
- засорение сопла;
- повреждение нити филамента.

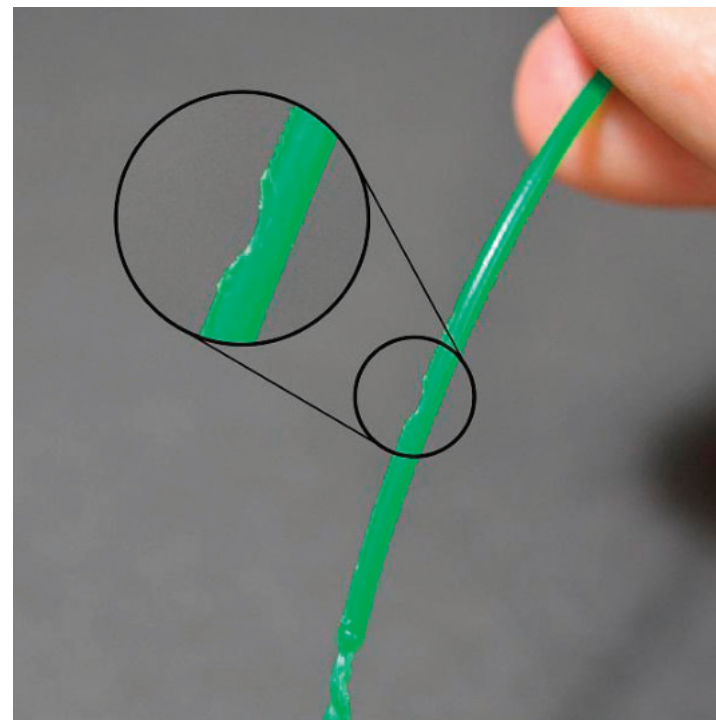


Рисунок 2.2.11 – Проскальзывание или неподача филамента на модель

2.2.6 Устройство принтера формата SLA

Стереолитография (SLA) – это процесс аддитивного производства, в котором посредством полимеризации смолы достигается результат (рисунок 2.2.12). В SLA-печати объект создается путем селективного отверждения полимерной смолы, слой за слоем, с использованием ультрафиолетового (УФ) лазерного луча. Материалы, используемые в SLA-печати, представляют собой светочувствительные термореактивные полимеры, которые выпускаются в жидкой форме.

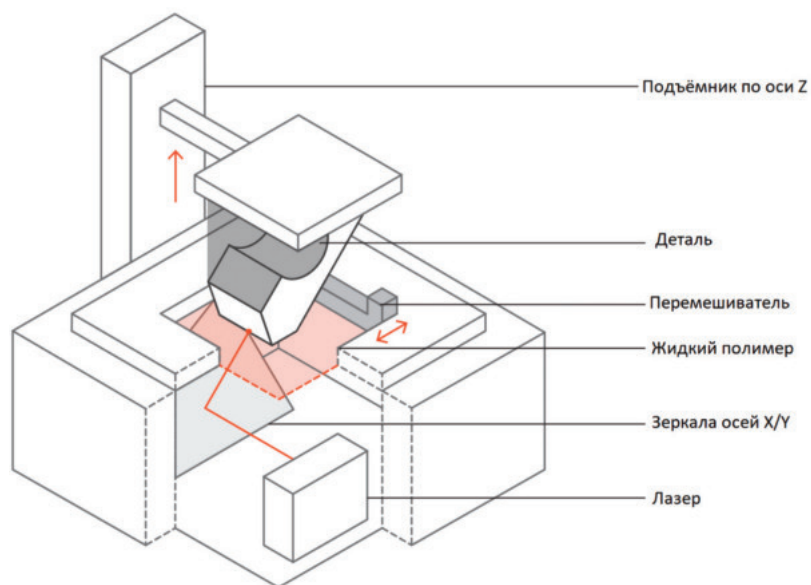


Рисунок 2.2.12 – Устройство принтера формата SLA

В системах SLA большинство параметров печати устанавливаются производителем и не могут быть изменены. Единственными входными данными являются высота слоя и ориентация детали (последнее определяет местоположение поддержек).

Высота типичного слоя в SLA-печати находится в диапазоне от 25 до 100 микрон. Чем меньше высота слоя, тем более точно будет отпечатана сложная геометрия модели, но вместе с этим увеличится время печати и вероятность неудачи. Высота слоя в 100 микрон подходит для большинства распространенных геометрий и является оптимальной.

Еще один важный параметр для оператора – размер платформы, который зависит от типа принтера SLA. Существует два основных типа: ориентация сверху вниз и ориентация

снизу вверх. В первом случае лазер стоит над баком, а деталь лицевой стороной вверх. Платформа стоит в самом верху бака со смолой и движется вниз после спекания каждого слоя.

Использование принтеров SLA формата позволяет производить сложные геометрические фигуры, однако, как и у любого другого способа, у SLA есть как преимущества, так и недостатки.

Преимущества:

SLA 3D-принтеры могут производить детали с очень высокой точностью размеров и со сложной геометрией;

- детали будут иметь очень гладкую поверхность, что делает их идеальными, например для визуальных прототипов;
- доступны специальные материалы, такие как прозрачные, эластичные и литые смолы.

Недостатки:

- детали, напечатанные по технологии SLA, как правило, хрупкие и не подходят для функциональных прототипов;
- механические свойства и внешний вид этих деталей со временем ухудшаются, на них пагубно влияет воздействие солнечного света;
- поддержки и пост-обработка при печати требуются всегда.

2.2.7 Установка и настройка принтера формата SLA

Установка принтера формата SLA не отличается от установки принтера формата FDM за исключением отсутствия калибровки самого принтера. Как правило, принтер поставляется полностью готовым к печати. Однако при эксплуатации этих принтеров следует проявлять большую осторожность из-за токсичности материалов.

Основные правила безопасности при эксплуатации принтеров формата SLA и FDM

1. Работа в хорошо проветриваемом помещении. При печати с использованием смол могут выделяться вредные

пары. Обеспечьте хорошую вентиляцию или используйте вытяжные системы для удаления потенциально токсичных веществ.

2. Использование средств индивидуальной защиты (СИЗ):

- обязательно носите перчатки и защитные очки при работе со смолами, чтобы избежать контакта с кожей и глазами;
- рекомендуется использовать маску, если вы работаете в замкнутом пространстве.

3. Обращение со смолами:

- избегайте контакта смолы с кожей, в случае контакта немедленно промойте пораженные участки водой с мылом;
- храните смолы в недоступном для детей месте и следите за их сроком годности.

4. Правильное использование принтера:

- перед началом печати внимательно ознакомьтесь с инструкциями производителя и соблюдайте все рекомендации по эксплуатации;
- не оставляйте работающий принтер без присмотра, особенно если он находится вблизи легковоспламеняющихся материалов.

5. Электробезопасность:

- убедитесь, что принтер подключен к исправной электросети с защитой от перегрузок и короткого замыкания;
- используйте только оригинальные кабели питания и не повреждайте их.

Обслуживание и уход

Регулярная проверка оборудования:

- периодически проверяйте состояние принтера на наличие механических повреждений или износа деталей;
- очищайте принтер от остатков смолы после каждой печати, используя специальные чистящие средства;
- следуйте рекомендациям производителя по техническому обслуживанию и замене расходных материалов;

- утилизируйте остатки смолы и использованные материалы в соответствии с местными нормами утилизации опасных отходов.

Практико-ориентированное задание 2.2.

Вывод модели на печать с использованием программного обеспечения CURA

Задание 2.2.1. Построение в программе твердотельного моделирования (рисунок 2.2.13).

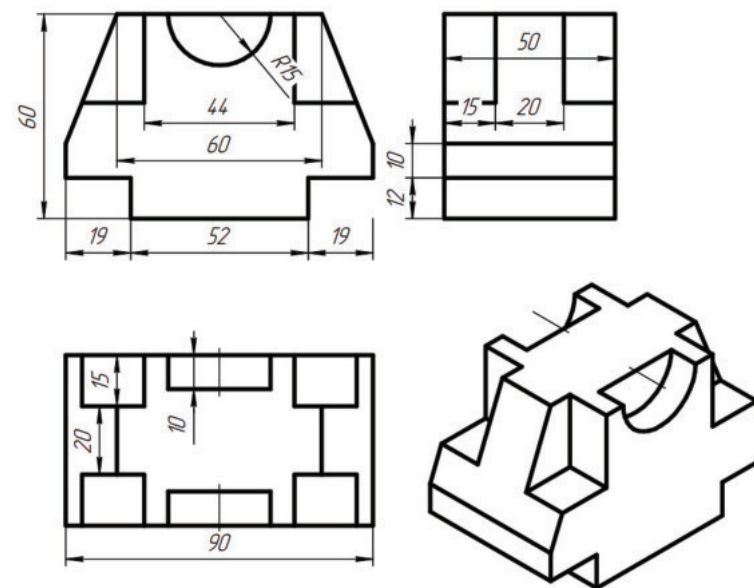


Рисунок 2.2.13 – Чертеж детали

Алгоритм построения модели

1. Создать эскиз на боковой поверхности с помощью команды «Эскиз» (рисунок 2.2.14).



Рисунок 2.2.14 – Выбор команды «Эскиз»

2. С помощью инструмента «Отрезок» создать боковую проекцию фигуры на поверхности эскиза (рисунки 2.2.15, 2.2.16).

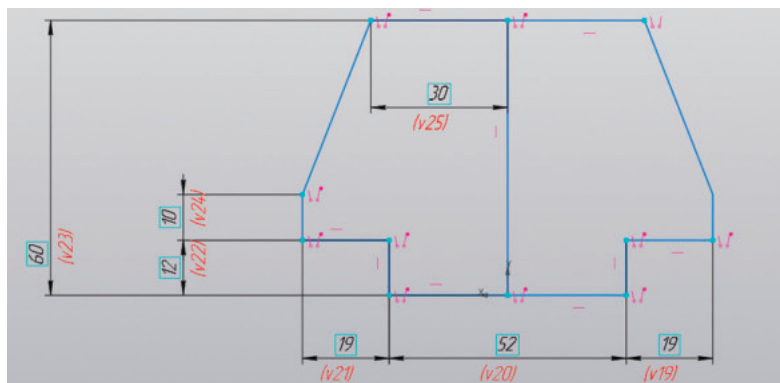


Рисунок 2.2.15 – Чертеж для построения

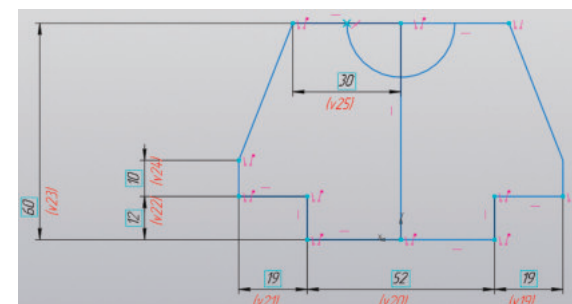


Рисунок 2.2.16 – Чертеж для построения

3. Выдавить на половину от общей толщины полученный эскиз. Функцией «Зеркало» можно воспользоваться в конце процесса (рисунки 2.2.17–2.2.19).

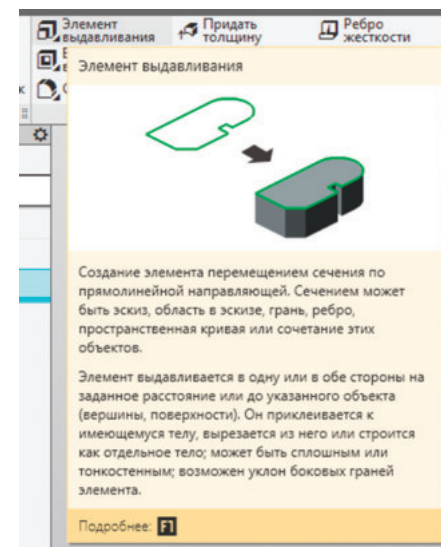
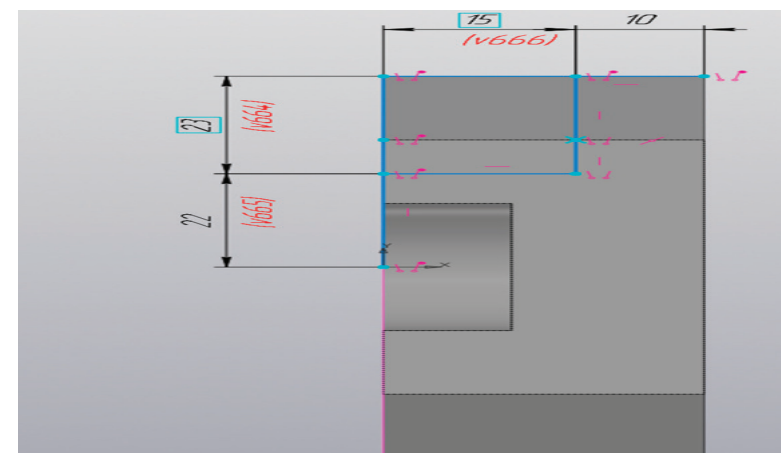
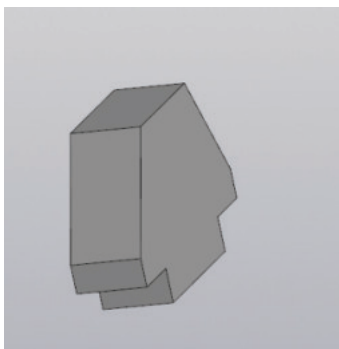
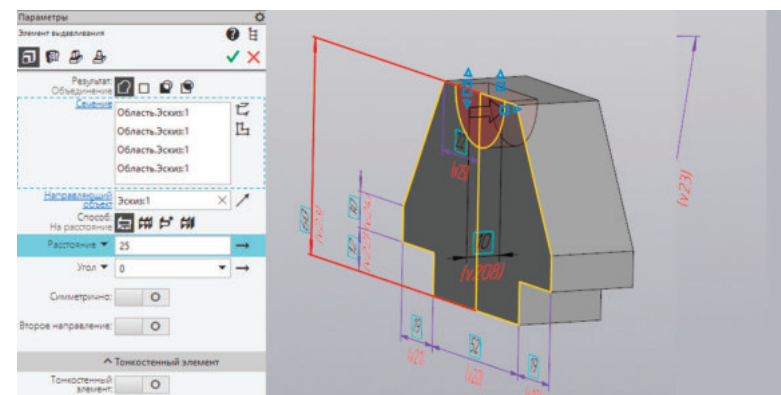
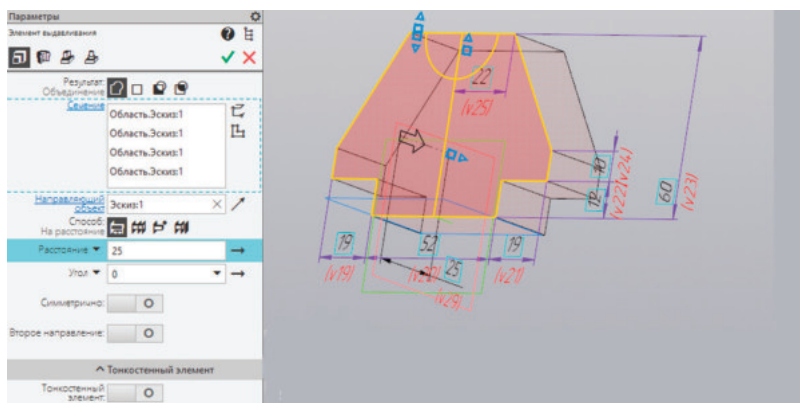


Рисунок 2.2.17 – Расположение команды «Элемент выдавливания»



6. Используя функцию «Зеркальное отражение», необходимо выбрать все построенные ранее объекты (рисунки 2.2.22–2.2.24).

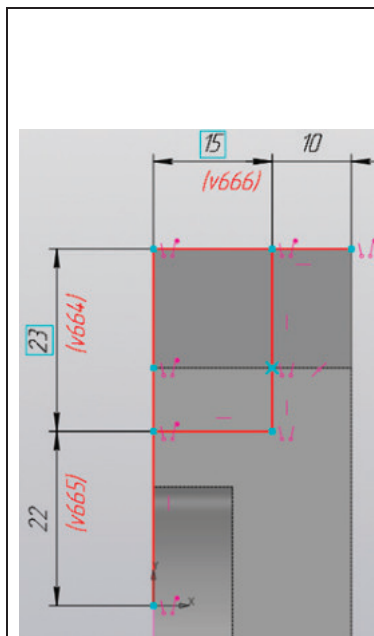


Рисунок 2.2.22 –
Выбор объектов
для «отражения»

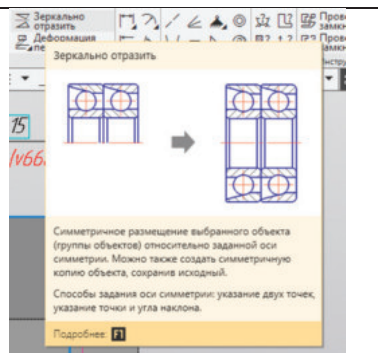


Рисунок 2.2.23 –
Расположение
команды

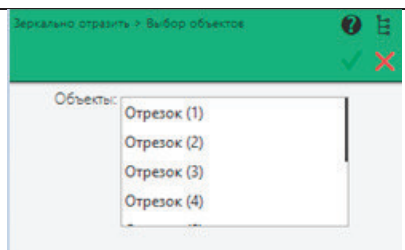


Рисунок 2.2.24 –
Параметры выбора

Создать осевую (зеркальную) линию (рисунок 2.2.25).

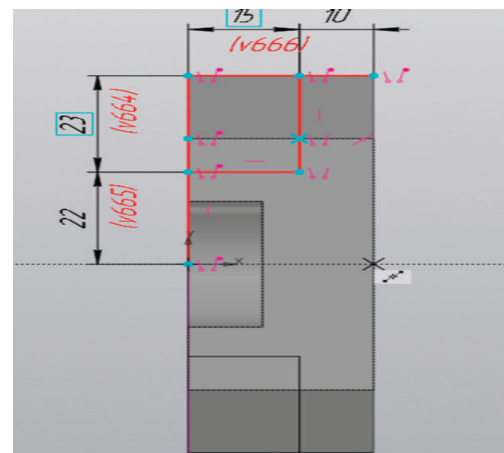


Рисунок 2.2.25 – Создание осевой линии
для «зеркального отражения»

7. Полученный эскиз выдать на расстояние 26 внутри детали (рисунок 2.2.26).

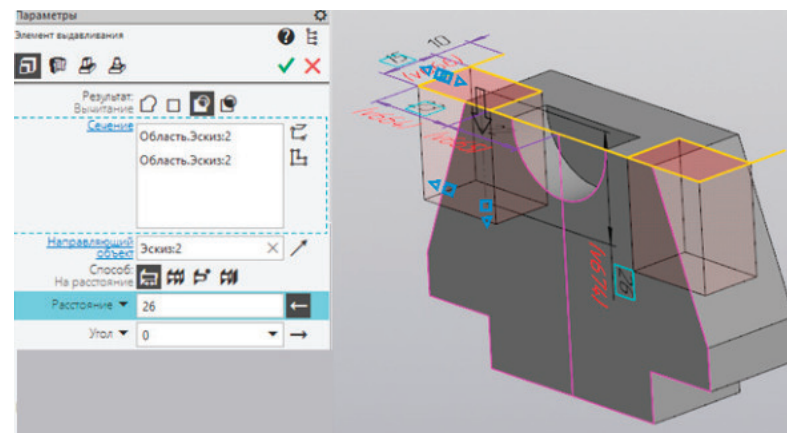


Рисунок 2.2.26 – Параметры команды
«Элемент выдавливания»

8. Выполнить зеркальное отражение фигуры. В качестве объектов для «зеркала» выбрать всю деталь (рисунок 2.2.27). В качестве второй (зеркальной) поверхности выбрать заднюю стенку детали (рисунок 2.2.28).

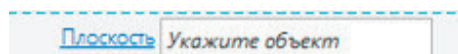
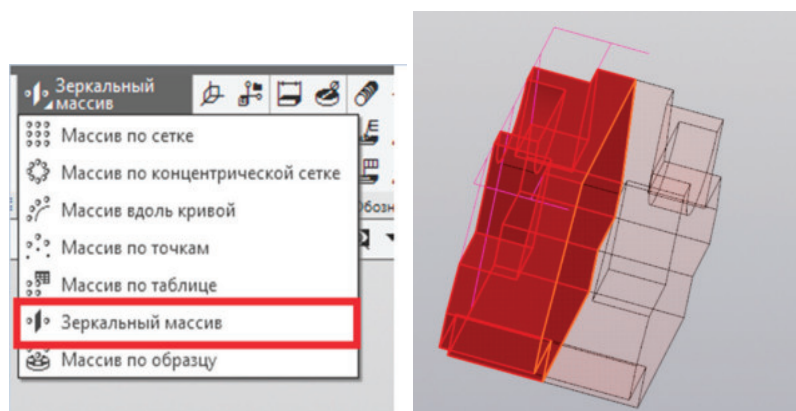


Рисунок 2.2.27 – Функция «Плоскость»



а

б

Рисунок 2.2.28 – Зеркальное отражение фигуры:

а – расположение команды «Зеркальный массив»;

б – результат построения

Задание 2.2.2. Построение в программе мягкотелого (полигонального) моделирования (рисунок 2.2.29)

Алгоритм построения модели

1. После того как модель будет создана, ее необходимо перевести в универсальный формат STL. Для Компас-3D и Blender используется функция «Сохранить как» (рисунок 2.2.30) либо «Файл – Экспортировать» (рисунок 2.2.31).

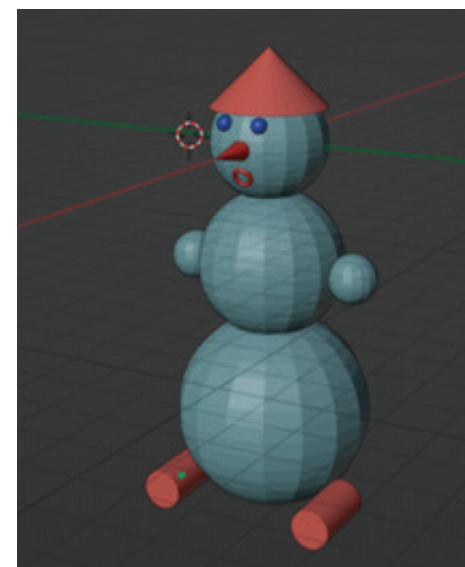


Рисунок 2.2.29 – Деталь для построения в программе мягкотелого моделирования

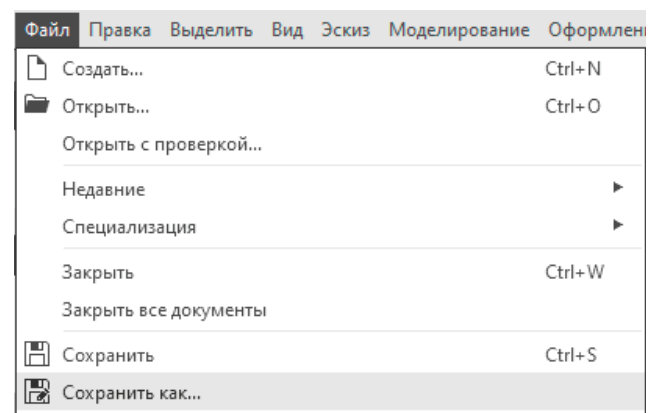


Рисунок 2.2.30 – Выполнение в Компас-3D

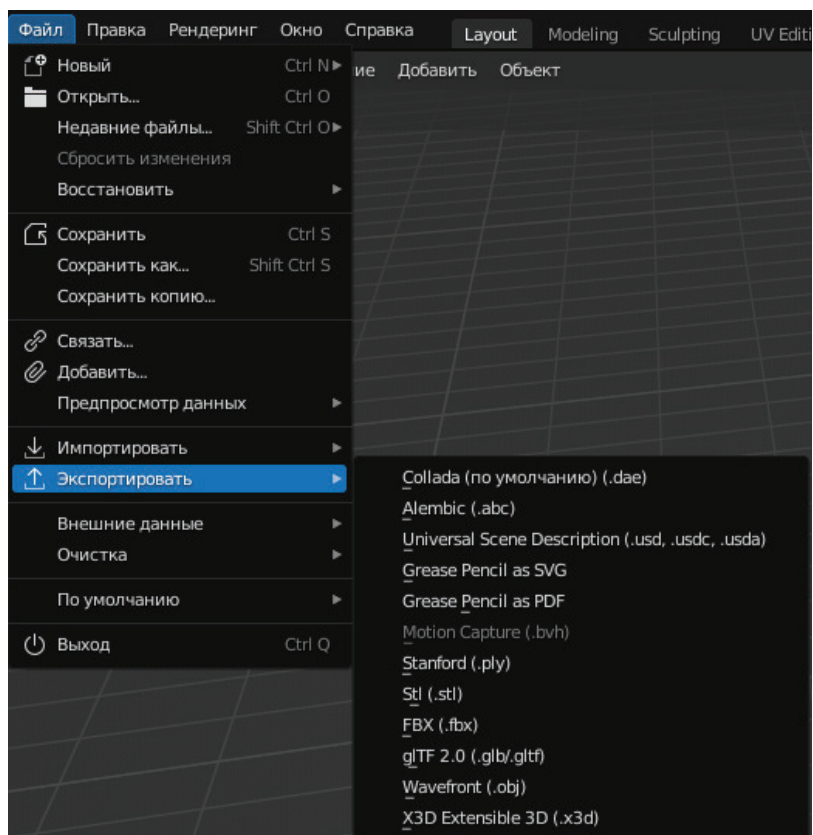


Рисунок 2.2.31 – Выполнение в Blender

2. Открыть слайсер Ultimaker Cura для установки всех зависимостей, настройки печати и импортирования модели (рисунок 2.2.32)

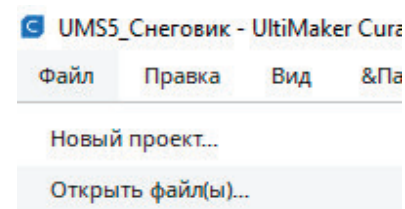


Рисунок 2.2.32 – Импортирование файла

3. Выполнить настройку модели для вывода на печать (рисунок 2.2.33).

В зависимости от выбранного принтера значения масштаба и размеры рабочего поля могут быть разными.

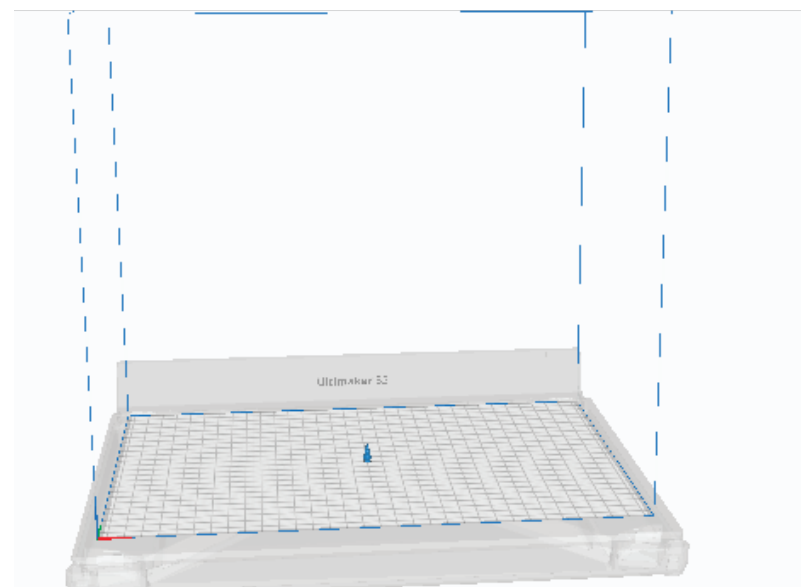


Рисунок 2.2.33 – Модель до настройки

Для настройки необходимо произвести перемещение и масштабирование модели (если требуется). Если модель должна быть выполнена определенных размеров, то масштабировать ее нельзя. Для данных действий существуют специальные функции масштабирования: перемещение, зеркало, клонирование (рисунок 2.2.34).

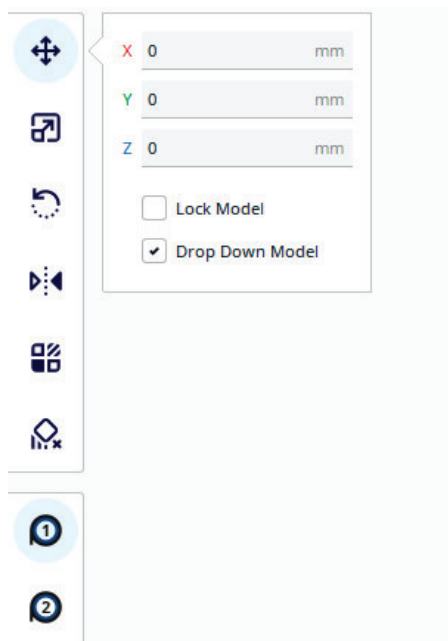


Рисунок 2.2.34 – Расположение специальных функций

Масштабирование детали. Выбрать деталь и произвести настройку масштаба:

- на левой панели инструментов выбрать инструмент «Scale» («Масштаб»). На изображении вокруг модели появятся стрелочки и кружочки, которые позволят изменять размер модели (рисунок 2.2.35);

- чтобы увеличить или уменьшить размер, необходимо перетащить одну из стрелочек либо ввести точные значения масштабирования в соответствующие поля (например, указать процент увеличения) на панели настроек.

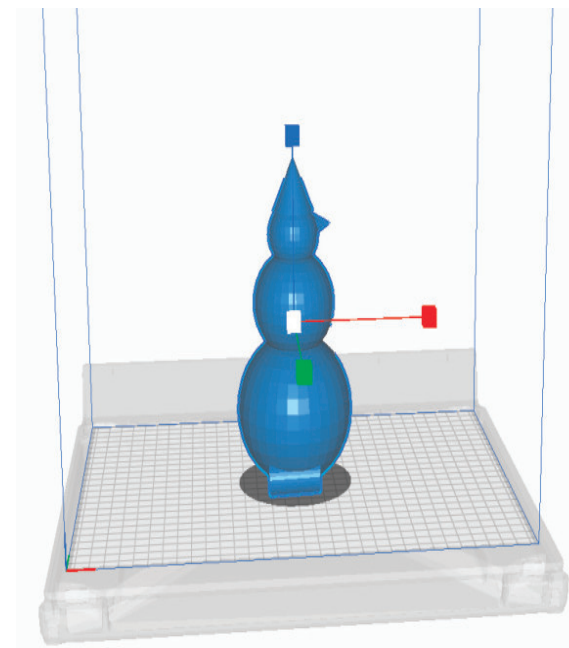


Рисунок 2.2.35 – Модель после масштабирования

Для создания нескольких копий модели выделить модель и выбрать опцию «Duplicate» («Дублировать»), используя правый клик мыши.

Используйте режим просмотра слоев для анализа того, как будет выглядеть печать после нарезки.

Поворот модели (рисунок 2.2.36):

- на левой панели выбрать инструмент «Rotate» («Поворот»). На изображении появятся кольца вокруг модели, которые позволяют вращать модель;

- чтобы повернуть модель, необходимо просто перетащить кольцо. Для более точного поворота необходимо удерживать клавишу «Shift» во время вращения, что позволит изменять угол поворота на фиксированные значения (например, 15 или 45°).

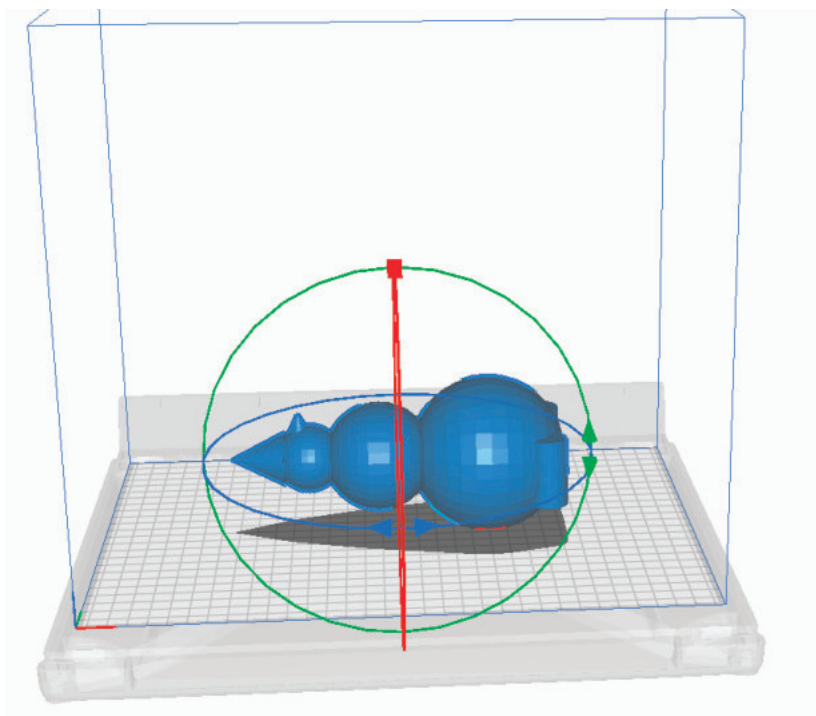


Рисунок 2.2.36 – Перемещение фигуры

Перемещение модели. Выбрать инструмент «Move» («Перемещение»). На изображении появятся стрелочки, которые позволят перемещать модель по рабочему столу в нужном направлении. Кликом мыши перетащить стрелочку в нужную сторону.

Для выравнивания нижней плоскости модели относительно рабочего стола используют опцию «Drop down model» («Уронить модель на поверхность») (рисунок 2.2.37).

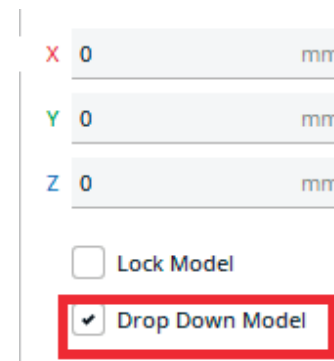


Рисунок 2.2.37 – Опция «Drop down model»

Настройка параметров печати в Ultimaker Cura является важным этапом подготовки модели к 3D-печати.

Основные настройки (все настройки можно найти в контекстном меню). Выбор профиля печати: после загрузки модели в Cura необходимо выбрать подходящий профиль печати. Cura предлагает несколько режимов отображения: Basic (основной), Advanced (продвинутый) и Expert (эксперт). Выбирайте тот, который соответствует уровню опыта и требованиям к печати.

Основные параметры:

а) толщина слоя. Установите толщину слоя, которая влияет на качество печати. Рекомендуется использовать значение, не превышающее половину диаметра сопла (например, для сопла 0,4 мм толщина слоя должна быть около 0,2 мм);

б) толщина стенок. Установите толщину стенок, которая должна быть кратна диаметру сопла, чтобы обеспечить прочность и качество (рисунок 2.2.38).

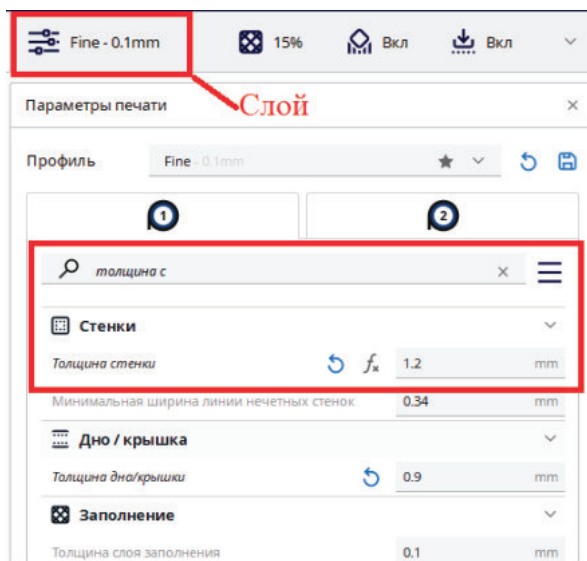


Рисунок 2.2.38 – Настройка толщины стенок

Заполнение. Необходимо указать процент заполнения модели. Это влияет на прочность детали и время печати. Чаще всего используется значение от 10 до 20 % для обычных деталей.

Установка скорости печати. Обычно скорость печати составляет от 40 до 80 мм/с в зависимости от материала и сложности модели.

Установка температуры экструзии и стола. Температура сопла и стола устанавливается в зависимости от используемого материала (например, для PLA температура сопла может быть около 200 °C, а стола – 60 °C).

Поддержка и прилипание к столу. Если модель имеет нависающие части, необходимо включить опцию поддержки (рисунок 2.2.39), а чтобы улучшить адгезию модели к платформе, необходимо выбрать тип прилипания к столу (например, кайма или рафт).



Рисунок 2.2.39 – Поддержки

Дополнительные настройки. В разделе Advanced (продвинутый) можно настроить параметры отката (ретракта), охлаждения и другие специфические настройки для вашего принтера и материала.

При нажатии кнопки «Slice» («Нарезать») происходит сохранение всех изменений и настроек и генерация G-code. Далее можно сохранить файл на SD-карту или отправить его на принтер (рисунок 2.2.40).



Рисунок 2.2.40 – Печать

Кейс 2.1

Вы являетесь ведущим инженером-конструктором в компании, занимающейся разработкой и производством медицинских приборов. Ваша команда получила заказ от крупного медицинского учреждения на создание инновационного устройства для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. Устройство должно включать сложный механизм, состоящий из нескольких движущихся частей, и обладать высокой точностью измерений.

Требования к проекту

1. Разработать 3D-модель устройства, учитывая все механические элементы и их взаимодействие.
2. Обеспечить высокую точность модели, чтобы минимизировать ошибки при производстве.
3. Создать текстуру и материалы, соответствующие реальному устройству, для демонстрации заказчику.
4. Подготовить модель к производству, учитывая возможности 3D-печати и традиционные методы изготовления.

Вопросы

1. Какие этапы 3D-моделирования будут ключевыми для успешного выполнения проекта?
2. Какие программы и инструменты вы будете использовать на каждом этапе?
3. Какие сложности могут возникнуть на разных этапах и как их можно преодолеть?

Критерии оценивания кейсовой задачи

1. Качество 3D-модели (30 баллов):
 - соответствие модели техническим требованиям и спецификациям;
 - детализированность и точность модели;
 - правильность взаимодействия всех механических элементов.
2. Текстурирование и материалы (20 баллов):
 - реалистичность текстур и материалов;

- соответствие выбранных текстур и материалов реальному устройству;
- качество визуализации модели.

3. Освещение и рендеринг (10 баллов):

- эффективность выбранной схемы освещения;
- фотореалистичность конечного изображения;
- четкость и выразительность деталей.

4. Тестирование и оптимизация (25 баллов):

- проведенные расчеты и анализы (например, напряженно-деформированное состояние, тепловые расчеты);
- оптимизация конструкции на основании проведенных тестов;
- устранение выявленных слабых мест и проблем.

5. Готовность к производству (15 баллов):

- корректность подготовки модели к 3D-печати или традиционным методам изготовления;
- учтены ли все технологические ограничения и требования;
- возможность непосредственного запуска модели в производство.

Итоговая оценка

Суммарная оценка за выполнение кейсовой задачи будет складываться из оценок по каждому критерию. Максимальное количество баллов – 100.

Контрольные вопросы

- 2.1. Что такое 3D-моделирование и в каких областях оно применяется?
- 2.2. Какие основные этапы включает процесс 3D-моделирования?
- 2.3. Что такое твердотельное моделирование и чем оно отличается от других типов 3D-моделирования?
- 2.4. Как твердотельное моделирование используется в промышленном проектировании?

2.5. Какие основные технологии 3D-печати существуют и в чем их различия?

2.6. Как выбрать подходящий 3D-принтер для конкретной задачи?

2.7. Как правильно подготовить модель для печати на 3D-принтере?

2.8. Как обеспечить стабильную работу 3D-принтера и избежать распространенных проблем?

Глава 3. Субтрактивные технологии

Авторы: Морозова И.Г., канд. техн. наук, доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования Университета МИСИС; Карфидов А.О., заведующий кафедрой инжиниринга технологического оборудования Университета МИСИС; Герасимова А.А., канд. техн. наук, доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования Университета МИСИС; Харитонов Н.Д., магистр направления Технологические машины и оборудование, Университет МИСИС

3.1 Лазерная резка

3.1.1 Устройство и принцип работы лазерного станка

В последние десятилетия лазерные технологии произвели значительные изменения в производстве и обработке материалов, открывая новые горизонты для повышения качества и эффективности процессов. Лазерные станки, являющиеся основными инструментами в этой сфере, находят широкое применение в различных отраслях, таких как машиностроение, производство мебели, текстильная промышленность и многие другие. Их способность быстро и точно обрабатывать разнообразные материалы – металл, дерево, пластик и стекло – делает их незаменимыми для решения современных производственных и художественных задач.

Лазерные станки обычно оснащены числовым программным управлением, которое автоматизирует контроль движения лазерного резака. Раскрой осуществляется с высокой точностью в соответствии с заданными координатами, а автоматизация значительно увеличивает производительность оборудования. ЧПУ позволяет многократно повторять операции без отклонений от заданного контура. Основные компоненты лазерного станка включают следующие.

1. Лазерный источник – это ключевой элемент, генерирующий лазерное излучение. Чаще всего используются CO_2 -лазеры для работы с неметаллическими материалами и волоконные лазеры для резки металлов. Лазерный луч создается в активной среде (газе, жидкости или твердом теле) и усиливается путем стимулированного излучения. Активная среда (вещество, в котором создается инверсная заселенность) может быть твердой (кристаллы рубина или алюмоиттриевого граната, стекло с примесью неодима в виде стержней различного размера и формы), жидкой (растворы анилиновых красителей или растворы солей неодима в кюветах) и газообразной (смесь гелия с неоном, аргон, углекислый газ, водяной пар низкого давления в стеклянных трубках). Полупроводниковые материалы и холодная плазма, продукты химической реакции тоже дают лазерное излучение. В зависимости от типа активной среды лазеры называются рубиновыми, углекислотными, гелий-неоновыми, на красителях и т.д.

Принципиальная схема лазера представлена на рисунке 3.1.1.

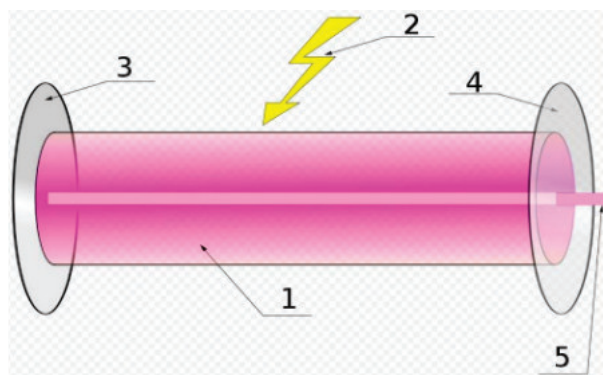


Рисунок 3.1.1 – Принципиальная схема лазера:
1 – рабочая среда; 2 – энергия накачки лазера;
3 – непрозрачное зеркало; 4 – полупрозрачное зеркало; 5 – лазерный луч

2. Оптическая система. Компоненты данной системы, такие как зеркала и линзы, представляющие собой резонатор, фокусируют и направляют лазерный луч на обрабатываемую поверхность. Оптические элементы играют важную роль в получении необходимой мощности и качества луча. Резонатор представляет собой пару зеркал, параллельных друг другу, между которыми помещена активная среда. Одно зеркало («глухое») отражает весь падающий на него свет; второе, полупрозрачное, часть излучения возвращает в среду для осуществления вынужденного излучения, другая часть выводится наружу в виде лазерного луча. В качестве «глухого» зеркала нередко используют призму полного внутреннего отражения, в качестве полупрозрачного – стопу стеклянных пластин. Кроме того, подбирая расстояние между зеркалами, резонатор можно настроить так, что лазер станет генерировать излучение только одного, строго определенного типа (так называемую моду).

3. Система управления. Современные лазерные станки оборудованы компьютерными системами, которые позволяют управлять процессом обработки с высокой точностью. Система управления обрабатывает графические файлы (например, в формате DXF или PLT) и контролирует параметры резки, такие как скорость, мощность и частота лазера.

4. Механическая станина – это конструкция, на которой монтируются все компоненты станка. Она обеспечивает стабильность и точность управления движениями инструмента. Обычно используется система линейных приводов, которая перемещает рабочую головку лазера по заданной траектории.

Независимо от классификации большинство станков для лазерной резки, за исключением специализированных моделей для обработки различных металлопрофилей, оборудованы столом для размещения листовых заготовок (рисунок 3.1.2). Размеры этого стола соответствуют стандартным размерам металлических листов. Для повышения производительности часто в конструкцию станка включается второй

сменный стол. Согласно этой схеме один стол находится в рабочем положении – на нем осуществляется резка заготовки, а второй стол предназначен для загрузки и выгрузки – на нем происходит снятие готовых деталей и загрузка новых заготовок для дальнейшей обработки. Смена столов обычно осуществляется автоматически по программе, хотя в более простых моделях может потребоваться участие оператора. Использование такой конструкции значительно сокращает время, затрачиваемое на установку и снятие деталей и заготовок, что, в свою очередь, увеличивает общую производительность процесса.



Рисунок 3.1.2 – Двухпаллетная схема станка лазерной резки

Для обеспечения движения заготовки и режущей головки в станках лазерной резки используются различные приводные механизмы. Наиболее распространенным типом таких приводов является шарико-винтовая передача. Однако в последнее время наблюдается тенденция к использованию линейных асинхронных двигателей (ЛАД) в этих механизмах. Эта схема позволяет достичь более высоких скоростей движения, уменьшить необходимость в частом обслуживании приводов и увеличить срок службы станка.

Еще одной характерной особенностью конструкции лазерного резака является наличие световода или комплекса устройств, предназначенных для передачи лазерного луча от генератора к режущей головке (рисунок 3.1.3). Световод состоит из системы зеркал, герметичного канала и при необходимости различных устройств для компенсации длины луча. Чтобы предотвратить перегрев зеркал от лазерного излучения, они оснащены жидкостной системой охлаждения. В канале световода поддерживается избыточное давление воздуха, что предотвращает попадание пыли и других взвешенных частиц, которые могут негативно сказаться на качестве лазерного луча и, следовательно, на качестве резки.

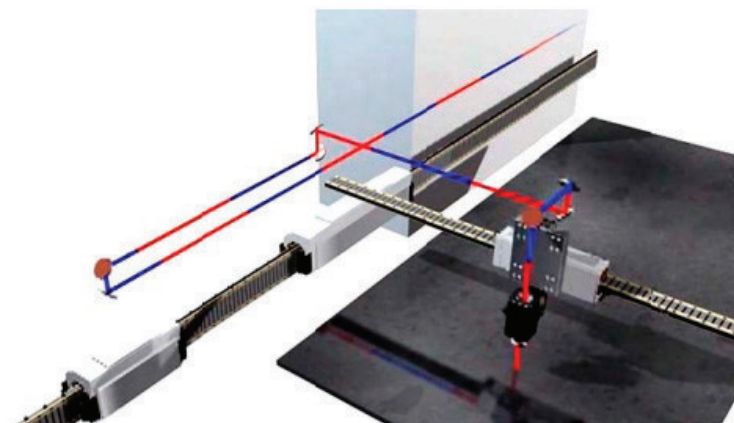


Рисунок 3.1.3 – Световод станка лазерной резки

Один из способов классификации станков лазерной резки основывается на их способности обрабатывать различные типы заготовок. В этой категории выделяются следующие виды.

Станки для обработки только листовой заготовки (так называемые 2D-станки) являются самой распространенной группой. Они оснащены жестко закрепленной режущей го-

ловкой. Некоторые модели предлагают дополнительные функции, такие как обработка трубных заготовок с использованием различных зажимных устройств, например токарного патрона, а также нарезку резьбы и снятие фасок в предварительно вырезанных отверстиях (рисунок 3.1.4).

2D + 3D-станки предназначены как для обработки листовых заготовок, так и для работы с объемными заготовками (например, штампами, металлопрофилями, трубами и т.д.). Эти станки имеют стол, на котором можно закреплять как листовые, так и объемные заготовки. Кроме того, они оснащены вращающимся зажимным устройством для обработки труб различных сечений. Главное отличие этого типа станков заключается в наличии подвижной режущей головки, способной перемещаться в трех координатах (рисунок 3.1.5).

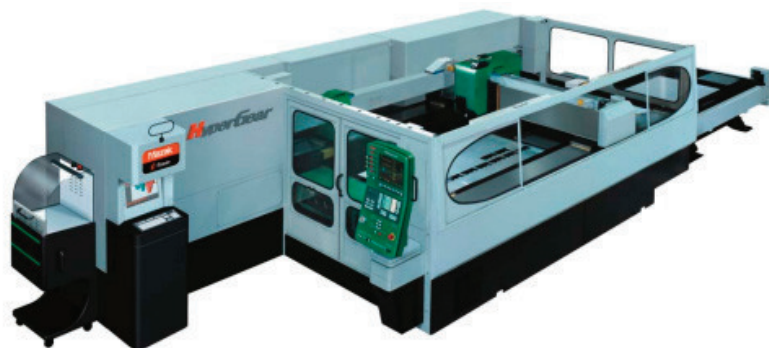


Рисунок 3.1.4 – 2D-станки лазерной резки

3D-станки представляют собой узкоспециализированные высокопроизводительные решения для обработки различных типов металлопрофиля. Они оборудованы автоматизированными устройствами для погрузки и разгрузки, которые могут иметь разные конструкции, включая насыпные, конвейерные и подъемные системы. Режущая головка этих станков способна перемещаться в трех координатах (рисунок 3.1.6).



Рисунок 3.1.5 – 2D + 3D-станки лазерной резки

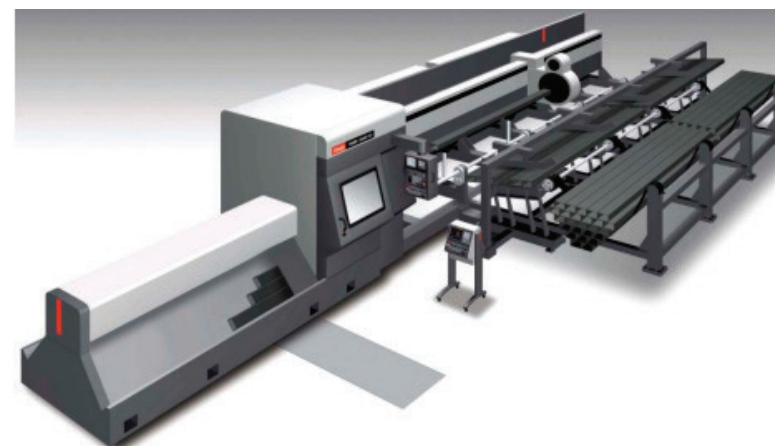


Рисунок 3.1.6 – 3D-станки лазерной резки

Обозначения 2D, 2D + 3D и 3D в первую очередь относятся к типу обрабатываемой заготовки, а не к числу управляемых осей станка. При обработке двумерной заготовки, такой как лист, профиль вырезаемой детали располагается

в плоскости X, Y , хотя управление осуществляется по трем осям X, Y и Z . При этом отслеживаются неровности заготовки (листа). Аналогично при обработке трехмерной заготовки (например, металлопрофиля или штамповки) форма вырезаемой детали является трехмерной, а управление движением резака происходит по пяти осям: X, Y, Z, A и B .

Таким образом, можно утверждать, что 2D-станки осуществляют трехосевую обработку, тогда как станки 2D + 3D могут выполнять пятиосевую обработку.

Существуют и другие подходы к классификации, которые предлагают различные производители этого оборудования. В зависимости от типа станка лазерной резки и количества управляемых координат используются разные типы систем числового программного управления. Более простые системы ЧПУ применяются в станках, предназначенных только для обработки листовых заготовок, где управление осуществляется по трем координатам (X, Y, Z). Управление по оси Z осуществляется с помощью системы слежения, что позволяет обрабатывать металлические листы с заметными отклонениями от плоскости, предотвращая повреждение режущей головки.



Рисунок 3.1.7 – Станок с ЧПУ Siemens SINUMERIK



Рисунок 3.1.8 – Пульт станка с ЧПУ ByVision фирмы Bystronic

Более сложные системы ЧПУ устанавливаются на станках для объемной резки, где управляемыми становятся пять, а в более продвинутых системах шесть координат. В таких системах добавляются поворот режущей головки (координата A , $\pm 360^\circ$), наклон режущей головки (координата B , до $\pm 140^\circ$) и в некоторых случаях программируемое вращение зажимного устройства для обработки трубных заготовок.

Наиболее сложные задачи возникают для систем ЧПУ на станках, предназначенных для обработки различных металлопрофилей. На таких станках необходимо не только управлять движениями режущей головки и заготовки, но и контролировать загрузочные и разгрузочные устройства. Поэтому на них часто устанавливают две системы ЧПУ, которые работают согласованно для управления всеми перечисленными устройствами.

Независимо от типа станка все современные системы ЧПУ обладают стандартным набором функций и возможностей, включая:

- ручное бесступенчатое изменение скорости подачи во время выполнения программы;
- изменение давления вспомогательного газа в процессе работы;
- фоновое редактирование программы;
- пошаговый просмотр программы с симуляцией выполнения;
- возможность перезапуска программы с последнего места остановки;
- диагностика станка с выводом сообщений о неисправностях и ошибках;
- ведение графика регламентных работ с указанием времени до их выполнения и вывод соответствующих уведомлений на дисплей;
- интеграция системы ЧПУ в локальную сеть предприятия.

Многие производители могут добавлять различные функции и возможности в зависимости от назначения или области применения станков лазерной резки. В настоящее время на рынке представлен широкий ассортимент оборудования для лазерной резки, которое различается как по основным характеристикам, так и по функциональным возможностям. Это разнообразие создает определенные трудности при выборе подходящего оборудования, соответствующего требованиям конкретного производства.

После того как мы разобрались с устройством и классификацией лазерных станков, давайте перейдем к принципам их работы. Принцип функционирования лазерного станка заключается в фокусировке лазерного луча на обрабатываемом материале. Энергия лазерного света вызывает нагрев, что приводит к плавлению, испарению или обжигу материала. Процесс резки или гравировки осуществляется по заданной программе, что обеспечивает высокую точность и повторяемость операций.

Согласно принципу формирования и транспортировки лазерного луча станки, широко используемые в производ-

стве, делятся на две основные группы: CO₂-лазеры и оптоволоконные лазеры.

CO₂-лазеры предназначены для обработки всех типов материалов, за исключением металлов (хотя с некоторыми из них лазер может взаимодействовать при нанесении термопасты на поверхность, но это скорее исключение). Лазерный поток формируется в герметичной стеклянной трубке с несколькими отсеками. Основной объем заполнен смесью газов, чувствительных к воздействию электроимпульсов. Трубка соединена с высоковольтным блоком розжига, который подает разряды и активирует газ. Когда газовая среда переходит в возбужденное состояние, она начинает испускать лазерные частицы, которые выходят из трубки стабильным потоком и попадают в отражающее зеркало, расположенное перед выходом. Это зеркало является первым из четырех линз в оптической системе газовых лазеров, предназначенной для передачи потока от трубки к поверхности обрабатываемого материала. Правильно настроенные зеркала отражают луч без потерь мощности и скорости. Последнее зеркало, представляющее собой вогнутую или выпуклую линзу, расположено непосредственно над рабочей зоной и служит для фокусировки лазера на плоскости в точку нужного диаметра.

Оптоволоконные лазеры в первую очередь предназначены для работы с металлическими материалами. Они также могут использоваться для гравировки стекла и камня, а также для резки двусторонних пластиков. Лазерный поток формируется в кабеле, длина которого может достигать нескольких десятков метров. Сердцевина кабеля выполнена из прозрачного кварцевого волокна малого диаметра (около 400–600 мкм) с легирующим покрытием. Вокруг активного волокна находится оболочка из волноводов накачки. Энергия, необходимая для начала процесса испускания лазерных частиц, поступает в волноводы и сердцевину от внешних источников – диодных ламп, установленных на корпусе станка. Для увеличения скорости фотонов и повышения других

качественных характеристик на концах волокна делают насечки, изменяя отражающую способность материала и превращая его края в оптические резонаторы. Один из концов кабеля расположен непосредственно над фокусирующей линзой. Лазерный поток, вырывающийся из волокна, попадает на линзу и сужается до необходимого размера. Линза установлена в лазерной головке, которая закреплена над рабочим столом на подвижной каретке.

Дальнейшая работа станков лазерной резки схожа для обоих типов устройств. Управляющая программа, созданная в графическом редакторе или системе трехмерного моделирования, загружается в память станка. Контроллер ЧПУ считывает данные из программы и преобразует цифровые коды в импульсы, которые передают команды шаговым двигателям или сервоприводам. Эти двигатели, в свою очередь, перемещают инструментальный портал, на котором установлена головка с лазерным излучателем. В процессе выполнения команд от первой до последней лазерный луч перемещается по поверхности материала, шаг за шагом создавая изображение или контур реза, точно соответствующий компьютерной модели.

Работа лазерных станков осуществляется в автоматическом режиме, что значительно сокращает время обработки и снижает вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором. Лазерная обработка позволяет создавать сложные и детализированные элементы, что делает лазерные станки незаменимыми в современных производственных процессах.

3.1.2 Подготовка и формат вводных данных для лазерного станка

Программы для лазерных станков с числовым программным управлением можно разделить на две основные категории: редакторы для создания моделей резки и гравировки, а также программы, управляющие функционалом оборудования.

Графические редакторы. Чтобы станок мог выполнить заданные операции, необходимо создать план раскроя материала или изображение для гравировки и сохранить его в одном из форматов, которые поддерживает оборудование. Для построения чертежей подходят различные графические редакторы для работы с плоскими объектами и программы для трехмерного моделирования. Наиболее часто используются следующие.

Adobe Illustrator – графический редактор, способный создавать макеты резки для любого оборудования с программным управлением, включая лазерные станки. Программа предлагает множество библиотек и инструментов, позволяющих создавать изображения любой сложности и детализации. Также предусмотрена возможность взаимодействия со станком через диалоговое окно, где можно настроить параметры работы, такие как ширина и глубина гравировки и резки, указать материал и его толщину.

CorelDraw – пакет программ, который по популярности и функциональности не уступает Adobe Illustrator. Он позволяет преобразовывать растровые изображения (например, фотографии) в векторные, создавать криволинейные контуры и предлагает множество готовых шаблонов. Интуитивно понятный интерфейс делает работу в CorelDraw доступной даже для новичков. Среди форматов для сохранения готовой модели имеются те, которые необходимы для создания управляющей программы для лазерного станка.

LibreCAD – программное обеспечение для работы с плоскими изображениями. Оно очень простое в освоении и предлагает широкий набор инструментов и функций. Хотя это ПО менее известно, чем два предыдущих, оно достаточно популярно среди разработчиков макетов для лазерной обработки.

Как уже упоминалось, программы для трехмерного моделирования (такие как 3ds Max, AutoCAD, SolidWorks и подобные) также могут использоваться для создания файлов для лазерных станков. Поэтому тем, кто профессионально вла-

деет этими программами, нет необходимости изучать Adobe Illustrator. Однако при экспорте 3D-модели в двумерный формат важно внимательно проверить все линии на наличие дублирования, наложений или разомкнутых контуров.

Программное обеспечение для управления лазерным оборудованием. Чтобы макет, созданный в графическом редакторе, мог быть прочитан и воспроизведен на материале, необходимы специальные программы для лазерного станка, которые отвечают за его функционирование.

LaserCut – это программа с интуитивно понятным интерфейсом, позволяющая автоматически размещать заготовки на листе, управлять движением режущей головки, настраивать параметры скорости лазерного луча, его мощности и глубины резки, а также визуализировать все этапы работы.

LaserWork – еще одна популярная программа для управления лазерным оборудованием. Она отличается широкими функциональными возможностями и многозадачностью. В частности, программа позволяет отслеживать время завершения задачи, устанавливать координаты начала и конца резки, корректировать маршрут лазера во время перемещения и регулировать режимы работы луча. Также она может управлять поворотным устройством при необходимости и многое другое.

AutoLaser – третья по популярности программа для лазерных гравиров и резчиков благодаря своему дружелюбному интерфейсу и многофункциональности. Она позволяет регулировать мощность луча при прохождении криволинейных участков, настраивать точки входа и выхода, создавать более 250 процессов для одного файла резки, визуализировать их и адаптировать в процессе работы.

При использовании лазерного станка применяются следующие форматы файлов:

- векторные файлы;
- растровые файлы;
- CAD- и 3D-файлы;
- составные файлы.

Все эти форматы могут быть использованы для успешной лазерной резки в зависимости от требований и доступности соответствующего программного обеспечения.

Векторные файлы представляют собой набор фигур и линий, созданных с помощью различных математических расчетов. Можно представить векторные файлы как карту, которая предоставляет лазерному станку координаты для выполнения резки согласно заданным спецификациям. Одним из основных преимуществ векторных файлов является их независимость от разрешения: такие файлы можно масштабировать бесконечно без потери качества цветов, форм и текста.

Векторные файлы обычно создаются в следующих форматах:

- Adobe Illustrator (AI) – популярный инструмент для создания векторных файлов, часто используемый для разработки логотипов и графики;

- CorelDraw (CDR) – еще один распространенный вариант, который по функциональности и удобству схож с Adobe Illustrator;

- масштабируемая векторная графика (SVG) – формат, аналогичный AI и CDR, который может быть открыт или изменен в любом программном обеспечении для работы с векторной графикой.

Векторные файлы являются масштабируемыми и независимыми от разрешения, что означает отсутствие потери качества при увеличении их размера. Они формируются на основе математических вычислений, соединяющих различные точки изображения без изменения его первоначальной формы. Поскольку векторные изображения создаются путем соединения точек с помощью кривых или прямых линий, они идеально подходят для лазерной резки или гравировки, так как лазерные устройства могут точно следовать заданной траектории. Популярные форматы векторных файлов включают AI, EPS, SVG, EMF, DXF, DWG, SKP и STEP.

Растровые файлы (или растровые изображения) состоят из пикселей, содержащих информацию о цветах и тональности. Пиксель представляет собой простую точку, но когда миллионы пикселей объединяются, они формируют изображение, которое можно отображать на мобильных устройствах и компьютерах. В отличие от векторных форматов растровые файлы зависят от разрешения: при увеличении или растяжении растрового изображения оно становится нечетким и теряет качество. Если вы знаете точный размер дизайна, можете использовать растровый файл. Также возможно преобразование растрового изображения в векторный файл для лазерной резки.

Большинство изображений, доступных в интернете, являются растровыми файлами. Основные типы растровых файлов включают:

- JPEG – аббревиатура от Joint Photographic Expert Group; использует технологию сжатия для уменьшения размера изображения;
- BMP – популярный формат растрового изображения;
- PNG – расшифровывается как Portable Network Graphics; используется для веб-графики;
- GIF – формат обмена графикой, применяется для создания анимации;
- TIFF – формат Tagged Image File Format, широко используется в коммерческой печати.

Файлы САПР и 3D. Файлы САПР представляют собой автоматизированные проекты, выполненные с помощью таких программ, как FreeCAD, AutoCAD, Fusion 360 и др.

Файл САПР – это векторный файл, но с одним большим отличием: файл САПР можно использовать для создания сложных 2D- и 3D-проектов.

Форматы файлов САПР:

- DWG;
- DXF (формат обмена чертежами).

Составные файлы. Составной файл более сложен, чем растровый и векторный файл. При использовании составного

файла растровые и векторные изображения могут храниться. Это делает его уникальным вариантом для пользователей.

Некоторые из форматов составных файлов:

- PDF (формат переносимого документа);
- EPS (инкапсулированный PostScript).

Эти файлы можно создать в Adobe Illustrator, Corel Draw или другой векторной программе.

Практико-ориентированное задание 3.1.

Подготовка к работе лазерного станка.

Определение формата и вида данных

Целью практического задания является освоение процесса подготовки лазерного станка к работе, включая установку, настройку и определение необходимых форматов данных.

В качестве файла для подготовки у нас будет снежинка (рисунок 3.1.9), но вы можете использовать любой эскиз на выбор. Чертеж должен быть выполнен в программе и сохранен в одном из унифицированных форматов (dxf, bmp и др.).

В нашей практической работе будет использоваться программа RdWorks.

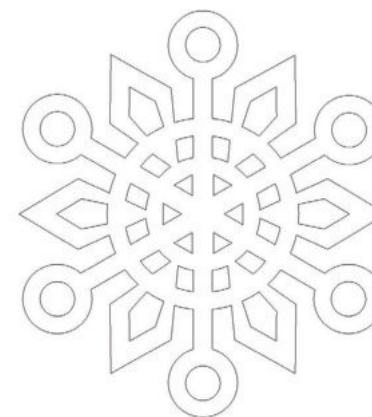


Рисунок 3.1.9 – Снежинка

Для подготовки к работе первым делом произведем импорт изделия (рисунок 3.1.10) «File – Import».

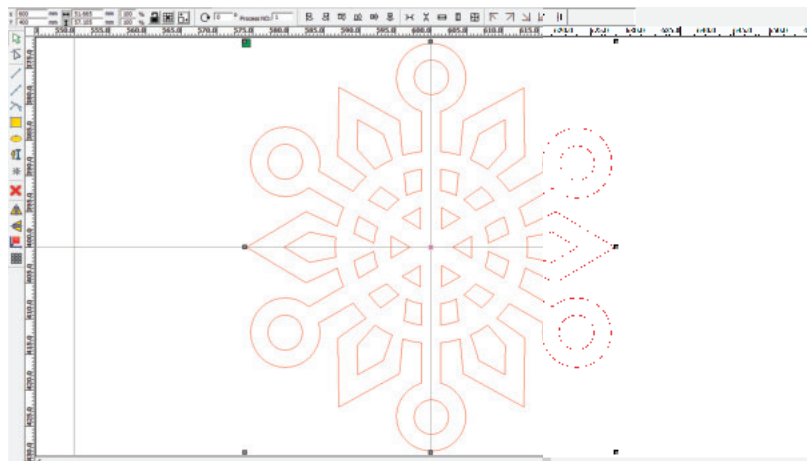


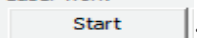
Рисунок 3.1.10 – Импортированная снежинка

Важно! Проверяйте файл на ошибки и на замкнутые контуры – все элементы должны быть замкнуты.

Настройка устройства:

- 1) настройте фокус лазера на нужной высоте относительно материала. Используйте тестовые образцы для проверки точности настройки;
- 2) выполните тестовую операцию резки или гравировки на образце материала, чтобы убедиться в правильности всех настроек и работоспособности оборудования.

Если ваш компьютер подключен к лазерному станку, то нам следует настроить основные параметры для нашей задачи: скорость, мощность и вид резки/гравировки.

После чего нажать кнопку старт .

В случае если у вас нет подключения к лазеру, следует выбрать кнопку «Save file» в формате rd.

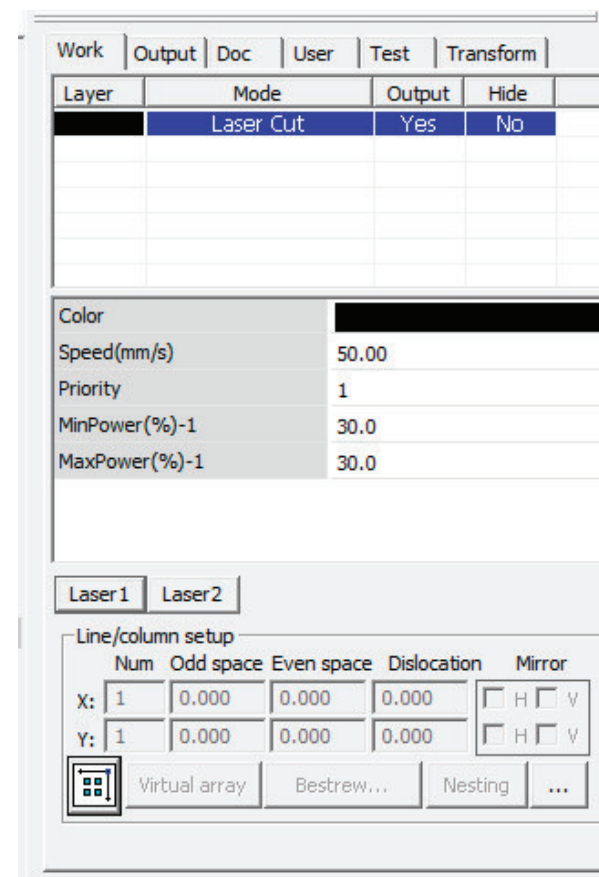


Рисунок 3.1.11 – Настройка параметров

Выводы:

- оцените качество выполненной работы, выявите возможные проблемы и внесите необходимые коррективы в настройки;
- выполните тестовую операцию резки или гравировки на образце материала, чтобы убедиться в правильности всех настроек и работоспособности оборудования.

Практико-ориентированное задание 3.2.

Подготовка к работе лазерного станка.

Определение формата и вида данных

Целью практического задания является освоение процесса подготовки лазерного станка к работе, включая установку, настройку и определение необходимых форматов данных.

В качестве файла для подготовки у нас будет коробка (рисунок 3.1.12), но вы можете использовать любой эскиз на выбор. Чертеж должен быть выполнен в программе и сохранен в одном из унифицированных форматов (dfx, bmp и др.).

В нашей практической работе будет использоваться программа RdWorks.

Базовый уровень

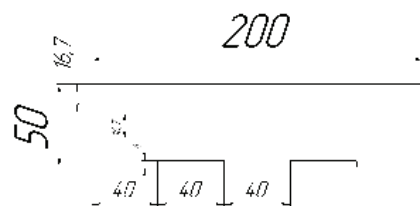


Рисунок 3.1.12 – Коробка

Для подготовки к работе первым делом произведем импорт изделия (рисунок 3.1.13) «File – Import».

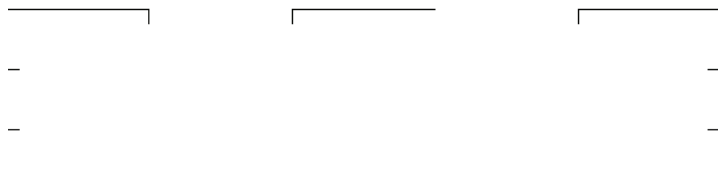


Рисунок 3.1.13 – Импортированная коробка

Продвинутый уровень

Для полного выполнения добавим в проект другие части коробки

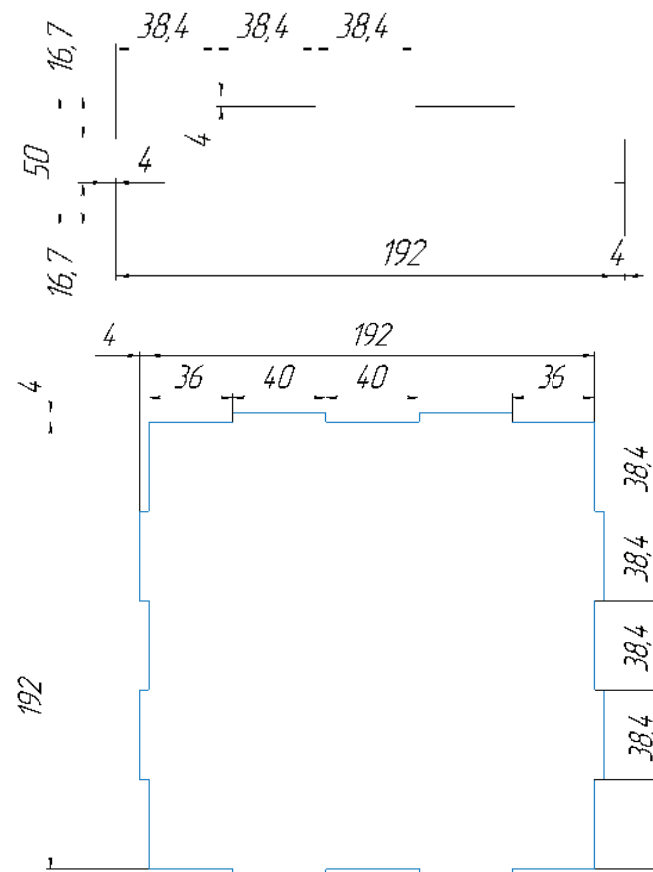


Рисунок 3.1.14 – Дополнительные детали

После чего разместим в программе все созданные детали вместе.

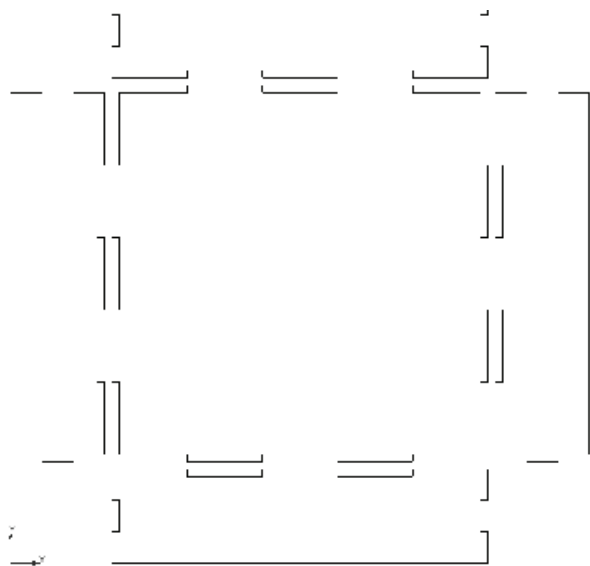


Рисунок 3.1.15 – Пример позиционирования деталей

Важно! Проверьте файл на ошибки и на замкнутые контуры – все элементы должны быть замкнуты.

Настройка устройства:

1) настройте фокус лазера на нужной высоте относительно материала. Используйте тестовые образцы для проверки точности настройки;

2) выполните тестовую операцию резки или гравировки на образце материала, чтобы убедиться в правильности всех настроек и работоспособности оборудования.

Если ваш компьютер подключен к лазерному станку, то следует настроить основные параметры: скорость, мощность и вид резки/гравировки.

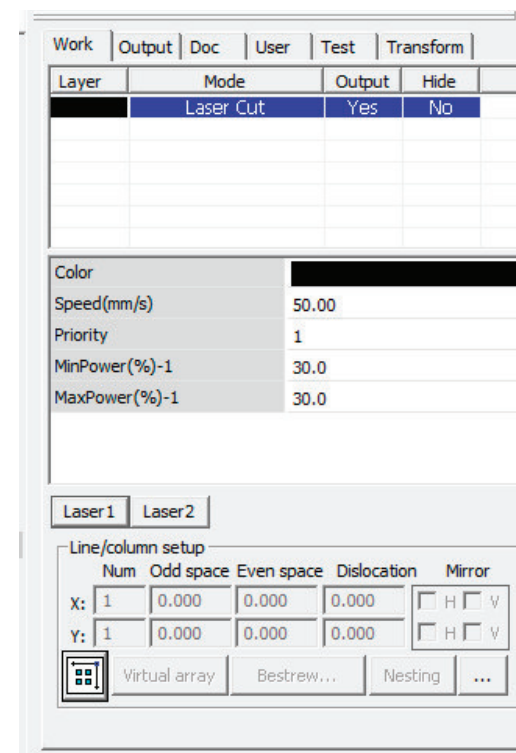


Рисунок 3.1.15 – Пример настройки параметров

После чего нажать кнопку **Start**.

В случае если у вас нет подключения к лазеру, следует выбрать кнопку «Save file» в формате rd.

Выводы:

- оцените качество выполненной работы, выявите возможные проблемы и внесите необходимые коррективы в настройки;

- выполните тестовую операцию резки или гравировки на образце материала, чтобы убедиться в правильности всех настроек и работоспособности оборудования.

Практико-ориентированное задание 3.2.3.

Подготовка к работе лазерного станка.

Определение формата и вида данных

Целью практического задания является освоение процесса подготовки лазерного станка к работе, включая установку, настройку и определение необходимых форматов данных.

В качестве файла для подготовки у нас будет значок (рисунок 3.1.16), но вы можете использовать любой эскиз на выбор. Чертеж должен быть выполнен в программе и сохранен в одном из унифицированных форматов (dxf, bmp и др.).

В нашей практической работе будет использоваться программа RdWorks.

Базовый уровень

Для подготовки к базовому уровню воспользуемся простыми фигурами для настройки гравировки. Создадим в программе окружность $D = 100$ мм.

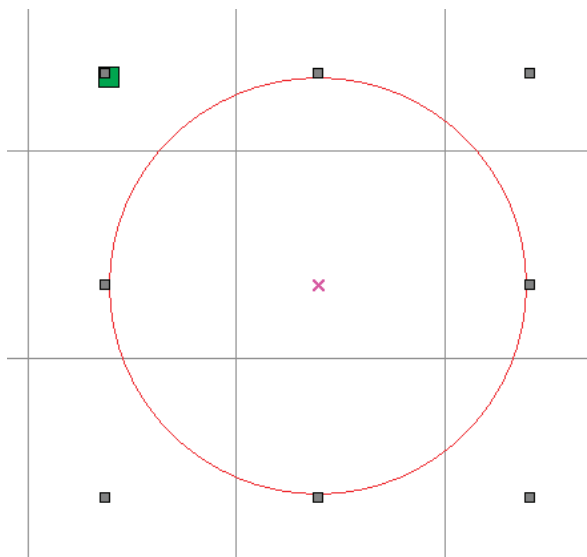


Рисунок 3.1.16 – Значок

Добавим новый слой гравировки, для этого достаточно сменить цвет на нижней панели при создании элемента (рисунок 3.1.17).

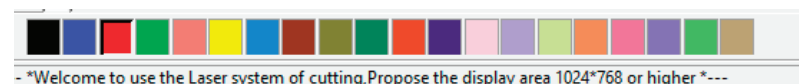


Рисунок 3.1.17 – Палитра цветов

Результат операции представлен на рисунке 3.1.18.

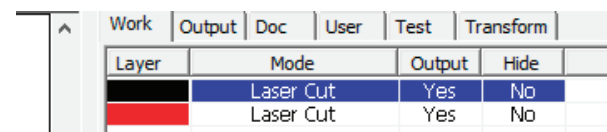


Рисунок 3.1.18 – Добавление слоя

Добавим надпись на наш импровизированный значок

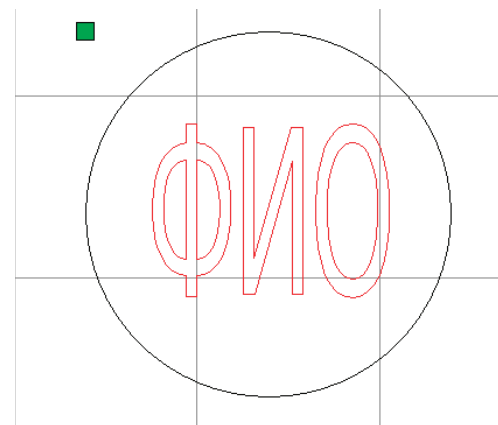


Рисунок 3.1.19 – Импортированный значок

Обратите внимание! Надпись для гравировки должна быть другого цвета – это означает, что наша гравировка находится на другом слое и мы сможем с ней взаимодействовать.

Произведем смену настройки для слоя с надписью. Для этого достаточно два раза нажать на соответствующий слой.

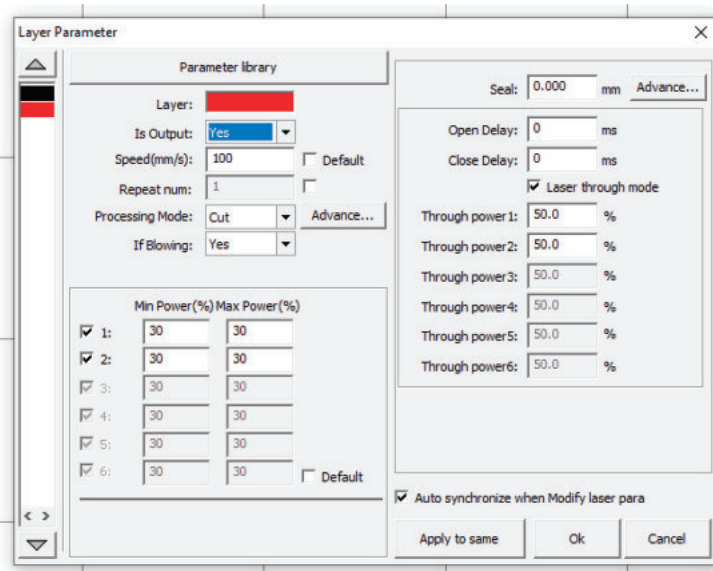


Рисунок 3.1.20 – Изменение настройки

Произведем настройку слоя, сменив «Действие» («Processing mode») на значение «Гравировка» («Scan»). Теперь наша модель разделена на два слоя – слой резки и гравирования.

Продвинутый уровень

Произведем полную обработку детали.

1. В зависимости от импортируемого нами изображения нам потребуется произвести соответствующие настройки.

2. Векторное изображение не поддерживает гравировку в негативе, оптимизацию гравировки и прямую обработку. Гравировка в негативе – инверсия растрового изображения. Оптимизация гравировки – наиболее оптимальный путь лазерного луча. Прямая гравировка – там, где глубокий цвет, гравировка будет с большей мощностью; там, где неглубокий цвет, мощность гравировки будет невысокой.

3. Сделаем импорт уже готового изображения в формате, поддерживаемым ПО. **File – import – выбираем разрешение и производим импорт изображения.**

Обратите внимание! Для работы с цветными или неконтрастными изображениями первым делом необходимо преобразовать изображение в черно-белый формат и увеличить контрастность, например в Photoshop!

Используйте функцию «Предпросмотр» («Preview»), чтобы убедиться, что все настройки корректны и изображение будет обработано правильно. Это поможет избежать ошибок перед началом гравировки.

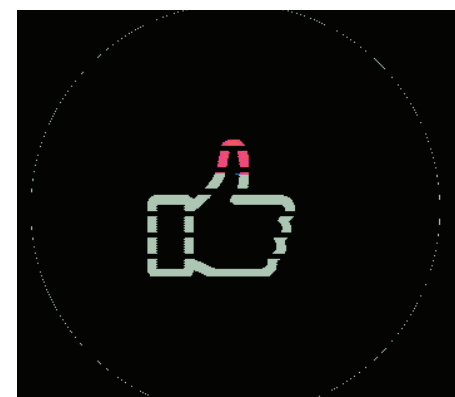


Рисунок 3.1.21 – Процесс предпросмотра и симуляции работы лазерного станка

Важно! Проверьте файл на ошибки и на замкнутые контуры – все элементы должны быть замкнуты.

Настройка устройства:

1) настройте фокус лазера на нужной высоте относительно материала. Используйте тестовые образцы для проверки точности настройки;

2) выполните тестовую операцию резки или гравировки на образце материала, чтобы убедиться в правильности всех настроек и работоспособности оборудования.

Если ваш компьютер подключен к лазерному станку, то следует настроить основные параметры для нашей задачи: скорость, мощность и вид резки/гравировки.

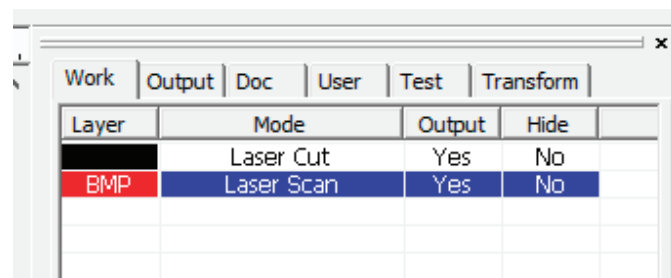
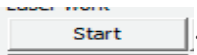


Рисунок 3.1.22 – Настройка параметров

После чего нажать кнопку старт .

В случае если у вас нет подключения к лазеру, следует выбрать кнопку «Save file» в формате rd.

Выводы:

- оцените качество выполненной работы, выявите возможные проблемы и внесите необходимые коррективы в настройки;

- выполните тестовую операцию резки или гравировки на образце материала, чтобы убедиться в правильности всех настроек и работоспособности оборудования.

3.1.3 Настройка и подготовка станка к работе. Техника безопасности

Этапы настройки станка. Для того чтобы станок качественно резал и точно воспроизводил исходный рисунок, его необходимо правильно настроить. Перед юстировкой лазерного станка, т.е. перед установкой зеркал в нужное положение, следует выполнить несколько подготовительных шагов:

- установить и отрегулировать станину по горизонтали;
- проверить правильность установки лазерной трубки;
- подключить заземление;
- убедиться в надежности соединения высоковольтных проводов;
- собрать систему охлаждения и проверить ее работоспособность;
- протестировать механику станка, убедившись в отсутствии вибраций.

Последний подготовительный шаг может занять некоторое время в зависимости от конструкции приводов перемещения. Юстировка оптики лазерного гравера включает установку зеркал так, чтобы световой поток падал на них под углом 45°. При отражении от первых двух поверхностей луч должен оставаться в горизонтальной плоскости, а после отражения от третьего зеркала – попадать точно в центр тубуса с фокусирующей линзой. Для регулировки положения зеркал по вертикали, горизонтали и диагонали на каждом из них предусмотрены три юстировочных винта.

Юстировку лазера проводят последовательно для всех зеркал, начиная с неподвижного. Основной сложностью является то, что поток излучения CO₂-лазера находится в невидимой части спектра. На многих станках, предназначенных для пользовательской настройки оптики, предусмотрен инструмент под названием «пилотный луч». Это устройство имеет простую конструкцию и напоминает светодиодную лазерную указку, но позволяет точно и быстро настраивать оптику.

Станки без пилотного луча юстируют с помощью бумажных кружков, наклеиваемых на зеркала. При этом необходимо отрегулировать мощность трубки так, чтобы нефокусированный луч оставлял след на импровизированной мишени. Данная юстировка небезопасна: случайное отражение невидимого луча может привести к ожогам глаз или кожи, поэтому важно соблюдать правила техники безопасности и использовать защитное оборудование. Настройка последнего зеркала, которое направляет луч на линзу, считается наиболее сложной операцией; для этого часто требуется снять сопло и заклеить линзу бумагой. Нередко весь процесс юстировки приходится повторять несколько раз.

Установка лазерной трубки. Перед началом юстировки необходимо снять боковой кожух, крышку и задний кожух с лазерной трубкой. Для удобства работы рекомендуется, чтобы в процессе участвовало два человека, чтобы избежать постоянного перемещения от пульта управления к лазеру. Альтернативный вариант – установить контроллер, поддерживающий работу по локальной сети, который подключается к компьютеру с Wi-Fi и позволяет управлять движениями станка удаленно.

Лазерная трубка должна устанавливаться параллельно столу, что упрощает процесс юстировки. Угол наклона в 2–4° не считается ошибкой. Если станок работает с помпой, могут образовываться пузыри, поэтому лучше создать небольшой уклон для их выхода. Однако если у станка есть чиллер, пузыри не будут образовываться.

Для юстировки потребуется малярный скотч, который наклеивается на зеркало в 2–4 слоя, чтобы предотвратить его возгорание. У некоторых станков, таких как Wattsan 6090, отсутствует рамочка вокруг зеркала; в таком случае для защиты от клея или скотча можно использовать монету.

Устанавливается мощность на уровне 19–20 %. В меню в строке «Laser Set» выбирается режим «Manual» (ручной) с настройкой скорости 50 м/с. При нажатии кноп-

ки «Pulse» будут генерироваться импульсы, оставляющие небольшой отпечаток на малярном скотче и предотвращающие воспламенение.

Лазерная трубка устанавливается в нижнее положение, наклеивается малярный скотч и проглаживается пальцем для четкого отображения границ рамки. Затем проверяется попадание лазера в зеркало нажатием кнопки «Pulse». При необходимости регулируется положение лазерной трубки. Для станка Wattsan 6090 предусмотрены удобное колесико и шкала для легкой настройки положения задней и передней части трубки.

Лазерному лучу не обязательно попадать точно в центр; достаточно, чтобы он полностью проходил через первое и второе зеркало на максимальной мощности (около 99 %). Важно попасть в центр только третьего зеркала.

После того как трубка установлена в правильном положении, ее необходимо зафиксировать с помощью предусмотренных болтов. Обычно положение трубки фиксируется один раз; при дальнейшей проверке юстировки достаточно контролировать положение зеркал.

Настройка первого зеркала. Крепление первого зеркала состоит из двух частей: одна рамка имеет винты с пружинами, а на второй закреплено само зеркало. Вторая рамка всегда стремится прижаться к первой благодаря пружинам. Латунные винты регулируют угол наклона зеркала, оттачивая рамку с разных сторон.

Верхний винт отвечает за вертикальный угол наклона, а правые и левые – за горизонтальный и диагональный. Чем больше рабочая область станка, тем более чувствительно отклоняется лазер при повороте винтов.

Зеркало регулируется до тех пор, пока весь луч не будет попадать на него без зацепления крепления даже на максимальной мощности. Проверяется попадание луча в одну точку при перемещении портала по оси Y в крайние положения. Операция повторяется несколько раз для уве-

ренности в правильной установке зеркала и отсутствии отклонений луча.

На максимальной мощности след от луча не должен выходить за границы рамки.

Настройка второго зеркала. Первая проверка осуществляется на близком расстоянии, чтобы луч не выходил за границы рамки. Принцип регулировки остается прежним. При необходимости можно немного подкрутить все три регулировочных винта одинаковое количество оборотов для горизонтального смещения рамки.

Настройка проводится аналогично предыдущему этапу, но теперь важно обеспечить попадание луча в центр второго зеркала. Обязательно несколько раз проверяется попадание лазера в одну точку при крайних положениях.

Для точной корректировки попадания в центр третьего зеркала проще немного сместить лазерную трубку вместо регулировки первого и второго зеркал. Ослабив стопорные винты и слегка сместив трубку, можно быстро отрегулировать точность попадания луча в нужную точку.

Проверяется попадание лазера в одну точку по всем зеркалам при крайних положениях.

Настройка третьего зеркала – выравнивание вертикальности луча. Для этого вам понадобятся прозрачный скотч и кусок фанеры. Принцип настройки остается прежним, меняется только направление лазерного луча: с горизонтального на вертикальное.

Сначала убедитесь, что луч проходит через сопло и полностью достигает материала. Удобнее выполнять эту проверку в расфокусированном состоянии, чтобы лучше видеть форму отпечатка. Когда отпечаток станет круглым, наклейте на сопло прозрачный скотч. Установите минимальную мощность, примерно 10 %, и нажмите кнопку «Pulse».

На скотче останется отпечаток сопла и след от луча, причем отверстие должно находиться точно в центре сопла. Откорректируйте положение зеркала, затем снова наклейте

те скотч и проверьте центровку. Повторяйте эту операцию до достижения правильного положения.

После корректной центровки на материале останется маленькая круглая точка. Обязательно затяните все контрящие гайки после завершения юстировки! При закручивании винтов держите их рукой, чтобы случайно не сместить. После затяжки еще раз проверьте точность юстировки.

Часто возникающие проблемы. Если рез получается не вертикальным, а под углом, это указывает на неправильную настройку третьего зеркала; необходимо повторить юстировку.

Если рез различается в разных местах стола, проверьте кривизну материала и ровность установки стола.

Если в одном углу материал прорезается некачественно, причина может заключаться в неправильной установке станка – ножки выставлены неровно. Эта проблема часто возникает у самодельных или дешевых станков. У качественных моделей, таких как Wattsan, есть рама, что исключает подобные неполадки.

Подготовка к работе настроенного станка. Включите общий выключатель питания (он находится слева сзади; поверните его).

Нажмите зеленую кнопку пуска системы управления (на передней панели).

Дождитесь загрузки системы; на дисплее должны появиться значения: X ...,... Z...,...

Нажмите клавишу «Ускоренная подача» и с помощью кнопок прямого управления осевым перемещением сместите револьверную головку влево и вниз на 1–2 мм.

Нажмите клавишу «Вывод в исходную (референтную) точку» и с помощью кнопок прямого управления осевым перемещением сместите револьверную головку вправо и вверх до упора. Прозвучит звуковой сигнал (по каждой из координат), и загорятся светодиоды для каждой координаты.

Нажмите клавишу «PROG» и убедитесь, что в памяти системы находится нужная программа и курсор установлен в начале программы.

Нажмите клавишу «Автоматический режим» (MEMORY).

Убедитесь, что ускоренная подача установлена на 25 %.

Нажмите клавишу «Пуск цикла». Вы можете переключать режимы работы: автоматический режим, показовая работа, режим редактирования программы, режим с пропуском указанного кадра, режим остановки в указанном месте программы и режим проверки программы.

Организация рабочего места. Несоблюдение перечисленных ниже требований может привести к неправильной работе станка и, как следствие, к его поломке.

Температура окружающей среды должна находиться в пределах 10–30 °С. При температуре ниже этого диапазона возможен быстрый износ механических частей оборудования. При температуре выше указанного предела элементы станка (в частности, лазерная трубка) могут перегреваться, что приведет к поломке.

Влажность в помещении должна быть менее 80 %. При более высокой влажности на оборудовании может образовываться конденсат, который может повредить электронные компоненты.

Помещение, в котором устанавливается оборудование, должно быть хорошо вентилируемым.

Избегайте резких скачков напряжения. Следите за уровнем напряжения: при слишком высоком его уровне электропитание оборудования может выйти из строя.

Техника безопасности при работе со станком. Лазерное излучение невидимо невооруженным глазом, поэтому работа с оборудованием требует соблюдения следующих мер предосторожности.

Запрещается оставлять станок включенным без присмотра – это может привести к пожару.

Не направляйте лазерный излучатель на живые существа, даже если он отключен.

Запрещается использовать станок при открытом доступе к электронике, излучателю или линзам.

Правильное и надежное заземление поможет избежать выхода из строя электронных компонентов.

При обнаружении посторонних шумов немедленно прекратите работу и отключите оборудование.

Не пытайтесь самостоятельно ремонтировать оборудование.

Запрещается работать во взрывоопасной среде или рядом с легковоспламеняющимися материалами.

Лабораторная работа 3.1.1.

Подготовка станка к работе

Подготовка лазерного станка к работе включает несколько ключевых этапов, которые необходимо выполнить для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации оборудования. В этой лабораторной работе мы рассмотрим основные шаги, необходимые для настройки лазерного станка перед началом работы.

Этапы подготовки лазерного станка

Проветривание помещения: перед началом работы убедитесь, что помещение хорошо проветривается. Это поможет избежать накопления вредных паров и обеспечить комфортные условия для работы.

Проверка рабочего места: убедитесь, что рабочая поверхность установки очищена от загрязнений и посторонних предметов.

Проверьте наличие легковоспламеняющихся веществ вблизи станка и уберите их.

Проверка состояния оборудования:

- убедитесь, что боковые и задние панели установки закреплены на корпусе;

- проверьте исправность вентиляционной системы и отсутствие препятствий для выхода воздуха;
- убедитесь в наличии воды в системе охлаждения.

Подключение оборудования:

- подключите воздушный компрессор или помпу к лазерному оборудованию;
- подключите промышленный стабилизатор сети (рекомендуется от 2 кВт) к электросети 220 В;
- убедитесь, что станок заземлен.

Подготовка программного обеспечения:

- подсоедините USB-кабель к компьютеру и установите соответствующее программное обеспечение и драйверы;
- запустите программу управления станком и подготовьте необходимые файлы для резки или гравировки.

Настройка параметров лазера:

- установите параметры предстоящей операции, такие как мощность лазера и скорость перемещения;
- проверьте фокусировку лазера, чтобы обеспечить оптимальное качество обработки.

Размещение материала: разместите материал для обработки на рабочей поверхности станка с соблюдением оптимального фокусного расстояния.

Меры безопасности:

- использование средств защиты: обязательно наденьте защитные очки перед работой с лазерным оборудованием;
- не оставляйте станок без присмотра: никогда не оставляйте работающий станок без наблюдения, чтобы предотвратить возможные пожары;
- проверка на неисправности: в случае обнаружения посторонних шумов или неисправностей немедленно отключите оборудование и сообщите специалистам.

3.1.4 Режимы работы и постобработка изделий

Режимы работы лазерного станка с ЧПУ. Режимы работы лазерного станка с числовым программным управлением включают несколько ключевых параметров, которые определяют эффективность и качество обработки материалов.

Основные режимы работы. Режим резки – лазерный луч направляется на материал, что приводит к его плавлению или испарению. Этот режим используется для создания сложных форм и деталей. Важными параметрами являются мощность лазера, скорость резки и тип газа (например, кислород или азот), подаваемого в процесс.

Режим гравировки – лазер применяется для создания изображений или текстов на поверхности материала. Этот режим требует меньшей мощности по сравнению с резкой и может использовать различные параметры, такие как скорость и частота импульсов лазера.

Режим маркировки используется для нанесения маркировки или логотипов на изделия. Здесь применяется специфическая техника, позволяющая точно контролировать глубину и четкость нанесения.

Режим перфорации позволяет создавать отверстия в материале для дальнейшего разрыва или соединения изделий. Этот режим сочетает элементы резки и гравировки.

Режим поддува – подача воздуха или инертного газа, чтобы избежать образования дыма и обеспечить чистоту реза или гравировки.

Промежуточные режимы – в зависимости от материала и требуемого результата могут применяться различные комбинации вышеперечисленных режимов, такие как изменение мощности на разных участках обработки.

Каждый из этих режимов требует точной настройки параметров для достижения необходимого качества обработки материала и его характеристик. Правильный выбор режима работы лазерного станка с ЧПУ позволяет оптимизировать производственные процессы и повысить качество конечного продукта.

Постобработка изделий. Постобработка изделий, полученных на лазерном станке с ЧПУ, является важным этапом производственного процесса. Она включает ряд операций, направленных на улучшение качества и эксплуатационных характеристик готовых изделий.

Этапы постобработки изделий:

- удаление заусенцев и загрязнений: после лазерной резки на поверхности изделий могут оставаться заусенцы или грязь, которые необходимо удалить с помощью механической обработки, шлифовки или химических средств;
- шлифовка и полировка: для достижения необходимой шероховатости и блеска поверхности может потребоваться шлифовка или полировка, эти процедуры улучшают эстетические характеристики изделия и подготавливают его к следующим этапам, таким как покраска или нанесение покрытия;
- нанесение покрытий и защитных слоев: в зависимости от назначения изделия может потребоваться нанесение защитного покрытия, которое повышает устойчивость к коррозии, механическим повреждениям и другим воздействиям;
- сборка: если деталь является частью более сложного механизма, необходимо выполнить ее сборку с другими компонентами;
- контроль качества: последний этап постобработки включает проверку готового изделия на соответствие заданным параметрам и стандартам качества.

Эти процессы способствуют обеспечению долговечности и функциональности изделий, произведенных на лазерном станке с ЧПУ.

Лабораторная работа 3.1.2.

Обработка детали после работы станка

После обработки деталей на лазерном станке необходимо выполнить ряд действий для доводки и очистки изделий. Эти шаги помогут улучшить качество готовой продукции

и подготовить ее к дальнейшему использованию или продаже. В данной лабораторной работе мы рассмотрим основные методы обработки деталей после работы лазерного станка.

Этапы обработки деталей:

- удаление остатков материала: после лазерной резки или гравировки на поверхности изделия могут оставаться остатки нагара, копоти или других загрязнений, эти остатки могут ухудшать внешний вид и качество детали; для удаления нагаров можно использовать зубную щетку;
- финишная доводка: используйте абразивные материалы для шлифовки краев и удаления шероховатостей;
- обработка краев: при лазерной резке края могут быть острыми или неровными, используйте специальные инструменты для скругления кромок и придания формы; убедитесь, что все острые углы обработаны, чтобы избежать травм при использовании изделия;
- очистка от пыли и загрязнений: после шлифовки и доводки важно удалить всю пыль и остатки от обработки, используйте сжатый воздух или влажную тряпку для этой цели;
- проверка качества: проверьте изделие на наличие дефектов после обработки, убедитесь, что все параметры соответствуют требованиям.

Если необходимо, проведите повторную гравировку для улучшения качества поверхности.

3.1.5 Типичные ошибки при работе с лазерным станком

Во время работы с лазерным станком могут возникнуть следующие ошибки.

Неправильные настройки лазера. Параметры лазерного станка, такие как мощность, скорость резки и частота импульсов, играют критическую роль в достижении качественных результатов. Например, слишком низкая мощность может привести к неполному прорезанию материала, оставить неровности. С другой стороны, высокая мощ-

ность может перегреть материал, что вызовет его обугливание или плавление. Скорость резки также важна: слишком высокая скорость может не обеспечить достаточную глубину реза, а слишком низкая – привести к перегреву и повреждению материала. Частота лазера (особенно для гравировки) влияет на качество изображения и четкость линий.

Неучтенные свойства материалов. Каждый материал имеет свои уникальные характеристики, которые необходимо учитывать перед обработкой. Некоторые материалы могут выделять токсичные газы при нагреве, в то время как другие легко горят или деформируются. Незнание особенностей обработки может привести к повреждению как самого материала, так и оборудования. Изучение свойств материалов, таких как плотность, температура плавления и реакция на лазерное воздействие, поможет избежать множества проблем.

Плохо подготовленные файлы. Для лазерной резки или гравировки необходимы качественные векторные файлы, которые должны быть правильно отформатированы и содержать все необходимые слои (например, контуры для реза и заливки для гравировки). Ошибки в файлах, такие как неполные контуры, неправильные форматы или отсутствие векторных данных, могут вызвать сбои в работе станка и привести к потере времени и материалов. Поэтому перед отправкой файла на обработку следует тщательно проверять и тестировать его.

Неправильное выравнивание материала. Есть риск, что материал на рабочей поверхности лазерного станка будет установлен неправильно – сдвинут или наклонен. Это может привести к неправильному резу, особенно при многократной обработке одного элемента или при сложных контурных формах. Без тщательного выравнивания фактический результат может значительно отличаться от ожидаемого. Убедитесь, что материал надежно зафиксирован и правильно расположен относительно лазерного луча.

Игнорирование требований безопасности. Работа с лазерным оборудованием связана с определенными рисками, включая высокие температуры, электричество и потенциально токсичные вещества. Неправильное использование средств защиты, таких как защитные очки, может привести к серьезным травмам глаз. Недостаточная вентиляция может ухудшить качество воздуха и создать опасные для здоровья ситуации, особенно при обработке некоторых материалов. Огнетушители должны быть под рукой на случай пожара. Строгое соблюдение мер безопасности поможет защитить оператора и оборудование.

Отсутствие регулярного обслуживания. Регулярное обслуживание лазерной установки включает плановые проверки и профилактические работы, которые помогают поддерживать оборудование в рабочем состоянии и минимизировать риск поломок. Нерегулярные проверки могут привести к накоплению износа или к повреждениям, которые не были своевременно обнаружены. Это может негативно сказаться на качестве резки или гравировки, что приведет к отходам и перерасходу материалов. Кроме того, серьезные поломки могут потребовать дорогостоящего ремонта и значительно увеличить время простоя оборудования.

Несоблюдение технологии охлаждения. Лазеры выделяют значительное количество тепла во время работы, и отсутствие надлежащего охлаждения может привести к перегреву компонентов. Это может не только снизить продуктивность (например, увеличить время резки или ухудшить качество обработки), но и вызвать выход из строя самого лазера. В некоторых случаях перегрев может повредить оптические компоненты, такие как зеркала и концевики, что усложнит и удорожит процесс ремонта.

Недостаточный контроль процесса. Процесс резки или гравировки требует постоянного мониторинга. Недостаточное внимание к этому процессу может привести к раз-

личным проблемам, включая повреждение материала (например, неправильные настройки могут вызвать слишком глубокий или недостаточно глубокий рез) или возникновение несчастных случаев (например, случайное возгорание материала). Операторы должны быть внимательными и быстро реагировать на любые аномалии в процессе, такие как дым, искры или необычные звуки.

Неопытность оператора. Оператор без достаточной подготовки и опыта может совершать множество ошибок при запуске лазерной установки или в процессе работы. Это может привести к неправильным настройкам, ухудшающим качество резки, а также увеличивающим вероятность аварий и поломок оборудования. Обучение помогает сотрудникам понять особенности работы с конкретным оборудованием, научиться правильно подбирать параметры резки для различных материалов и обеспечивать безопасность во время работы.

Плохое освещение рабочей зоны. Рабочая зона должна быть хорошо освещена, чтобы оператор мог четко видеть процесс и детали обработки. Плохое освещение может привести к ошибкам в настройках и оценке работы лазера, что увеличивает вероятность несчастных случаев и порчи материала. Компании с хорошей репутацией обеспечивают достаточное освещение на рабочем месте, чтобы операторы могли своевременно замечать любые аномалии и точно контролировать процесс резки или гравировки.

Эти пункты подчеркивают значимость соблюдения правил и стандартов при работе с лазерным оборудованием для обеспечения его эффективной и безопасной эксплуатации. Избегая этих ошибок, можно существенно повысить как эффективность, так и безопасность работы с лазерным станком.

Тест. Лазерная резка и работа с лазерным станком

3.1.1. Что такое лазерный станок и какова его основная функция?

- а) устройство для механической обработки материалов;
- б) устройство для резки и гравировки материалов с использованием лазерного луча;
- в) устройство для печати на бумаге.

3.1.2. Какой тип лазера чаще всего используется в лазерных станках для резки?

- а) лазер на диодах;
- б) CO₂-лазер;
- в) лазер на рубине.

3.1.3. Какова основная причина, по которой необходимо регулярно проверять состояние охлаждающей жидкости в лазерном станке?

- а) для улучшения качества резки;
- б) для предотвращения перегрева лазерной трубки;
- в) для уменьшения шума при работе.

3.1.4. Какой параметр не влияет на качество резки при работе с лазерным станком?

- а) мощность лазера;
- б) скорость перемещения головки;
- в) цвет материала.

3.1.5. Что необходимо сделать перед началом работы с лазерным станком?

- а) проверить уровень охлаждающей жидкости и состояние кабелей питания;
- б) запустить программу управления;
- в) включить свет в помещении.

3.1.6. Какой из следующих шагов не является частью процесса настройки лазерного станка?

- а) подключение USB-кабеля к компьютеру;
- б) настройка фокусного расстояния;
- в) проверка наличия бумаги для печати.

3.1.7. Что такое юстировка оптической системы лазерного станка?

- а) процесс установки нового лазера;
- б) корректировка движения лазерного луча от источника до обрабатываемой поверхности;
- в) процесс очистки зеркал и линз.

3.1.8. Какой из следующих факторов может негативно повлиять на работу лазерного станка?

- а) высокая влажность в помещении;
- б) наличие хорошей вентиляции;
- в) оптимальная температура окружающей среды.

3.1.9. Что следует делать, если во время работы с лазерным станком возникает неисправность?

- а) игнорировать проблему и продолжать работу;
- б) немедленно отключить оборудование и обратиться к специалистам;
- в) попробовать самостоятельно отремонтировать станок.

3.1.10. Какой материал можно обрабатывать с помощью лазерного станка?

- а) только древесину;
- б) широкий ассортимент материалов, включая дерево, металл, акрил и текстиль;
- в) только пластиковые изделия.

3.2 Механическая обработка деталей резанием

3.2.1 Оборудование и технология токарной обработки материалов

Точение является одной из наиболее древних технологических операций, осуществляемой с использованием простых токарных станков.

Процесс токарной обработки представляет собой способ удаления материала с заготовки до достижения необходимой формы, размеров и поверхностной текстуры. Этот

метод широко применяется в различных отраслях промышленности для обработки деталей, таких как валы, шестерни, шкивы, втулки и др. Важнейшие этапы работы на токарных станках включают обработку цилиндрических, конических и профильных поверхностей, создание канавок, разделение заготовок, обработку отверстий различными методами, нарезание резьбы и другие технологические операции.

Основные виды токарных работ. Внешняя токарная обработка. Этот вид работы заключается в удалении материала с внешней поверхности заготовки. Он включает такие операции, как наружное точение, наружное растачивание, наружное нарезание резьбы и создание различных профилей на внешней поверхности заготовки (рисунок 3.2.1).

Внутренняя токарная обработка. Этот процесс включает удаление материала из внутренней части заготовки для создания отверстий различной глубины и диаметра. Внутренняя токарная обработка включает такие операции, как растачивание, нарезание резьбы, создание внутренних канавок и выемок (рисунок 3.2.2).

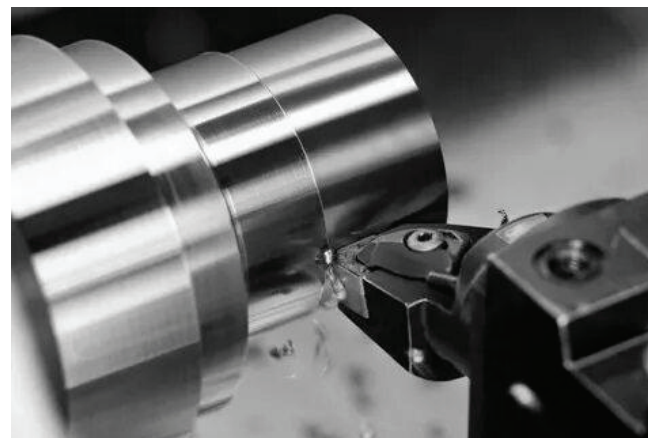


Рисунок 3.2.1 – Внешняя токарная обработка

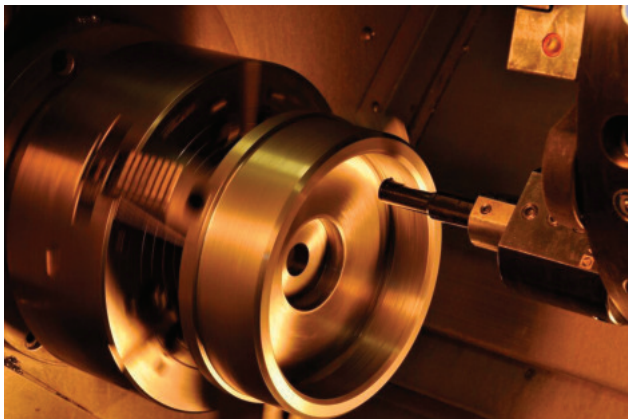


Рисунок 3.2.2 – Внутренняя токарная обработка

Торцевая обработка. Этот вид токарных работ осуществляется для обработки торцевой поверхности заготовки. Он может включать такие операции, как растачивание торцов, создание фасок, выделение пазов и прочие операции, связанные с обработкой торцов заготовок (рисунок 3.2.3).



Рисунок 3.2.3 – Торцевая токарная обработка

Нарезание резьбы. Токарные станки используются для нарезания резьбы на внешних и внутренних поверхностях заготовок. Это важная операция при изготовлении болтов, винтов, гаек и других деталей, требующих резьбовых соединений (рисунок 3.2.4).

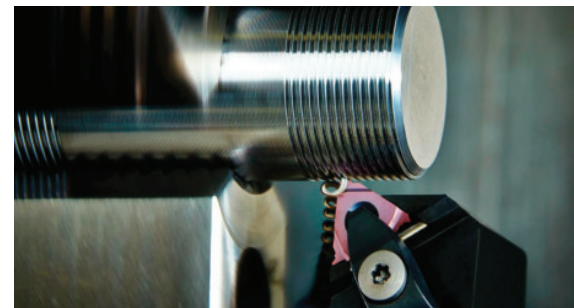


Рисунок 3.2.4 – Нарезание резьбы на токарном станке

Это лишь несколько основных видов токарных работ. В зависимости от конкретных требований производства могут использоваться и другие виды операций на токарных станках.

Точение на токарном станке включает вращение заготовки в горизонтальной плоскости и движение инструмента вдоль ее поверхности для снятия слоя материала. В процессе обработки патрон удерживает заготовку, а режущий инструмент удаляет толщину материала. Основные элементы токарного станка перечислены ниже (рисунок 3.2.5).

Станина – основание, к которому крепятся все остальные части.

Шпиндель – основной вращающийся элемент установки.

Передняя и задняя бабки – предназначены для закрепления и центрирования заготовок.

Суппорт с фартуком и кареткой – часть, в которой фиксируется режущий инструмент.

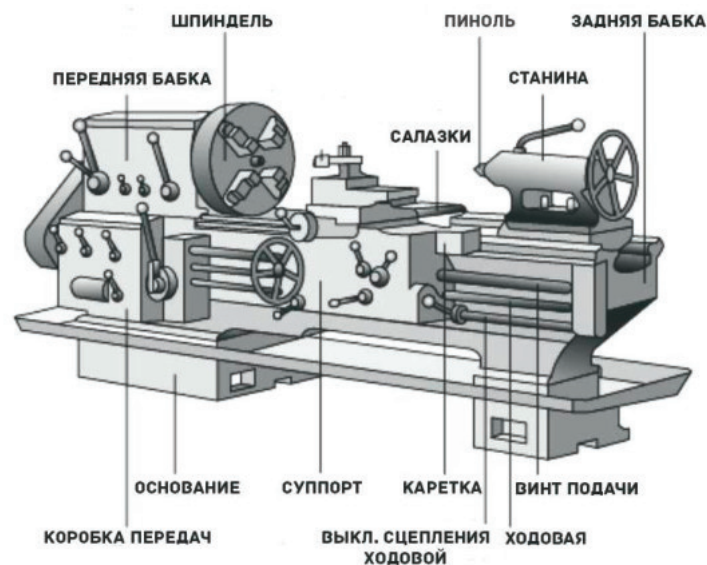


Рисунок 3.2.5 – Схема устройства токарного станка

Механизм продольной и поперечной передачи – обеспечивает движение суппорта и каретки при обработке.

Вал – элемент привода, передающий движение от мотора непосредственно к шпинделю.

Пиноль – крепежная принадлежность, представляющая собой металлическую шайбу толщиной 10–15 мм с отверстиями различной формы. Она накручивается на шпиндель станка и применяется для фиксации заготовок большого диаметра или деталей с несимметричным сечением.

Каретка – подвижный элемент, который удерживает режущий инструмент и перемещается вдоль станины для выполнения операции нарезания резьбы.

В процессе токарной обработки материалов используются два типа движений (рисунок 3.2.6): вращение самой заготовки D_r (основное движение) и движение суппорта вдоль

оси заготовки D_s (движение подачи). Этим способом достигают формирования фасонных, конических, цилиндрических и резьбовых поверхностей.

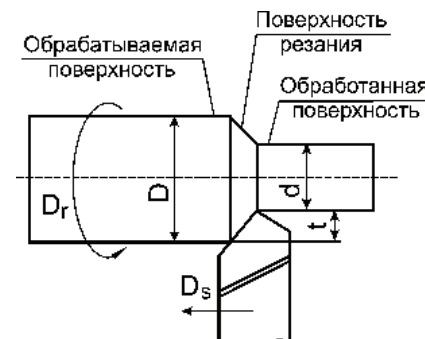


Рисунок 3.2.6 – Схема резания заготовки

К элементам режимов резания при точении относят:

- глубину резания t ;
- подачу S ;
- скорость резания V ;
- площадь сечения срезаемого слоя f .

Подача – это перемещение резца за один оборот обрабатываемой детали. Она измеряется в миллиметрах на один оборот детали и обозначается S , мм/об. Подача бывает продольной, если резец движется вдоль оси вращения детали, и поперечной, если движение перпендикулярно к оси. Величина подачи определяет длину пути резца за один оборот шпинделя и подбирается с учетом справочных рекомендаций, характеристик станка и обрабатываемых деталей.

Скорость резания в точении – это расстояние, пройденное точкой режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении главного движения за единицу времени. Обозначается символом V и измеряется в метрах в минуту, м/мин. Скорость резания при точении рассчитывается по формуле

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000},$$

где V – скорость резания;

π – 3,14;

D – диаметр обрабатываемой поверхности;

n – число оборотов.

Глубина резания определяется как расстояние, на которое режущий инструмент проникает в материал, создавая разницу между обрабатываемой и обработанной поверхностями. При обтачивании заготовки на токарном станке вдоль ее оси вращения глубина резания вычисляется как половина разницы между диаметрами:

$$t = \frac{D - d}{2},$$

где t – глубина резания;

D – диаметр до обработки;

d – диаметр обработанный.

Частота вращения шпинделя n , мин⁻¹:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}.$$

Основное время обработки детали T_0 , мин, – время, в течение которого происходит процесс снятия стружки:

$$T_0 = \frac{L}{Sn},$$

где L – длина рабочего хода инструмента, мм.

При осуществлении обработки с торца заготовки в направлении, перпендикулярном оси вращения, глубина резания определяется толщиной удаляемого слоя материала. Этот этап токарного процесса известен как подрезание.

Инструменты, применяемые для проведения токарных процессов, известны как режущие инструменты. При работе на токарных станках используются разнообразные

режущие инструменты: резцы (рисунок 3.2.7), сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки, головки для нарезки резьбы и т.д.

Под воздействием усилия на режущий инструмент его режущая кромка вступает в контакт с заготовкой, передняя поверхность инструмента постоянно сдвигает слой материала вперед и, преодолевая силы сцепления его частиц, отделяет их в виде стружки от основной массы. Слой материала, который удаляется в процессе обработки, называется припуском. Все методы обработки материалов, основанные на удалении припуска и образовании стружки, классифицируются как резание заготовки. Процесс резания происходит при наличии движений: основного движения – вращения заготовки и поступательного движения режущего инструмента, называемым движением подачи, которое может осуществляться вдоль или поперек изделия, а также под постоянным или изменяющимся углом к оси вращения изделия. Вращение заготовки называется основным движением, так как оно происходит с большей скоростью.



Рисунок 3.2.7 – Резцы, применяемые при токарных работах

Токарный резец (режущий инструмент) состоит из режущей части – лезвия резца, которое осуществляет процесс резания, и державки, которая используется для закрепления резца в резцедержателе (рисунок 3.2.8).

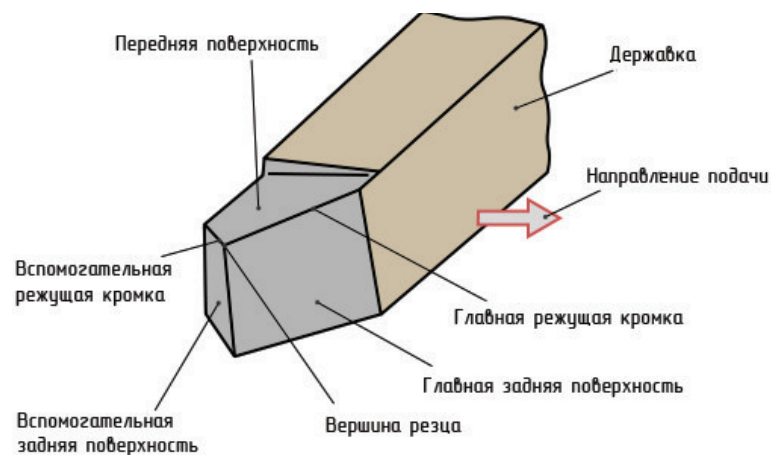


Рисунок 3.2.8 – Элементы токарного резца

Главной рабочей частью резца является головка, режущие свойства которой определяют углы кромок. Именно углы токарного резца определяют характер съема материала с заготовки.

Рассмотрим более подробно углы резца токарного станка и их назначение (рисунок 3.2.9): α – угол, расположенный между главной задней плоскостью и плоскостью резания; β – образован сторонами клина резца (незначительные величины угла упрощают вхождение инструмента в металл, большие – наоборот); γ – измеряется между плоскостью, находящейся под углом 90° к плоскости реза, которая проходит по кромке резца, именной главной, с одной стороны, и передней поверхностью инструмента – с другой; δ – рекомендуемое значение задано диапазоном $60-100^\circ$. Данным углом задается глубина, легкость проникновения резца

в толщину материала обрабатываемой детали. Фактическое значение определяется суммой величин углов $\alpha + \beta$.

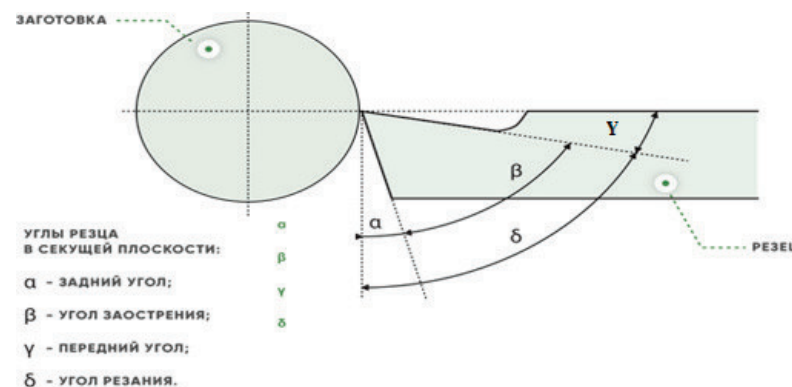


Рисунок 3.2.9 – Углы резца токарного станка

Основным способом обеспечения нужной геометрии инструмента, включая углы, под которыми расположены поверхности его лезвия, является процесс заточки резцов (рисунок 3.2.10).

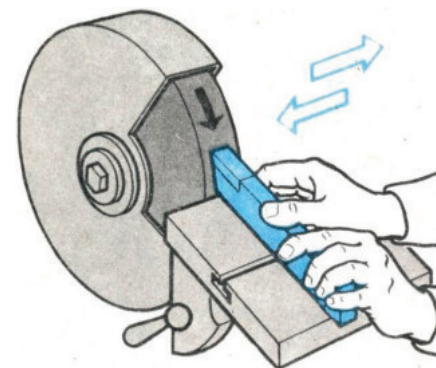


Рисунок 3.2.10 – Заточка резцов на точильном станке

Заточка необходима как в процессе производства инструментов, так и в случае их износа, который возникает в результате трения стружки о переднюю поверхность лезвия и заднюю поверхность заготовки. Нельзя продолжать работу с изношенным инструментом, так как это существенно снижает качество и точность обработки изделий.



Рисунок 3.2.11 – Модульный токарный станок

В учебных целях применим многофункциональный конструктор модульных станков, который обеспечивает сборку полноценно работающего устройства, позволяющего обрабатывать различные пластиковые, деревянные заготовки и заготовки из мягких цветных металлов (рисунок 3.2.11). Конструктор позволяет собрать токарный станок для обработки дерева и металла. При этом отсутствуют принципиальные отличия от профессионального оборудования, т.е. теоретически нет различий между портативными многофункциональными станками и полноразмерными профессиональными. Оба типа станков содержат одинаковые основные узлы – приводы, кулачковые патроны, направляющие и т.п. Различия заключаются в габаритах и точности

станков. Портативные многофункциональные станки могут обрабатывать различные типы древесины, а также мягкие металлы, такие как латунь, медь, алюминий и драгоценные материалы (золото и серебро).

В процессе обучения появляются следующие возможности:

- на практике изучить способы и особенности механической обработки различных материалов: древесины, полимеров, мягких металлов;
- разобраться в общей архитектуре и особенностях различных станков, узнать, из каких деталей и узлов состоит станок, познакомиться со способами крепления заготовок;
- для осуществления работы классы оснащены малошумными электродвигателями.

Задания для самопроверки

Тест. Токарный станок. Основные термины, закрепление изученного.

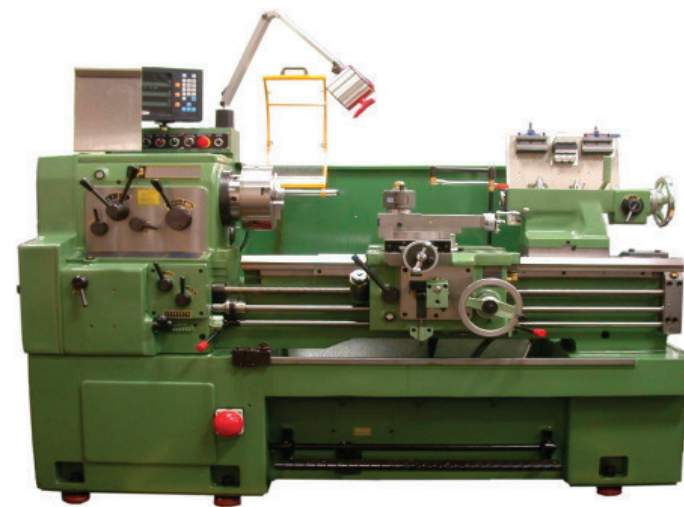


Рисунок 3.2.12 – Токарный станок

Укажите на изображении типового токарного станка (рисунок 3.2.12) следующие компоненты: станина; шпиндель; передняя бабка; задняя бабка; суппорт с фартуком и кареткой; пиноль; каретка.

Ответы на тест: см. рисунок 3.2.5.

Задачи на расчет параметров резания

Задача 3.2.1

Определить глубину резания t при обтачивании заготовки диаметром D на токарном станке в два перехода. При переходе предварительной обработки заготовка обтачивается до D_1 , а при окончательной обработке – до D_2 . Данные к задаче представлены в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1 – Исходные параметры

Номер варианта	D , мм	D_1 , мм	D_2 , мм	Номер варианта	D , мм	D_1 , мм	D_2 , мм
1	188	182	180	6	87	81,5	80
2	67	61,5	60	7	216	208	206
3	56	51	50	8	50	43,5	42
4	120	114	112	9	140	132	130
5	95	88,5	87	10	73	66,5	65

Задача 3.2.2

Определить скорость главного движения резания при обработке заготовки диаметром D (мм) на токарном станке с частотой вращения шпинделя n , мин⁻¹. Данные к задаче представлены в таблице 3.2.2.

Таблица 3.2.2 – Исходные параметры

Номер варианта	D , мм	n , мин ⁻¹	Номер варианта	D , мм	n , мин ⁻¹
1	80	860	6	180	315
2	150	315	7	30	2000
3	45	1600	8	95	630
4	70	1250	9	110	400
5	220	250	10	60	1000

Задача 3.2.3

Определить частоту вращения шпинделя станка n , мин⁻¹, при обтачивании заготовки диаметром D , мм, на токарном станке со скоростью главного движения резания V , м/мин. Данные к задаче представлены в таблице 3.2.3.

Таблица 3.2.3 – Исходные параметры

Номер варианта	D , мм	V , м/мин	Номер варианта	D , мм	V , м/мин
1	140	88	6	64	200
2	37	233	7	160	80
3	90	177	8	54	170
4	120	119	9	43	216
5	72	280	10	210	133

С решением задач вы можете ознакомиться по QR-коду.



Задача 3.2.4

Расчетная, представлена в базовом и продвинутом уровнях.

Базовый уровень

На токарном станке обрабатывают цилиндрические поверхности заготовки А, отмеченные зелеными линиями, чтобы получить размеры детали Б (рисунок 3.2.6). Обработку выполняют в один проход. Определить чистое время точения двух поверхностей.

Известно, что скорость резания – 120 м/мин; подача резца – 0,12 мм/об.

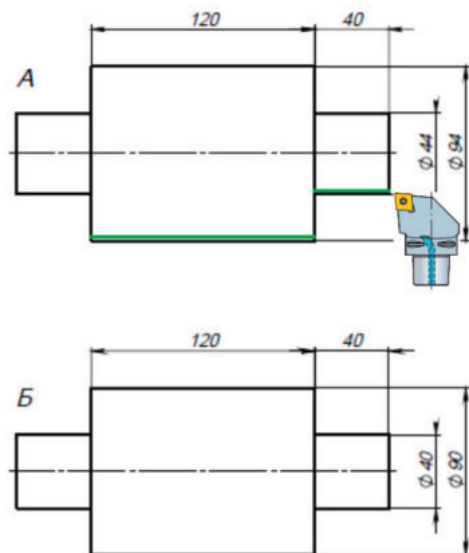


Рисунок 3.2.6 – Схема обработки детали

Продвинутый уровень

На токарном станке обрабатывают цилиндрические поверхности заготовки А, отмеченные зелеными линиями, чтобы получить размеры детали Б (рисунок 3.2.7). Обработку выполняют в два прохода. Первый сьем черновой – 1,5 мм, второй чистовой – 0,5 мм. Определить время выполнения токарной обработки.

Известно, что черновое точение: скорость резания – 120 м/мин; подача резца – 0,12 мм/об; чистовое точение: скорость резания – 160 м/мин; подача резца – 0,08 мм/об. Отвод резца от детали и подвод резца к детали – 3 мм. В начале токарной обработки резец находится в 100 мм от торца заготовки. Скорость маневрового перемещения резца – 0,3 м/с.

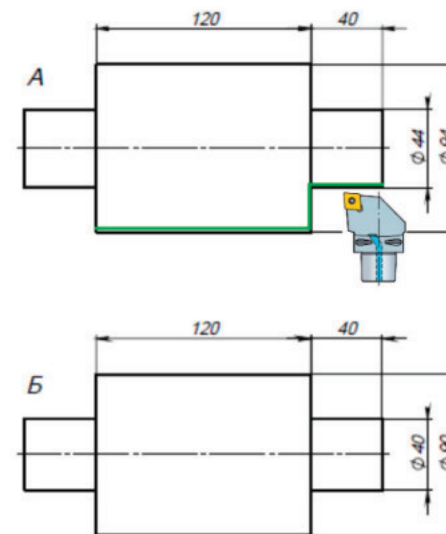


Рисунок 3.2.7 – Схема обработки детали

3.2.2 Оборудование и технология фрезерной обработки материалов

Фрезерование – тип обработки материала резанием, в процессе которого инструмент (фреза) совершает вращательное движение относительно обрабатываемой заготовки, закрепленной на рабочем столе станка. При этом заготовку перемещают вертикально либо под углом оси вращения фрезы в двух направлениях. Возможные схемы процесса представлены на рисунке 3.2.13.

Фрезерование используется в большом количестве отраслей и сфер промышленности. Технология применяется для множества типов материалов, таких как металлы, дерево, пластмассы и т.д.

Производимые детали зачастую представляют собой сложные поверхности с уникальной геометрией, с комбина-

цией разных элементов: пазов, отверстий, выступов, углублений и т.д. Такие детали изготавливают на фрезерных станках с использованием комбинаций различных инструментов. Фрезерные станки имеют большое количество разных конфигураций. Наиболее распространенными являются вертикальные, горизонтально-фрезерные и продольно-фрезерные (рисунок 3.2.14).

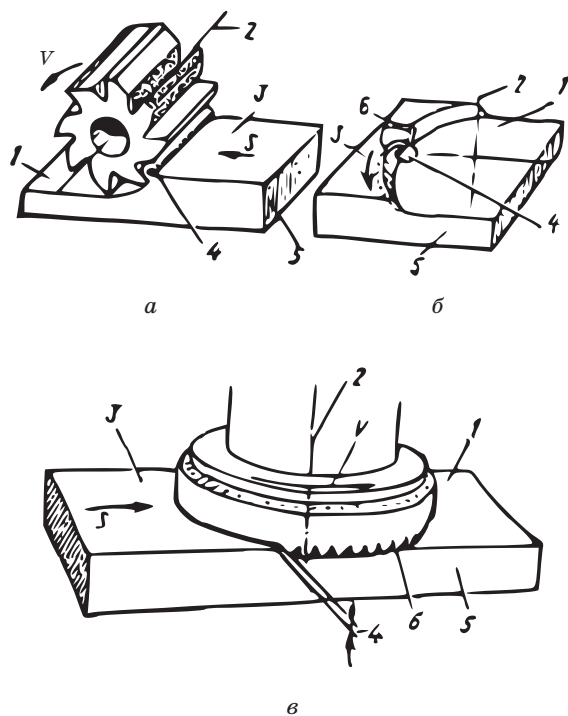


Рисунок 3.2.13 – Схемы фрезерования:
а – цилиндрическое; *б* – торцовое фрезерование;
 1 – обработанная поверхность; 2 – ось вращения фрезы; 3 – обрабатываемая поверхность;
 4 – стружка; 5 – заготовка; 6 – нож фрезы

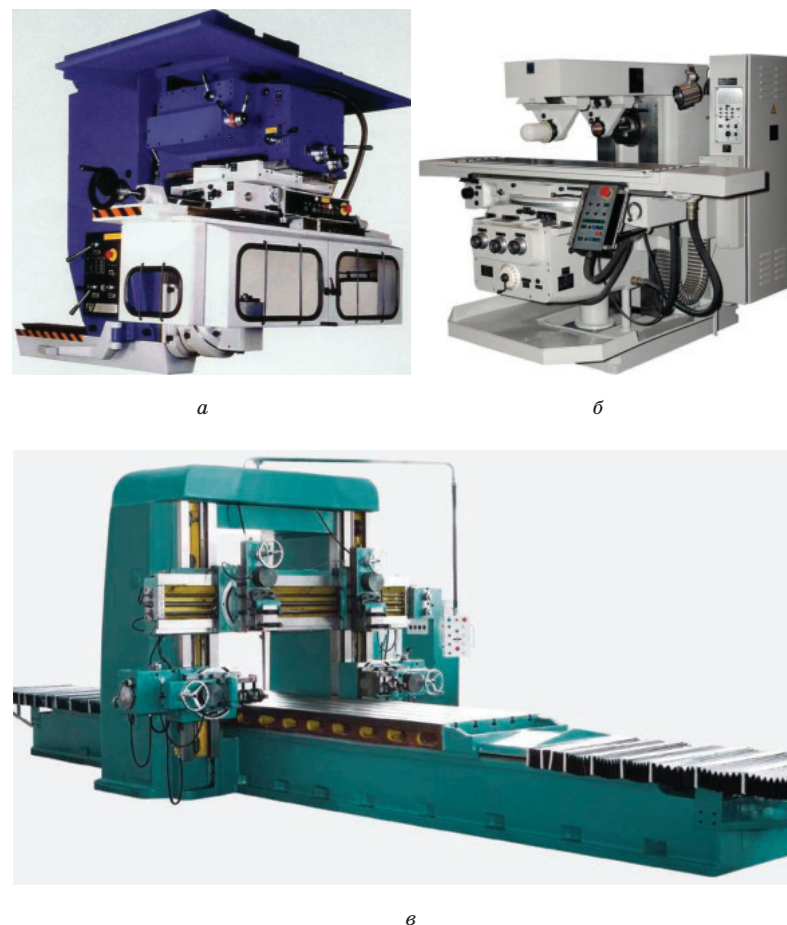


Рисунок 3.2.14 – Разновидности фрезерных станков: *а* – вертикально-фрезерный станок;
б – горизонтально-фрезерный станок;
в – продольно-фрезерный станок

Одним из распространенных станков является горизонтальный консольно-фрезерный станок (рисунок 3.2.15).

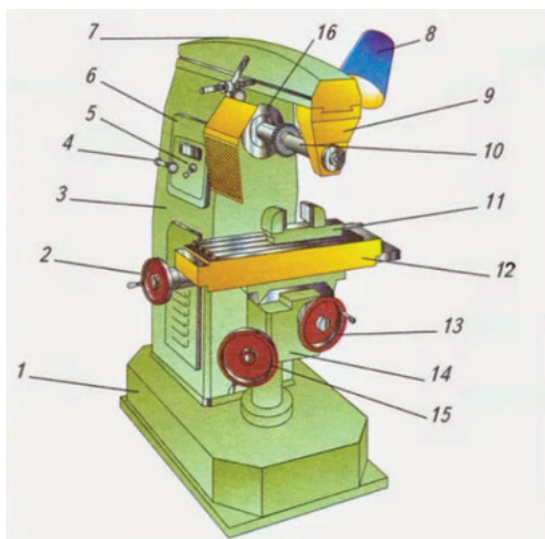


Рисунок 3.2.15 – Схема устройства горизонтального консольно-фрезерного станка:
 1 – основание; 2 – маховик продольной подачи;
 3 – консоль; 4 и 5 – рукоятки;
 6 – коробка скоростей; 7 – хобот, установленный в направляющих типа «ласточкин хвост»;
 8 – светильник; 9 – серьга; 10 – оправка с зажимными втулками для закрепления фрезы;
 11 – тиски; 12 – стол; 13 – маховик поперечной подачи; 14 – консоль; 15 – маховик вертикальной подачи; 16 – шпиндель

Рассмотрим описание составных частей фрезерного станка.

1. Основание (опорная плоскость) представляет собой цельную конструкцию из чугуна. Опорная плоскость требуется для установки станины. Зону между станиной и опорной плоскостью занимают емкость для смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) и электрический насос. Также

основание выступает базовой деталью для установки корпусных элементов и приводов.

2. Станина – это литая или сварная конструкция, предназначенная для соединения всех узлов станка. Литые станины делают из чугуна, а сварные – из стали. Внутри станины зачастую установлены передаточный механизм и электрооборудование.

3. Направляющие – это части станка, отвечающие за перемещение инструментов и заготовки по осям оборудования. Направляющие устанавливают на станину. Для их изготовления используют высоколегированные стали. От качества изготовления направляющих зависит точность будущей обработки.

Консоль – это деталь, характерная для фрезерных станков консольного типа. На консоли располагаются коробка передач, а также салазки, по которым движется рабочий стол с закрепленной заготовкой. Движение консоли осуществляется параллельно станине по направляющим.

5. Электрооборудование фрезерного станка включает:

- приводы главного и вспомогательного движения, приводы подачи;
- электронное управление системой, освещение рабочей зоны;
- система оповещения о неисправностях.

6. Шпиндель – это один из ключевых узлов станка. Шпиндель придает вращательное движение режущему инструменту, поэтому точность его изготовления и качество материалов во многом определяют качество фрезерной обработки. Шпиндель состоит из полого вала с коническим отверстием под оправку для установки фрезы и поддерживающей серьги, закрепленной в хоботе.

7. Ползун (хобот) – это часть станка для корректной установки серьги, поддерживающей шпиндель с оправкой.

8. Коробка скоростей – узел, обеспечивающий изменение передаточного отношения между двигателем и шпинделем как следствие изменения частоты вращения шпинде-

ля. Зачастую коробка передач состоит из двухступенчатого цилиндрического зубчатого зацепления.

9. Стол фрезерного станка обеспечивает закрепление заготовок для последующей обработки. Стол представляет собой ровную плоскость с пазами для закрепления оснастки. От того, насколько точно изготовлен стол, зависит точность получаемой детали. Стол имеет возможность перемещаться в нескольких направлениях: продольном, поперечном и вертикальном. Перемещение осуществляется с помощью маховика передач «винт – гайка». Шаг перемещения контролируется вращением лимба (детали в виде кольца с делениями, соединенной с винтом стола).

10. Органы управления станка представляют собой пульты – кнопки, рукоятки с дублирующим расположением, что позволяет управлять станком как спереди, так и сбоку. Механизмы управления зачастую предусматривают полуавтоматический режим для упрощения труда рабочего. В станках заложен автоматический цикл, который настраивается под каждую работу индивидуально и используется только в серийном производстве. В единичном производстве целесообразно управлять станком вручную, регулируя скорость подачи.

Технологическая оснастка оборудования – общий термин для используемых приспособлений, широко используемых в процессе обработки деталей (рисунок 3.2.16). К оснастке принято относить три группы инструментов:

- обрабатывающий (режущий) инструмент – фрезы различных конфигураций;
- инструмент для закрепления – оснастка для закрепления фрез, которая используется для определенной установки фрез в процессе наладки оборудования;
- инструмент для установки заготовки – приспособления, используемые для закрепления заготовок: машинные тиски, делительные головки, поворотные столики, прижимы и упоры и т.д. К ним также относятся специальные приспособления, которые изготавливаются под серийные изделия.



Рисунок 3.2.16 – Технологическая оснастка:

- а* – режущий инструмент; *б* – инструмент для закрепления фрезерного инструмента;
- в* – инструмент для установки заготовки

Оснастка для закрепления инструмента в шпиндель делится на две группы:

- насадная – режущие инструменты закрепляются с помощью оправки;
- концевая – в шпиндель устанавливается цанговый патрон с набором цанг, которые позволяют зажимать инструмент с разными посадочными диаметрами. Такая оснастка используется наиболее часто благодаря возможности установки не только фрезерного инструмента, но и других режущих инструментов: сверл, разверток, метчиков, зенковок, зенкеров и т.д.

Станки, комбинирующие в себе фрезерную и сверлильную функции, получили широкое распространение благодаря их универсальности. Такое оборудование позволяет не только фрезеровать детали, но и сверлить, разворачивать, нарезать резьбы и т.д. К ним относится сверлильно-фрезерный станок (рисунок 3.2.17).

Сверлильно-фрезерные станки практически не отличаются от обычных фрезерных станков. Основным отличием является то, как закрепляется инструмент в шпинделе, который располагается вертикально по отношению к рабочему столу.

Наибольшее распространение получили настольные сверлильно-фрезерные станки (см. рисунок 3.2.17). Такой станок очень компактен и пригоден для использования в небольших помещениях.



Рисунок 3.2.17 – Общий вид сверлильно-фрезерного станка

Для обучения школьников используют модульный многофункциональный конструктор станков. Такой конструктор позволяет собрать станки различных конфигураций, по свойствам и управлению не сильно отличающиеся от профессионального оборудования. Такие станки имеют возможность обрабатывать пластиковые, деревянные и металлические заготовки (рисунок 3.2.18).

Фрезерные станки имеют широкий спектр применения и возможностей. Оборудование позволяет обрабатывать плоские либо фасонные поверхности, резать резьбы, производить сверлильные и расточные работы, а также резать шлицы и зубья.

Рабочими инструментами являются фрезы, сверла, метчики, развертки. Рассмотрим подробнее основные операции обработки на станках.



Рисунок 3.2.18 – Учебный модульный горизонтальный фрезерный станок

1. Фрезерование:

- торцевое фрезерование – это обработка заготовки нижней и боковой частью фрезы, с помощью такого вида обработки удобно получать канавки, подсечки боковых поверхностей;
- концевое фрезерование – это обработка заготовки нижней и боковой частью фрезы для формирования вертикальных и горизонтальных уступов;
- фасонное фрезерование – тип обработки специальными фрезами, задающими определенную геометрию уступов и канавок.

2. Сверление – обработка поверхности нижней режущей частью сверла для образования отверстий.

3. Развертывание – обработка боковой частью и нижней гранью развертки для получения чистой поверхности отверстия нужного диаметра.

4. Нарезание резьбы – обработка боковой и нижней частью метчика для формирования профиля резьбы в отверстии.

При фрезеровании движение режущего инструмента может быть встречным по отношению к движению заготовки либо попутным. Оба метода активно используют в процессе обработки (рисунок 3.2.19).

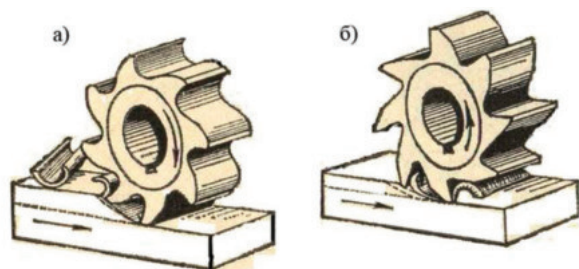


Рисунок 3.2.19 – Методы фрезерования:
а – встречный метод; б – попутный метод

При встречном движении инструмента к ходу подачи заготовки возможно плавно увеличивать глубину врезания инструмента. Данный метод отлично подходит для черновой обработки, так как поверхность получается низкого качества.

При обработке попутным методом нагрузка на врезание инструмента значительно больше, что накладывает ограничения на применение этого метода. После такой обработки поверхность получается более качественной, поэтому этот метод в основном используют для придания чистовой поверхности детали.

Оба варианта обработки предполагают движение стола с закрепленной на нем деталью и вперед, и назад. Таким образом, можно делать сразу и черновую, и чистовую фрезеровку.

Существует два основных вида фрезерования:

- цилиндрическое – действия проводятся зубьями, которые находятся на цилиндрической поверхности фрезы; при этом ось фрезы располагается параллельно грани, проходящей обработку;

- торцевое – действия проводятся зубьями, которые находятся и на торце, и на цилиндрической поверхности фрезы; при этом ось инструмента располагается перпендикулярно грани, проходящей обработку.

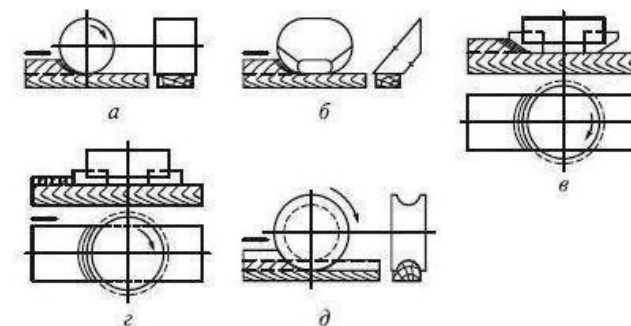


Рисунок 3.2.20 – Виды фрезерования древесины:
а – цилиндрическое; б – коническое;
в – торцевое; г – торцово-коническое; д – фасонное

Фрезерование древесины в общем случае – это резание ее вращающимися фрезами, при котором траекторией резания является сложная кривая. Различают несколько видов фрезерования древесины (рисунок 3.2.20):

- цилиндрическое – фрезерование, при котором ось вращения инструмента параллельна поверхности обработки, а лезвия резцов описывают в пространстве цилиндрические поверхности;

- коническое – производится инструментом, ось вращения которого наклонена под углом к поверхности обработки, а лезвия резцов описывают в пространстве коническую поверхность;

- торцевое – происходит, когда ось вращения инструмента перпендикулярна поверхности обработки, боковые лезвия резцов описывают в пространстве цилиндрические поверхности, а торцевые – поверхность кольца или круга;

- торцово-коническое фрезерование происходит аналогично торцовому фрезерованию, но лезвия резцов описывают в пространстве коническую поверхность.

Ассортимент фрезерного инструмента достаточно велик, основные его виды представлены на рисунке 3.2.21.

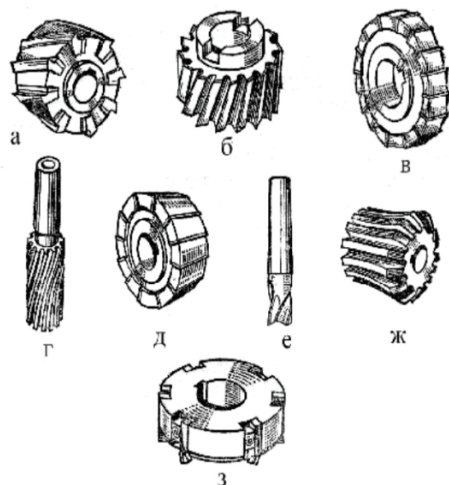


Рисунок 3.2.21 – Основные виды фрез:

а – цилиндрическая; *б* – торцевая; *в* – дисковая;
г – концевая; *д* – угловая; *е* – шпоночная;
ж – фасонная; *з* – торцевая с вставными ножками

Изготавливаются фрезы из инструментальной и быстрорежущей стали и металлокерамических сплавов. Фрезы на основе сталей изготавливают методом резания и шлифовки. Такие фрезы отличаются относительной упругостью, но недостаточно быстро изнашиваются. Фрезы из металлокерамики получают в процессе спекания порошка и последующей шлифовки. Твердосплавные фрезы отличаются высокой износостойкостью, но крайне хрупкие. На современные фрезы из твердых сплавов часто наносят дополнительные

покрытия для увеличения срока эксплуатации и повышения режущих свойств.

Установка фрезы производится либо на оправку, либо в цанговый зажимной патрон, в первом случае фреза фиксируется гайкой и шпонкой, а во втором – зажимом цангой.

Расчет параметров фрезерования. Фреза представляет собой многолезвийный инструмент с рабочей частью и хвостовиком для закрепления в шпинделе (рисунок 3.2.22).

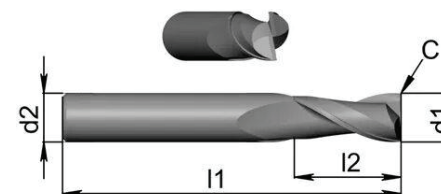


Рисунок 3.2.22 – Ключевые параметры концевой фрезы

При расчете фрезерования используют ряд важных параметров:

- глубина резания при фрезеровании t , мм, – это расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями; величина этого параметра зачастую зависит от типа фрезерования, чистовой или черновой обработки;
- ширина фрезерования B , мм, – это поверхность заготовки, обработанная за один рабочий ход;
- подача на зуб S_z , мм/зуб, – величина перемещения стола станка с обрабатываемой заготовкой или фрезы за время поворота ее на один зуб;
- обратная подача S_0 , мм/об, – величина перемещения стола станка с обрабатываемой заготовкой или фрезы за один оборот фрезы:

$$S_0 = S_z \cdot z,$$

где z – число зубьев фрезы;

- минутная подача S_m , мм/мин, величина перемещения стола станка с обрабатываемой заготовкой или фрезы за одну минуту:

$$S_m = S_0 \cdot n; S_m = S_z \cdot n \cdot z.$$

Скорость резания V_p , м/мин:

$$V_p = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^X \cdot S_z^y \cdot B^И \cdot Z^q} K_v,$$

где K_v – общий поправочный коэффициент;

T^m – период стойкости фрезы, мин.

Значения коэффициента C_v и показателей степеней являются табличными (таблица 3.2.4).

Таблица 3.2.4 – Значения коэффициента C_v и показателей степеней в формуле определения скорости резания V_p в зависимости от условий обработки

Тип фрезы, материал	C_v	q	X	y	И	m
Обработка стали						
Торцовые Т15К6	332	0,2	0,1	0,4	0,2	0,2
Цилиндрические Т15К6	616	0,17	0,2	0,3	0,08	0,33
Цилиндрические Р6М5	36	0,45	0,3	0,4	0,1	0,33
Дисковые Т15К6	1300	0,2	0,4	0,12	0	0,35
Дисковые Р6М5	69	0,25	0,3	0,2	0,1	0,2
Концевые напайные Т15К6	150	0,44	0,24	0,26	0,1	0,37
Концевые цельные Р6М5	48	0,45	0,5	0,5	0,1	0,33
Прорезные и отрезные Р6М5	53	0,25	0,3	0,2	0,2	0,2
Обработка чугуна						
Торцовые ВК6	445	0,2	0,15	0,35	0,2	0,3
Цилиндрические ВК6	1180	0,37	0,4	0,2	0,23	0,42
Цилиндрические Р6М5	58	0,7	0,5	0,2	0,3	0,25
Дисковые Р6М5	72	0,2	0,5	0,4	0,1	0,15
Концевые цельные Р6М5	72	0,7	0,5	0,2	0,3	0,25
Прорезные и отрезные Р6М5	30	0,2	0,5	0,4	0,2	0,15

Окончание таблицы 3.2.4

Тип фрезы, материал	C_v	q	X	y	И	m
Обработка алюминиевых сплавов						
Торцовые Р6М5	155	0,25	0,1	0,4	0,15	0,2
Цилиндрические Р6М5	134	0,45	0,3	0,4	0,1	0,2
Дисковые Р6М5	183	0,25	0,3	0,4	0,1	0,2
Концевые цельные Р6М5	186	0,45	0,3	0,2	0,1	0,33
Прорезные и отрезные Р6М5	200	0,25	0,3	0,2	0,2	0,2

Значение поправочного коэффициента рассчитывается по формуле

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{ПВ} \cdot K_{ИВ},$$

где K_{MV} – коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал;

$K_{ПВ}$ – коэффициент, учитывающий состояние поверхности;

$K_{ИВ}$ – коэффициент учитывающий материал инструмента.

Значения коэффициентов выбирают из таблиц 3.2.5–3.2.7.

Таблица 3.2.5 – Поправочный коэффициент K_{MV} , учитывающий влияние обрабатываемого материала при расчете скорости резания

Обрабатываемый материал	Значение поправочного коэффициента K_{MV}					
Сталь $\sigma_{вр} = 750$ МПа	Т5К12М	Т5К10	Т14К8	Т15К6	Т30К4	ВК8
	0,35	0,65	0,8	1,0	1,4	0,4
Чугун серый, 190 НВ	ВК8	ВК6	ВК4	ВК3		
	0,83	1,0	1,1	1,15		
Алюминиевые и медные сплавы	Р6М5	ВК4	ВК6	9ХС	У12А	
	1,0	2,5	2,7	0,6	0,5	

Таблица 3.2.6 – Поправочный коэффициент $K_{ПВ}$, учитывающий состояние поверхности заготовки при расчете скорости резания

Без корки	С коркой			
	Прокат	Поковка	Стальные и чугунные отливки	
			нормальные	сильно загрязненные
1,0	0,9	0,8	0,80–0,85	0,5–0,6

Таблица 3.2.7 – Поправочный коэффициент $K_{ИВ}$, учитывающий влияние материала инструмента при расчете скорости резания

Обрабатываемый материал	Значение коэффициента $K_{ИВ}$ в зависимости от марки инструментального материала						
Сталь конструкционная	T5K12B 0,35	T5K10 0,65	T14K8 0,8	T15K6 1,00	T15K6T 1,15	T3QK4 1,4	BK8 0,4
Сталь закаленная	HRC 35-50				HRC 51-62		
	T15K6 1,0	T3OK4 1,25	BK8 0,85	BK8 0,83	BK4 1,0	BK6 0,92	BK8 0,74
Серый и ковкий чугун	BK8 0,83	BK6 1,0	BK4 1,1	BK3 1,15	BK3 1,25	–	
Медные и алюминиевые сплавы	P18, P9 1,0	BK4 2,5	BK6 2,7	9XC 0,6	XBG 0,6	Y12A 0,5	

После того как произвели расчет скорости резания нужно рассчитать частоту вращения шпинделя:

$$n_p = \frac{V_p \cdot 1000}{\pi \cdot D},$$

где D – диаметр фрезы, мм;
 $\pi = 3,14$.

Значение n_p корректируется по паспортным данным станка, используемого для обработки. Берется минимальная нижняя ступень $n_{ст}$, так чтобы соответствовало выражению $n_{ст} \leq n_p$.

После корректировки частоты вращения шпинделя определяется фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{ст}}{1000}, \text{ м/мин.}$$

Тест. Устройство фрезерного станка

Указать соответствующую цифру наименования узла фрезерного станка, представленного на рисунке 3.2.23.

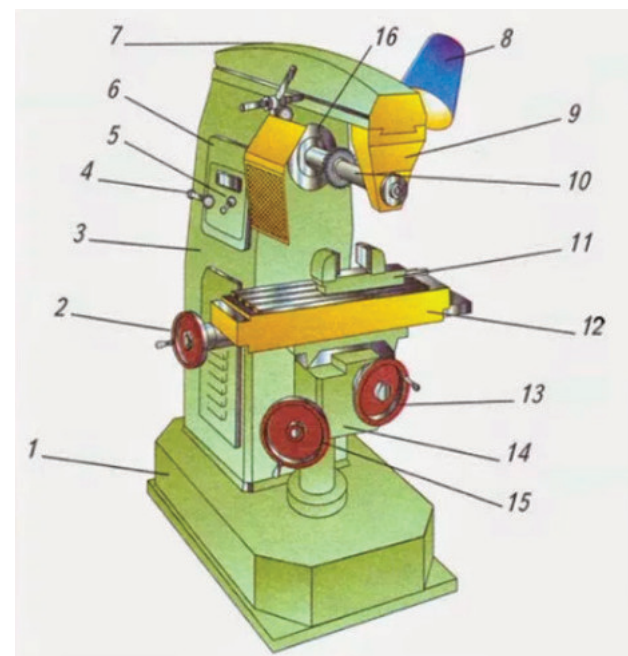


Рисунок 3.2.23 – Основные узлы фрезерного станка:

- ☐ стойка ☐ хобот ☐ серга ☐ консоль ☐ основание
☐ осветительный прибор ☐ стол ☐ продольные салазки
☐ механизмы регулирования кинематических параметров
☐ коробка скоростей ☐ панель управления ☐ корпус
☐ шпиндель ☐ оправка ☐ фреза ☐ механизм продольной подачи
☐ механизм поперечной подачи ☐ механизм вертикальной подачи ☐ машинные тиски

Задачи на расчет параметров резания фрезерного станка

Задача 3.2.5

Рассчитать фактическую скорость резания V_{ϕ} фрезерным инструментом заготовки из материала Д16Т. Расчетная скорость резания $V_p = 110$ м/мин, диаметр фрезы $D = 6$ мм, а

$$n_{\text{ст}} = 0,91 \cdot n_p.$$

Ответ округлить до целого.

Задача 3.2.6

Рассчитать паспортное значение $n_{\text{ст}}$ при фрезеровании заготовки из латуни фрезерным инструментом диаметром $D = 4$ мм. Расчетная скорость станка $V_p = 60$ м/мин, она связана с фактической скоростью резания V_{ϕ} выражением

$$V_{\phi} = 0,942 \cdot V_p.$$

Ответ округлить до целого.

3.2.3 Техника безопасности

Минимальный перечень требований, обязательных к исполнению, составлен на основе Основных требований к порядку разработки и содержанию инструкций по охране труда, разрабатываемых работодателем, утвержденных приказом Минтруда России от 29.10.2021 № 772н, Постановлением Правительства России от 24.12.2021 № 2464.

Работа с оборудованием должна осуществляться в чистом, сухом, проветриваемом помещении.

Предотвращайте несанкционированный доступ к оборудованию детей, не достигших 14 лет.

Держите оборудование в недоступном для детей месте.

Всегда при работе с оборудованием надевайте защитные очки.

Держите вдали от подвижных частей оборудования волосы и одежду.

Немедленно останавливайте станок при появлении посторонних звуков и не возобновляйте работу до обнаружения и устранения причин их возникновения.

Всегда проверяйте состояние оборудования перед первым запуском. При сборке какой-либо модели станка используйте только оригинальные детали.

С подробными требованиями по организации и охране труда можно ознакомиться по QR-кодам, приведенным ниже.

Техника безопасности при работе с токарным оборудованием. Техника безопасности при работе на токарном станке для обучающихся представлена при переходе по QR-коду (рисунок 3.2.24).

Техника безопасности при работе с фрезерным оборудованием. Общая техника безопасности при работе на фрезерных станках для обучающихся представлена при переходе по QR-коду (рисунок 3.2.25).



Рисунок 3.2.24 – Техника безопасности при работе на токарном станке для обучающихся



Рисунок 3.2.25 – Общая техника безопасности при работе на фрезерных станках

Тест. Техника безопасности

1. Что из перечисленного ниже является ошибочным в общих требованиях охраны труда?

а) при работе на фрезерном станке должна использоваться следующая спецодежда и индивидуальные средства защиты: халат хлопчатобумажный, берет, защитные очки;

б) обучающиеся должны соблюдать порядок выполнения работы, правила личной гигиены, содержать в чистоте рабочее место;

в) в учебной мастерской должна быть медицинская аптечка с набором необходимых медикаментов и перевязочных средств для оказания первой помощи при травмах;

г) обучающиеся, допустившие невыполнение или нарушение инструкции по охране труда, не обязаны проходить дополнительный инструктаж.

2. Что из нижеперечисленного является недопустимым перед началом фрезерования?

а) разложить инструменты и заготовки в определенном установленном порядке на тумбочке или на особом приспособлении, убрать все лишнее;

б) зафиксировать заготовку руками и плавно приступить к работе;

в) проверить работу станка на холостом ходу;

г) надеть спецодежду, волосы тщательно заправить под берет.

3. Что из нижеперечисленного является недопустимым в процессе фрезерования?

а) наклонять голову близко к фрезе или движущейся детали;

б) измерять обрабатываемую деталь и не смазывать, не чистить и не убирать стружку до полной остановки станка;

в) останавливать станок путем торможения вращающейся фрезы рукой;

г) все перечисленное.

4. Что из нижеперечисленного является недопустимым в аварийной ситуации?

а) при неисправности заземления корпуса станка прекратить работу, отвести фрезу от обрабатываемой детали, выключить станок и сообщить об этом учителю;

б) при отключении питания станка завершить обработку определенного участка до тех пор, пока не остановится фреза;

в) при получении травмы сообщить об этом учителю;

г) при загорании электрооборудования станка немедленно выключить станок и приступить к тушению очага возгорания углекислотным, порошковым огнетушителем или песком.

5. Что из нижеперечисленного не запрещено по окончании работы на фрезерном станке?

а) тщательно вымыть станок с мылом, чтобы полностью убрать загрязнения;

б) оставить фрезу и заготовку на месте, для следующих учащихся;

в) протереть и смазать станок, промасленную ветошь убрать в металлический ящик с крышкой;

г) промыть руки с растворителем, чтобы полностью избавиться от загрязнений.

3.2.4 Выбор режима работы оборудования при обработке резанием различных материалов

Определение режимов резания оказывает важное влияние на получение эффективных показателей при обработке. Подбор правильных режимов важно и для оборудования, слишком тяжелые режимы быстро изнашивают рабочие узлы станка, слишком слабые режимы не раскрывают полный потенциал оборудования.

Для определения режимов резания используют следующие величины: скорость резания V , подача S , глубина резания t , ширина реза B , тип материала заготовки.

Подача инструмента – величина перемещения обрабатываемой поверхности относительно оси вращения режущего инструмента. Величина подачи напрямую зависит от материала режущего инструмента, типа обработки, материала заготовки и технических характеристик станка.

Глубина резания – один из важных параметров, который стараются делать максимальным, уменьшая количество проходов, но в то же время при уменьшении количества проходов ухудшается качество обработки. В таком случае используют черновую обработку и чистовую. Ширину обрабатываемого участка нужно регулировать по глубине реза, диаметру фрезы и возможностям станка, чем меньше перекрытие фрезы на следующем проходе, тем больше вероятность получения волнообразной поверхности. Также фрезерование на весь диаметр фрезы быстро изнашивает сам инструмент. Также важным фактором для выбора ширины и глубины резания является предварительное состояние поверхности заготовки, наличие выступов, окалины, прочих дефектов.

Параметры резания различных материалов при универсальной обработке приведены в таблице 3.2.8.

Невозможно полностью исключить ошибки при подборе режима резания, многие параметры будут индивидуальными для конкретных случаев, но есть ряд рекомендаций, которые помогут в любых ситуациях:

- диаметр инструмента равен глубине реза, если данный параметр подходит для черных металлов, то для цветных есть риск обработать глубже;
- в начале обработки черновой поверхности стоит начать с минимальной подачи, чтобы избежать сильных ударов и вибраций.

Таблица 3.2.8 – Параметры резания различных материалов при универсальной обработке

Материал	Твердость или предел прочности на растяже- ние, Н/мм ²	Универсальная обработка							Тип охлаждения: Э – эмульсия М – масло В – воздух Л – лигроин
		Скорость резания, м/мин		Средняя подача, мм/зуб, диаметр					
		без уско- рения	с уско- рением	2–4	5–8	9–12	13–16	17–20	
Сталь	До 700	60–120	100–300	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	Э/М
	Свыше 700	50–80	50–140	0,015	0,03	0,04	0,05	0,06	Э/М
	До 1400	50–90	60–120	0,015	0,02	0,03	0,05	0,06	Э/М
	Свыше 1400	40–70	50–100	0,015	0,02	0,03	0,05	0,06	Э/М
	Легированные стали		70–100	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	Э/М
Закаленные стали	До 55 HRC		40–70	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	В/ЭМ
	Свыше 55 HRC		30–50	0,01	0,015	0,025	0,03	0,035	В/ЭМ

Материал	Твердость или предел прочности на растяже- ние, Н/мм ²	Универсальная обработка							Тип охлаждения: Э – эмульсия М – масло В – воздух Л – лигроин
		Скорость резания, м/мин		Средняя подача, мм/зуб, диаметр					
		без уско- рения	с уско- рением	2–4	5–8	9–12	13–16	17–20	
Чугун	До 200 НВ	70–110	100–150	0,035	0,06	0,07	0,09	0,12	В/Э
	Серый, ковкий Свыше 200 НВ	60–100	90–140	0,03	0,05	0,06	0,08	0,1	
	Стальное литье	90–140	120–180	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	Э
	Медь, желтая медь, медное литье, бронза	70–120	100–150	0,01	0,03	0,04	0,05	0,06	
Сплавы	Алюминиевый сплав	90–200	120–250	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	В/Э
	Титан, титано- вый сплав	160–300	250–600	0,04	0,06	0,08	0,15	0,2	
	Жаропрочные сплавы	20–60	30–70	0,01	0,025	0,03	0,04	0,05	Э
	Графит	30–50	40–60	0,01	0,025	0,03	0,04	0,04	
		160–260	150–900	0,01	0,02	0,03	0,045	0,06	В

Практико-ориентированное задание 3.2. Сборка токарного станка из модулей комплекта механической обработки

Цель работы: ознакомление с устройством токарного станка и принципом его работы.

Оборудование: учебный набор деталей и модулей для сборки токарного станка.

Срок выполнения работы: в течение занятия.

Ход работы:

1) изучить устройство и назначение основных узлов токарного станка;

2) определить основные виды работ, выполняемых на учебном модульном токарном станке;

3) ознакомиться с комплектацией учебного набора для сборки модульного токарного станка;

4) определить технические характеристики модульного токарного станка;

5) осуществить сборку модульного токарного станка согласно инструкции по сборке;

6) отчет: зафиксировать собранное изделие, описать последовательность сборки.

Многофункциональный конструктор модульных станков обеспечивает сборку полноценно работающего устройства, позволяющего обрабатывать различные пластиковые, деревянные заготовки и заготовки из мягких цветных металлов. Отсутствуют принципиальные отличия от профессионального оборудования. Теоретически нет различий между портативными многофункциональными станками и полноразмерными профессиональными. Оба типа станков содержат одинаковые основные узлы – приводы, кулачковые патроны, направляющие и т.д. Различия заключаются в габаритах и точности станков (рисунок 3.2.26).

Комплектация:

- универсальный блок питания (12 В, 2 А, 24 Вт);
- привод станка (мотор) (12 000–20 000 об/мин) (12 В, 500 мА/6 Вт);

- понижающий редуктор (60/23) – 1 шт., ремень привода – 2 шт.;
- стабилизирующая плита для установки и фиксации сменных модулей (металл) – 1 шт.;
- модульные станины для горизонтального и вертикального крепления (металл, пластик) – 2 шт.;
- крепежная арматура (двухсоставный соединительный сухарь) – 8 шт., набор винтов и гаек – 1 компл.;
- универсальный фиксирующий трехкулачковый патрон (металл) – 1 шт., шпиндель – 1 шт.;
- набор универсальных патронов (цанг) – 8 шт.;
- набор универсальных полировальных и шлифовальных головок – 7 шт., шлифовальный диск – 1 шт.;
- комплект инструмента для сборки – 1 шт.;
- защитные очки – 1 шт.



Рисунок 3.2.26 – Учебный модульный токарный станок: 1 – привод станка (мотор); 2 – передняя бабка; 3 – суппорт; 4 – задняя бабка; 5 – станина

Токарный станок (дерево): для обработки заготовок из различных сортов древесины (диаметром 50 мм и длиной 135 мм) ручным резцом. На станке реализуется возможность изготовления деталей конусовидной и цилиндрической формы, подрезания торцов, а также осуществления осевого сверления.

Токарный станок (металл): для обработки заготовок из мягких цветных металлов и пластмассы (диаметром 50 мм и длиной 135 мм) резцом, устанавливаемым на поперечном суппорте. На станке реализуется возможность изготовления деталей конусовидной и цилиндрической формы, осевого сверления.

Практико-ориентированное задание 3.3. Получение изделия типа тела вращения на токарном станке из модулей комплекта механической обработки

Цель работы: получение практических навыков работы на токарном станке.

Название детали: пластиковый или деревянный цилиндрический колпачок.

Срок выполнения: в течение занятия.

Описание: необходимо изготовить цилиндрический колпачок из пластика или дерева, который будет использоваться в качестве заглушки для мебельного изделия.

Требование к детали:

1) материал: пластик или дерево;

2) габаритные размеры:

- диаметр колпачка – 30 мм;
- высота колпачка – 20 мм;

3) форма и отделка:

- колпачок должен иметь гладкую цилиндрическую форму без выступающих элементов;
- поверхность должна быть обработана до гладкости, пригодной для декоративного использования.

Примечание.

1. Для изготовления колпачка можно использовать пластиковый пруток или заготовку из дерева.

2. Обработка детали должна проводиться с учетом безопасности и предотвращения повреждений материала.

3. Предпочтительно использовать небольшие скорости резания и подачи при обработке пластиковой заготовки.

4. По окончании изготовления детали предоставить отчет с описанием используемых инструментов и процесса обработки.

Контроль качества и измерения: использовать измерительный инструмент (штангенциркуль) для проверки размеров детали.

Отчетность: предоставить краткий отчет о выполненной работе с описанием процесса изготовления и фотографиями изделия.

Практико-ориентированное задание 3.4. Сборка фрезерного станка из модулей комплекта механической обработки

Цель работы: ознакомление с устройством фрезерного станка и принципом его работы.

Оборудование: учебный набор деталей и модулей для сборки фрезерного станка.

Время на выполнения работы: в течение занятия.

Ход работы:

1) ознакомиться с комплектацией учебного набора для сборки модульного фрезерного станка;

2) определить основные виды работ, выполняемых на учебном модульном фрезерном станке;

3) определить технические характеристики модульного фрезерного станка;

4) осуществить сборку модульного фрезерного станка согласно инструкции по сборке;

5) отчет: зафиксировать собранное изделие, описать последовательность сборки.

Состав набора достаточно разнообразен, представлен на рисунке 3.2.27. Многофункциональный конструктор модульных станков обеспечивает сборку полноценно работающего устройства, позволяющего обрабатывать различные пластиковые, деревянные заготовки и заготовки из мягких цветных металлов. Отсутствие принципиальных отличий от профессионального оборудования.



Рисунок 3.2.27 – Комплектующие модульного станка The First Tool TC-61Д 6в1

Многофункциональный конструктор модульных станков обеспечивает сборку полноценно работающего устройства, позволяющего обрабатывать различные пластиковые, деревянные заготовки и заготовки из мягких цветных металлов. Отсутствие принципиальных отличий от профессионального оборудования. Теоретически нет различий

между портативными многофункциональными станками и полноразмерными профессиональными. Оба типа станков содержат одинаковые основные узлы – приводы, кулачковые патроны, направляющие и т.д. Различия заключаются в габаритах и точности станков (рисунок 3.2.28).

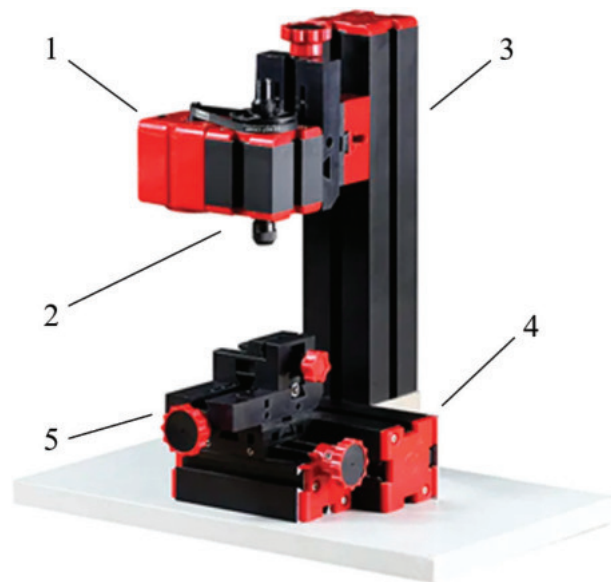


Рисунок 3.2.28 – Учебный модульный фрезерный станок: 1 – привод станка (мотор);

2 – редуктор, шпиндель; 3 – вертикальная стойка с поворотным механизмом;

4 – Основание фрезерного станка;

5 – направляющие и машинные тиски для закрепления заготовки

Комплектация фрезерного станка:

- универсальный блок питания (12 В, 2 А, 24 Вт);
- привод станка (мотор) (12 000–20 000 об/мин) (12 В, 500 мА/6 Вт);

- редуктор (60/23) – 1 шт., ремень привода – 2 шт.;
- стабилизирующая плита для установки и фиксации сменных модулей (металл) – 1 шт.;
- модульные станины для горизонтального и вертикального крепления (металл, пластик) – 2 шт.;
- крепежная арматура (двухсоставный соединительный сухарь) – 8 шт., набор винтов и гаек – 1 компл.;
- шпиндель – 1 шт.;
- набор универсальных патронов (цанг) – 8 шт.;
- набор универсальных полировальных и шлифовальных головок – 7 шт., шлифовальный диск – 1 шт.;
- комплект инструмента для сборки – 1 шт.;
- защитные очки – 1 шт.

Модульный фрезерный станок позволяет обработать большое количество различных заготовок из дерева (лучше применять твердые породы древесины), пластмассы, цветных металлов (алюминий, медь и т.д.). Модульный фрезерный станок обладает набором стандартных цанг под крепление инструмента диаметром 1 мм; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5 и 6 мм.

3.3 Станки с ЧПУ

3.3.1 Устройство фрезерного станка с ЧПУ

Станина. Станина фрезерного станка с ЧПУ (рисунок 3.3.1) выполняет роль неподвижного связующего элемента, на котором крепятся все остальные части станка. Она должна быть жесткой и виброустойчивой, чтобы во время работы станка не возникало каких-либо нежелательных вибраций, плохо влияющих на качество обработки.

Для фрезерных станков с ЧПУ станину могут изготавливать из литого чугуна, которая впоследствии дообрабатывается. В станках с большим рабочим полем станина состоит из сварных балок. Во фрезерных станках для домашнего или хоббийного использования станина может быть сделана из алюминиевых профилей и листового металла.



Рисунок 3.3.1 – Станина

Колонна. Колонна фрезерного станка с ЧПУ (рисунок 3.3.2) необходима для закрепления на ней шпиндельного узла. В зависимости от исполнения станка она может двигаться по одной или двум осям.



Рисунок 3.3.2 – Колонна

Рабочий стол. Рабочий стол фрезерного станка с ЧПУ (рисунок 3.3.3) позволяет закреплять на нем различные заготовки и станочные приспособления (зажимные устройства, поворотный стол и т.д.) благодаря наличию специальных

Т-пазов. Рабочий стол может быть сделан из алюминиевых профилей либо из цельной плиты.

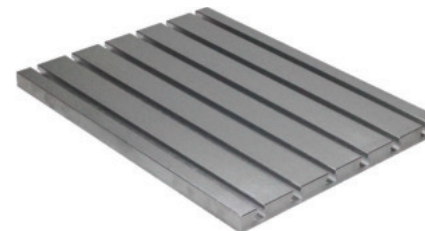


Рисунок 3.3.3 – Рабочий стол с Т-пазами

Также бывают вакуумные столы (рисунок 3.3.4), которые присасывают заготовку с помощью вакуумного насоса. Важно, чтобы материал заготовки не имел пор, через которые может проходить воздух, поскольку тогда сила присасывания будет невелика и заготовка не будет хорошо держаться.

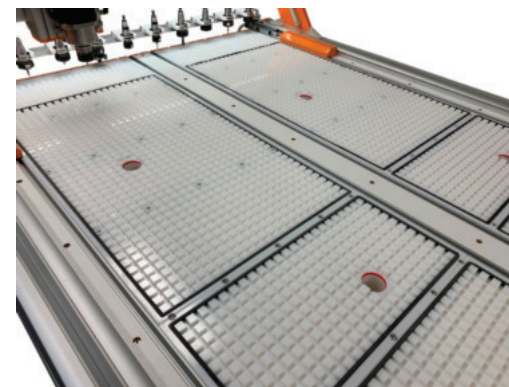


Рисунок 3.3.4 – Вакуумный стол

Направляющие. Для того чтобы стол либо шпиндель перемещались поступательно вдоль осей с заданной точностью, необходимы специальные узлы, называются на-

правляющими. В основном в станках с ЧПУ применяются цилиндрические и рельсовые направляющие. Также они подразделяются на направляющие скольжения и качения.

Цилиндрические направляющие (рисунок 3.3.5) представляют собой жестко закрепленный полированный вал (или цилиндрический рельс) и поступательно перемещаемую втулку. Если это направляющая скольжения, то втулка может быть сделана из материалов с низким коэффициентом трения (латунь, полимерные материалы и т.д.). Обычно такие направляющие скольжения применяются в дешевых 3D-принтерах, поскольку имеют низкую стоимость. В направляющей качения применяются линейные подшипники, в которых присутствуют маленькие шарики, соприкасающиеся с валом, что снижает коэффициент трения по сравнению со втулками.



Рисунок 3.3.5 – Цилиндрические направляющие

Рельсовые направляющие (рисунок 3.3.6) состоят из жестко закрепленного рельса и поступательно перемещаемой каретки. Как и цилиндрические, они также выполняются в исполнениях качения и скольжения. В каретках кроме шариков могут применяться и ролики, которые обеспечивают большую грузоподъемность и жесткость системы по сравнению с шариковыми каретками. Также это продлевает срок службы.

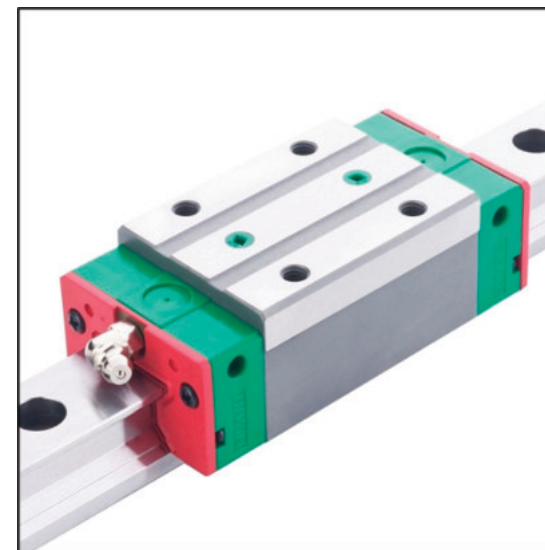


Рисунок 3.3.6 – Рельсовые направляющие

Двигатели подачи. С помощью двигателей подачи шпиндель фрезерного станка перемещается относительно рабочего стола. При этом могут использоваться различные компоновки: неподвижный стол и перемещающийся шпиндель по трем осям, перемещающийся стол по одной оси и перемещающийся шпиндель по двум осям, перемещающийся стол по двум осям и перемещающийся шпиндель по одной оси. Рабочий стол фрезерного станка обычно никогда не движется по вертикальной оси Z , вместо этого шпиндель движется по вертикальной оси. В станках с ЧПУ применяются следующие виды двигателей: шаговые и серводвигатели.

Шаговые двигатели (рисунок 3.3.7) используются в бюджетных станках, они дешевые и неприхотливые в обслуживании. Также ими легко управлять. В шаговых двигателях при подаче определенного сигнала ротор вращается на заданный угол (шаг). Особенностью шаговых двигателей

является дискретность, т.е. они вращаются не непрерывно, а мелкими шагами, что плохо сказывается на качестве поверхности деталей с повышенной точностью.

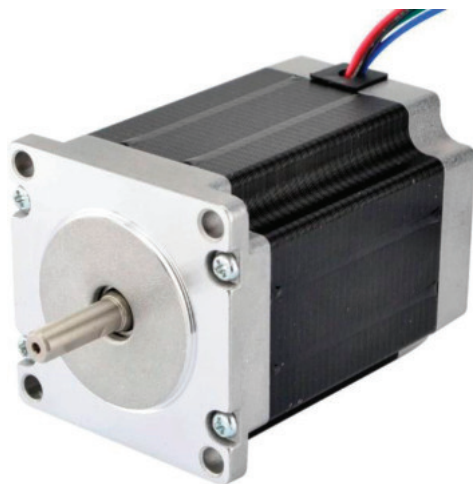


Рисунок 3.3.7 – Шаговый двигатель

Серводвигатели (рисунок 3.3.8), в свою очередь, вращаются непрерывно, а также всегда имеют обратную связь. Это позволяет при наличии нештатных ситуаций при обработке (непредвиденные вибрации и т.д.) исправить ошибку прямо во время выполнения рабочей программы, в отличие от обычных шаговых. То есть серводвигатель подает сигнал, что его ротор повернулся не на заданный угол, и корректирует свое положение, а в станках с шаговыми двигателями без энкодера такого не будет происходить и станок будет дальше совершать работу с накапливающейся ошибкой.

Шаговые двигатели с энкодером занимают среднее положение между обычными шаговыми двигателями и серводвигателями. Благодаря наличию энкодера они имеют обратную связь, которая решает проблему пропуска шагов. Кроме того, шаговые двигатели с энкодером имеют больший

момент и максимальную скорость, более высокую точность позиционирования (по сравнению шаговыми двигателями без энкодера).



Рисунок 3.3.8 – Серводвигатель

Передача поступательного движения. Для того чтобы перемещать инструмент или стол станка, необходимо совершать поступательное движение, в то время как двигатели позволяют совершать только вращательное движение. Для этого используют передачи, в которых вращательное движение двигателя преобразуется в поступательное движение компонентов станка. Используются такие передачи, как «винт – гайка» (наиболее распространенные), реечная.

Передачи «винт – гайка» делятся на два вида:

- 1) передачи трения скольжения (трапецеидальная, рисунок 3.3.9);
- 2) передачи трения качения (шарики-винтовая, рисунок 3.3.10).

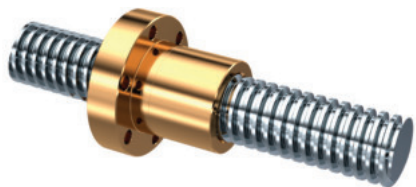


Рисунок 3.3.9 – Трапецеидальная передача

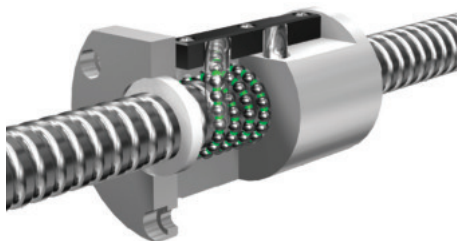


Рисунок 3.3.10 – Шарико-винтовая передача

Трапецеидальная передача является передачей трения скольжения, поэтому имеет относительно низкий КПД (большое трение). Она имеет высокую грузоподъемность, простую конструкцию и невысокую цену.

Шарико-винтовая передача (ШВП) является передачей трения качения, так как между гайкой и винтом имеются специальные шарики, благодаря чему КПД такой передачи высокий. Однако из-за этого ее конструкция сложна, а также стоимость высока.

Также необходимо отметить, что существуют различные конструкции передач «винт – гайка»:

- 1) вращающийся винт и поступательно перемещаемая гайка (самый распространенный тип);
- 2) вращающаяся гайка и поступательно перемещаемый винт;
- 3) неподвижная гайка и вращающийся и поступательно перемещаемый винт.

В современных станках, даже в бюджетных, в основном используется шарико-винтовая передача (ШВП). В них используются именно позиционные ШВП, которые предназначены для точного позиционирования (перемещения), предусматривающие преднатяг. Существуют различные классы точности ШВП: от C0 (наименьшая погрешность) до C10 (наибольшая погрешность). ШВП классов точности от C0 до C5 производятся методом шлифовки, отсюда и высокая стоимость, от C6 до C10 производятся методом накатки.

Привод главного движения. Привод главного движения фрезерного станка с ЧПУ представляет собой шпиндель (рисунок 3.3.11) – устройство, в котором крепится инструмент (фреза, сверло и т.д.), и вращается вокруг своей оси. Шпиндель состоит из корпуса, электродвигателя, подшипников, охлаждающего элемента.



Рисунок 3.3.11 – Шпиндель фрезерного станка с ЧПУ

Шпиндели бывают водного и воздушного охлаждения. Шпиндель водного охлаждения имеет внутри корпуса специальные полости, по которым циркулирует охлаждающая жидкость. Для такого шпинделя необходимо применять дополнительное устройство – помпу, которая обеспечивает движение жидкости. Шпиндель воздушного охлаждения имеет внутри корпуса крыльчатку, которая вращается от вала электродвигателя и охлаждает сам шпиндель.

Для того чтобы закрепить инструмент в шпинделе, сначала необходимо поместить цанговый патрон (рисунок 3.3.12) в шпиндель до щелчка, затем инструмент помещается в цанговом патроне, поверх цангового патрона накручивается гайка (рисунок 3.3.13) и плотно затягивается специальными инструментами.



Рисунок 3.3.12 –
Цанговый патрон



Рисунок 3.3.13 –
Гайка цангового
патрона



Рисунок 3.3.14 – Концевой датчик

Концевые датчики. Концевые датчики (рисунок 3.3.14) используются в станках с ЧПУ для того, чтобы определить граничные положения рабочего поля станка. Это позволяет избежать возможных поломок, когда в управляющей программе обрабатываемая деталь больше рабочего поля. Также концевые датчики используют для калибровки, т.е. для установки начальной точки отсчета станка, когда происходит обнуление всех осей.

В станках с ЧПУ в основном используют бесконтактные концевые датчики, так как они более долговечны по сравнению с механическими аналогами.



Рисунок 3.3.15 – Инструментальный магазин

Инструментальный магазин (рисунок 3.3.15). Он применяется для ускорения процесса производства на фрезерных станках с ЧПУ, поскольку замена инструмента занимает считанные секунды во время выполнения рабочей программы по сравнению с ручной заменой, когда управля-

ющая программа при необходимости останавливается, чтобы оператор заменил рабочий инструмент.

В инструментальном магазине каждому инструменту присваивается свой номер, который необходимо указывать в управляющей программе. Если инструмент будет не на своем месте (или будет перепутан номер) при настройке управляющей программы, то может произойти поломка во время выполнения рабочей программы.

Система пылеудаления/стружкоудаления. Система пылеудаления/стружкоудаления, также называемая системой аспирации (рисунок 3.3.16), используется для удаления отходов (пыль, стружка, аэрозоли) во время обработки различных материалов. Это позволяет улучшить качество обработки деталей, продлить службу станка (подвижные элементы не так засоряются пылью), а также лучше защитить оператора от вдыхания мелкодисперсной пыли, которая отрицательно влияет на здоровье.



Рисунок 3.3.16 – Система аспирации

Система аспирации состоит из вентилятора (создание тяги), патрубка, трубопровода, мешка для сбора отходов, фильтра, щетки-насадки на шпиндель. На выходе из такой

системы получается чистый воздух, вся пыль, стружка, опилки остаются в мешке, особо мелкие частицы не проходят через фильтр.

Система подачи СОЖ. Система подачи (рисунок 3.3.17) смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) позволяет подавать такую СОЖ в зону резания во время работы станка. Это уменьшает силу трения в зоне резания и снижает температуру.



Рисунок 3.3.17 – Работа системы СОЖ

Система подачи СОЖ используется только в металло-режущих станках. Также при применении такой системы предусматривается место, куда попадает отработанная СОЖ со стружкой. В дальнейшем она фильтруется (избавляется от стружки) и повторно используется.

Система автоматической смазки. Система автоматической смазки (рисунок 3.3.18) используется в станках с ЧПУ для подачи смазочной жидкости в движущиеся элементы (гайки ШВП, каретки) в автоматическом режиме.



Рисунок 3.3.18 – Система автоматической смазки

Такая система облегчает обслуживание станка, а также продлевает срок его эксплуатации. Вдобавок точное дозирование смазки ведет к экономии масла.

Датчик обнуления оси Z. Датчик обнуления оси Z (рисунок 3.3.19) используется для автоматического задания нулевой точки по вертикальной оси при установке заготовки. Это облегчает работу оператора, позволяет более точно определять нулевую точку.

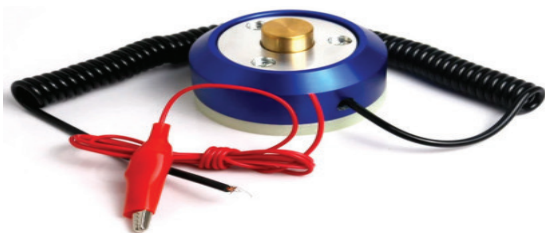


Рисунок 3.3.19 – Датчик обнуления оси Z

В станках с инструментальным магазином такой датчик обязательно используется каждый раз при смене инструмента, поскольку не все фрезы имеют одинаковую длину и одинаково изношены.

Шкаф/блок системы ЧПУ. Шкаф системы ЧПУ (рисунок 3.3.20) представляет собой корпус, в котором находятся все электронные компоненты системы ЧПУ: плата управления, драйверы двигателей, блок питания, частотный преобразователь и т.д.

Все компоненты в шкафу системы ЧПУ располагаются в определенном месте, провода уложены (иногда их маркируют для удобства обслуживания шкафа).



Рисунок 3.3.20 – Шкаф системы ЧПУ

В более дешевых и менее мощных станках, где силовая электроника не занимает много места, используют блок системы ЧПУ (рисунок 3.3.21). Он выполняет те же функции, что и шкаф, но имеет меньшие габариты. Некоторые такие блоки даже можно переносить вручную.



Рисунок 3.3.21 – Блок системы ЧПУ

Плата управления (контроллер) системы ЧПУ – это устройство, которое управляет всеми действиями в системе ЧПУ. Она принимает управляющие команды из G-code и преобразует их в последовательные электрические импульсы. Помимо этого, контроллер отвечает за мониторинг датчиков станка, замену инструмента и контроль подачи СОЖ.

Драйверы шаговых двигателей, принимая сигналы с контроллера, управляют обмотками двигателя, подавая ток в определенный момент и на определенную обмотку.

Серводрайверы используются для управления сервоприводами и обработки обратной связи. Получив данные с датчиков обратной связи, серводрайверы подают управляющие сигналы на сервоприводы, обеспечивающие необходимое положение.

Частотный преобразователь позволяет регулировать частоту переменного тока, подающегося на шпиндель, за счет чего можно плавно регулировать частоту вращения вала шпинделя.

Блок питания в системе ЧПУ используется для подачи необходимого напряжения на компоненты системы ЧПУ. Он понижает напряжение до рабочих входных напряжений компонентов станка.

Панель оператора. Панель оператора (рисунок 3.3.22) выполняет роль взаимодействия между оператором и станком с ЧПУ. Она состоит из монитора и кнопок управления. Панель оператора может быть жестко прикрепленной к чему-то, передвижной, переносной либо вообще представлять собой программу, запущенную на компьютере (рисунок 3.3.23, используется в недорогих станках).



Рисунок 3.3.22 – Панель оператора станка с ЧПУ Siemens

Ручной пульт. Ручной пульт (рисунок 3.3.24) позволяет оператору станка управлять осями вручную при помощи поворотного энкодера. На более продвинутых моделях можно регулировать обороты шпинделя, а также выполнять макросы (заданный набор действий) по нажатию одной кнопки.

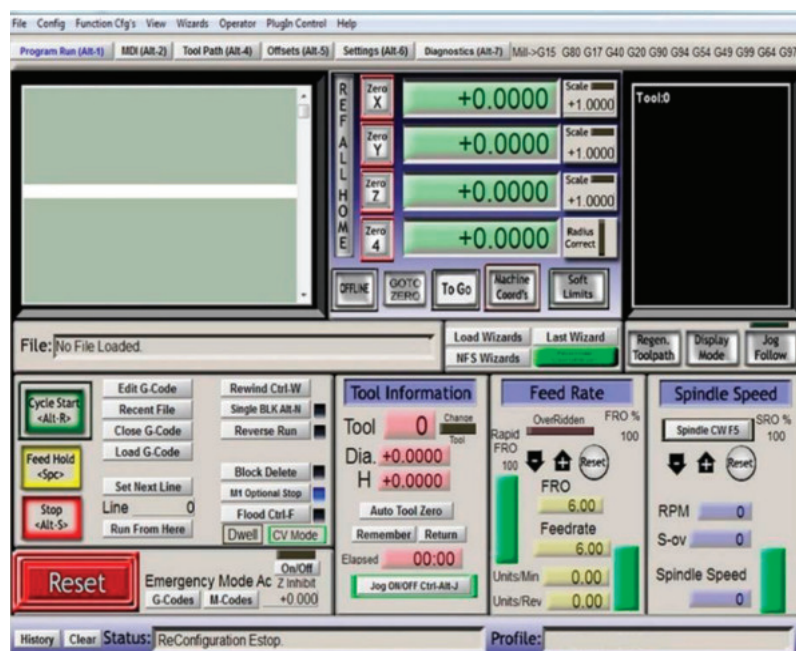


Рисунок 3.3.23 – Панель оператора, запущенная на ПК (Mach3)



Рисунок 3.3.24 – Ручной пульт

3.3.2 Принцип работы фрезерного станка с ЧПУ

От задумки к готовой детали. Для того чтобы изготовить любую деталь на фрезерном станке с ЧПУ, необходимо пройти следующие этапы.

1. Определиться с изготавливаемой деталью (также принять во внимание все ограничения, связанные с фрезерованием).

2. Подготовить деталь в необходимом формате.

Смоделировать деталь в САД-программе или в любом векторном графическом редакторе. Некоторые САМ-программы поддерживают 3D-моделирование или векторную графику, так что при использовании таких программ можно не использовать САД.

Объемную деталь экспортировать в формате .step или других подходящих, плоскую деталь лучше экспортировать в векторном формате .dxf, .svg и др. (при этом информация о высоте детали не сохраняется и ее нужно указывать в САМ-программе).

3. Подготовить управляющую программу.

Импортировать деталь в САМ-программу. Определиться со стратегией обработки (сначала черновая, потом чистовая и т.д.). Для каждого этапа обработки установить необходимые характеристики (частота вращения шпинделя, скорость подачи). Экспортировать файл в формат, воспринимаемый системой ЧПУ.

4. Запустить процесс обработки.

Произвести подготовительные операции со станком: очистить рабочее пространство, установить заготовку. Импортировать файл в систему ЧПУ. Начать обработку.

5. Получение готовой детали.

Извлечь готовую деталь. При необходимости дообработать ее: шлифовка, удаление заусенцев и др.

Язык программирования станков с ЧПУ. G-code (Geometry code) – это язык программирования, используемый для управления станками с числовым программным

управлением. Он представляет собой набор инструкций, которые сообщают станку, когда и с какой скоростью вращать двигатели станка либо задействовать другие функции (подача СОЖ, смена инструмента).

Несмотря на то, что G-code является универсальным языком и используется на всех станках с ЧПУ, коды для определенных операций у разных производителей различаются. Поэтому скорее всего не получится запустить один и тот же код на разных станках.

G-code получается на выходе из САМ-программы. Станок с ЧПУ может воспринимать только этот код. Он является текстовым файлом с разными расширениями (в зависимости от системы ЧПУ), в котором последовательно записаны команды.

Постпроцессор. Постпроцессор – это набор инструкций, который преобразует управляющую программу (траектории инструмента), созданную в САМ-системе, в G-code для конкретного станка с ЧПУ. При этом учитываются особенности кинематики станка.

Как уже было сказано ранее, G-code для разных производителей станков различается. Поэтому при экспортировании G-code в программу выбирается нужный постпроцессор с определенным расширением файла. Стоит отметить, что постпроцессор создается для конкретной САМ-программы и конкретной системы ЧПУ.

3.3.3 Виды фрезерных станков с ЧПУ

Трехосевые. Трехосевой фрезерный станок с ЧПУ (рисунок 3.3.25) является самым распространенным в своем классе. Его используют как на больших производствах, так и на маленьких, даже в домашних мастерских. Все это благодаря простоте устройства и относительной дешевизне. В основном на таких станках изготавливают несложные детали. Он позволяет проводить операции фрезерования канавок, пазов, уступов, торцов, сверления отверстий и т.д. В целом те же операции, которые доступны на обычном ручном фрезерном станке.

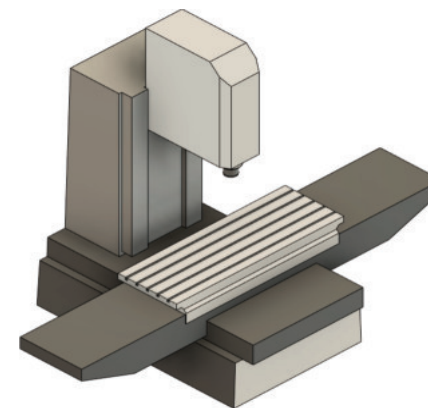


Рисунок 3.3.25 – Трехосевой фрезерный станок с ЧПУ

Такие станки имеют три оси: X, Y, Z. Они работают в декартовой системе координат. Также с помощью трехосевых станков можно фрезеровать несложные рельефные поверхности.

Четырехосевые. Четырехосевые фрезерные станки (рисунок 3.3.26) позволяют позиционировать инструмент по четырём координатам: линейные X, Y, Z и ось вращения A вокруг какой-либо линейной оси. В отличие от трехкоординатных станков, которые могут обрабатывать детали лишь с одной стороны, четырехкоординатные позволяют обработать деталь по всему периметру вращения заготовки. Поэтому четырехкоординатные станки могут использоваться для обработки сложных деталей, требующих более одного установка, или деталей вращения.

Пятиосевые. Пятиосевые фрезерные станки с ЧПУ (рисунок 3.3.27) являются самыми сложными и дорогостоящими фрезерными станками. Они позволяют позиционировать инструмент по пяти координатам: линейные X, Y, Z и оси вращения A и C. Таким образом, инструмент может перемещаться в пределах полусферы.

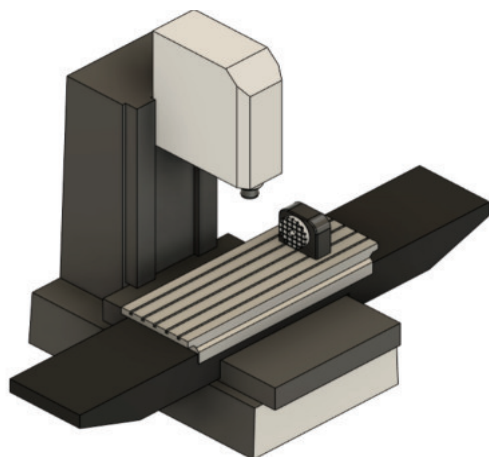


Рисунок 3.3.26 – Четырехосевой фрезерный станок с ЧПУ

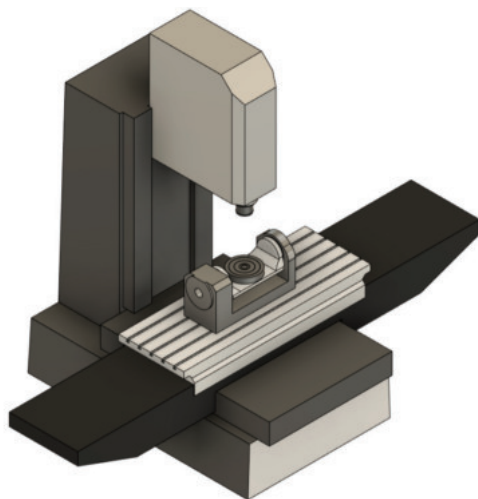


Рисунок 3.3.27 – Пятиосевой фрезерный станок с ЧПУ

С помощью пятиосевых станков, например, обрабатывают такие сложные детали, как крыльчатка (рисунок 3.3.28). Также такие станки используются, когда необходимо обработать деталь с пяти сторон, чтобы не тратить время на установку заготовки каждый раз на новую сторону.



Рисунок 3.3.28 – Крыльчатка

3.3.4 Настройка и подготовка фрезерного станка с ЧПУ

Начало работы

1. Инструменты и материалы.

Убедитесь, что имеется все необходимое для работы за станком: фрезы, сверла, заготовки, средства индивидуальной защиты.

2. Очистка рабочего пространства.

Убедитесь, что вокруг станка нет мусора или других предметов, которые могут помешать вашей работе. Также не должно быть посторонних людей.

Настройка и подготовка

1. Установить фрезу.

2. Надежно закрепить фрезу в цанговом патроне, плотно закрутив гайку.

3. Установить заготовку.

Расположить заготовку на рабочем столе и закрепить ее с помощью двухстороннего скотча (при необходимости использовать саморезы).

4. Включить питание.

5. Установить нулевую точку.

Установить ручную точку отчета, которая задается в управляющей программе. Это делается путем перемещения фрезы к заготовке.

6. Загрузить управляющую программу.

3.3.5 Завершение работы на станке с ЧПУ

1. Дождаться окончательного завершения рабочей программы.

2. Переместить фрезу в безопасную зону.

3. Выключить станок.

4. Снять фрезу.

5. Очистить станок от стружки, опилок, пыли.

3.3.6 Обслуживание фрезерного станка с ЧПУ

1. Очистка от загрязнений.

2. Визуальный осмотр.

3. Смазка (направляющие, подшипники, шпиндель, ШВП).

4. Проверка точности станка (при необходимости калибровка).

3.3.7 Техника безопасности при работе с фрезерным станком с ЧПУ

Одежда, аксессуары

1. Всегда носить защитные очки.

2. При необходимости надевать звукопоглощающие наушники.

3. Запрещается носить открытую обувь.

4. Не носить шорты, надевать длинные штаны.

5. Не носить одежду с длинным рукавом.

6. Снимать часы, ожерелья и прочие аксессуары.

7. Не надевать перчатки во время работы станка.

8. Убирать длинные волосы.

При работе за станком

1. Не оставлять станок без присмотра.

2. Не работать на станке при плохом самочувствии.

3. Не использовать поврежденные или неисправные инструменты.

4. Быть осторожным при работе с движущимися частями станка.

5. Не трогать фрезу руками, пока она не остынет. Также следует быть аккуратным, ведь фреза имеет острые кромки, которыми легко можно пораниться.

6. Не превышать допустимую скорость вращения шпинделя, рабочей подачи станка.

7. Следить за температурой фрезы. При перегреве свойства фрезы меняются, и она может легко сломаться.

8. Немедленно выключить станок с помощью аварийной кнопки при возникновении неисправностей.

3.3.8 Виды фрезерной обработки с ЧПУ

Фрезерная обработка представляет собой процесс удаления (срезания) материала, при котором режущий инструмент вращается вокруг своей оси, а заготовка перемещается относительно режущего инструмента.

Фрезерную обработку на станках с ЧПУ делят на черновую и чистовую.

При черновой фрезерной обработке (рисунок 3.3.29) удаляется большая часть материала. В этом случае не важна точность обработки, на данном этапе деталь может быть ступенчатая, предполагающая последующую дообработку.

Чистовая фрезерная обработка (рисунок 3.3.30) представляет собой окончательную обработку детали. При этой обработке точность наиболее важна, как и качество поверхности.



Рисунок 3.3.29 – Черновая обработка



Рисунок 3.3.30 – Чистовая обработка

3.3.9 Режущий инструмент, использующийся во фрезерных станках с ЧПУ

Режущий инструмент для станков с ЧПУ изготавливается в основном из твердых сплавов и быстрорежущей стали. Твердосплавные инструменты более долговечны, однако имеют большую стоимость по сравнению с инструментами из быстрорежущей стали.

Также на режущий инструмент наносят специальные покрытия, которые увеличивают износостойкость, теплоустойчивость и позволяют обрабатывать материалы при большей температуре в зоне резания. Примеры покрытий: AlTiN (нитрид алюминий-титана), TiN (нитрид титана) и т.д.

Фрезы. Фреза – режущий инструмент, предназначенный для обработки различных поверхностей: торцы, уступы, углубления, отверстия, 3D-поверхности и др. Для каждого применения используется определенный вид фрез.

Самыми распространенными являются концевые фрезы (рисунок 3.3.31). Это фрезы, которые имеют рабочую поверхность с торцов и с боков, поэтому могут обрабатывать материалы как вдоль своей оси, так и перпендикулярно.



Рисунок 3.3.31 – Концевая фреза

Сверла. Сверло (рисунок 3.3.32) – режущий инструмент, предназначенный исключительно для создания отверстий. Сверло имеет рабочую поверхность только с торцов, поэтому воспринимает лишь осевую нагрузку.

Во фрезерных станках с ЧПУ сверла используют, когда нужно сделать в основном небольшие сквозные отверстия.

Когда же необходимо проделать отверстия большого диаметра, используют фрезы.



Рисунок 3.3.32 – Сверло

Метчики. Метчик (рисунок 3.3.33) – режущий инструмент, предназначенный для нарезания резьбы. В зависимости от нарезания резьбы в сквозном или глухом отверстии используют различные типы метчиков.



Рисунок 3.3.33 – Метчики

3.3.10 Параметры процесса фрезерования

В процессе подготовки управляющей программы необходимо устанавливать параметры фрезерования для каждой операции. Они определяются опытным путем, а также по расчетным формулам.

Частота вращения шпинделя n , об/мин, – это количество оборотов, которое совершает режущий инструмент за одну минуту.

Скорость резания v , м/мин, – окружная скорость перемещения наиболее удаленных точек режущей кромки.

Диаметр DC , мм.

Число зубьев z – количество режущих кромок режущего инструмента.

Подача на зуб f_z , мм/зуб, – расстояние, проходимое режущим инструментом за период работы одного зуба.

Минутная подача v_f , мм/мин, – скорость движения режущего инструмента относительно заготовки.

Подача на оборот f_n , мм/об, – расстояние, на которое перемещается режущий инструмент за один его оборот.

3.3.11 Проектирование деталей для изготовления на фрезерном станке с ЧПУ

При проектировании любой детали для изготовления на фрезерном станке с ЧПУ необходимо сразу понимать технологию ее изготовления и определить материал, из которого данная деталь будет производиться. Важно знать, какие режущие инструменты (фрезы и сверла определенной длины и диаметра) будут использоваться – от этого зависит минимальный радиус скруглений углов, минимальный диаметр отверстий и максимальная высота пазов и уступов.

Нужно понимать, за сколько установок будет изготавливаться деталь – лучше за одну установку, так как в этом случае будет достигаться максимальная точность изготовления. При необходимости можно изготавливать и за несколько установок, но при этом на каждую установку придется

закреплять деталь на рабочем столе и обнулять нулевую точку, что, несомненно, ведет к снижению точности. Стоит отметить, что четырех- и пятиосевые станки позволяют обрабатывать сложные детали за одну установку.

Обязательно следует учитывать, как заготовка будет крепиться к рабочему столу станка, не нужно ли изготавливать дополнительную оснастку для ее крепления, не будет ли мешать такое крепление при производстве.

Также важно продумать, как стружка будет удаляться из зоны резания – будут ли в детали специальные технологические отверстия, через которые она может выходить.

Соблюдение подобных правил при проектировании деталей позволяет в дальнейшем изготавливать такие детали без трудностей, ограничений и с минимальной возможной стоимостью.

3.3.12 Подготовка управляющей программы

Управляющая программа является тем самым кодом, который загружается в систему ЧПУ. Она создается в специализированном программном обеспечении – САМ (Computer-aided manufacturing).

В управляющей программе оператор определяет стратегию процесса фрезерования, какие инструменты используются, с какими параметрами будет происходить процесс обработки.

Стратегия определяется исходя из материала заготовки и типа изготавливаемой детали.

Плоская деталь. В этом случае сначала обрабатываются все внутренние контуры, отверстия. Затем деталь окончательно вырезается. Используются в основном концевые фрезы.

Объемная деталь. В данном случае оператор станка сначала использует черновую обработку концевой или торцевой фрезой и оставляет небольшой припуск для чистовой. Это позволяет сэкономить время при обработке. Затем используется чистовая обработка, когда качество поверхности доводится до необходимого уровня.

Рельефная деталь. Здесь также вначале используется черновая обработка (так как чистовая занимает очень много времени при таком типе детали) обычной концевой фрезой. Затем используется чистовая обработка спиральной конической фрезой. При необходимости чистовая обработка может производиться несколько раз (для лучшего качества поверхности).

3.3.13 Типичные ошибки при работе с фрезерным станком с ЧПУ

Острые внутренние углы. Из-за особенностей строения фрезы она не может обработать острые внутренние углы, однако острые внешние углы с помощью фрезерования могут быть обработаны (рисунок 3.3.34).

Минимальный радиус скругления при проектировании детали с внутренними углами составляет радиус фрезы, с помощью которой ведется обработка.

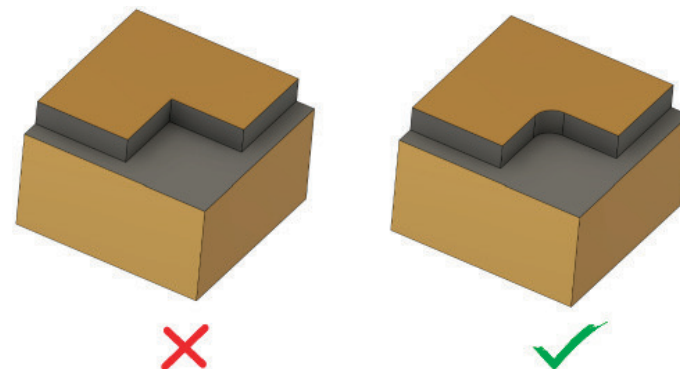


Рисунок 3.3.34 – Обработка углов

Если все же необходимо сделать острые внутренние углы на фрезерном станке, приходится прибегать к некоторым уловкам. Например, использовать самые популярные решения данной проблемы: T-bone (рисунок 3.3.35) и Dog Bone (рисунок 3.3.36).

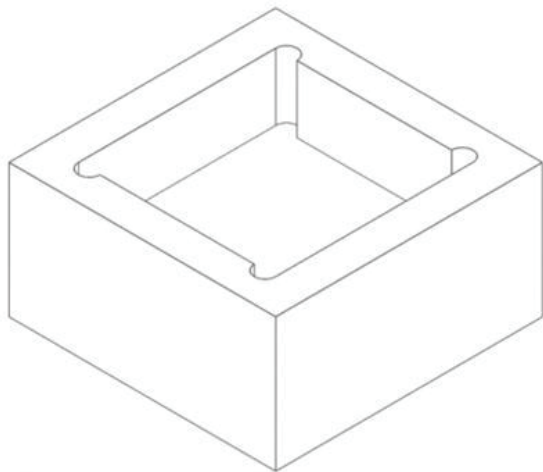


Рисунок 3.3.35 – T-bone

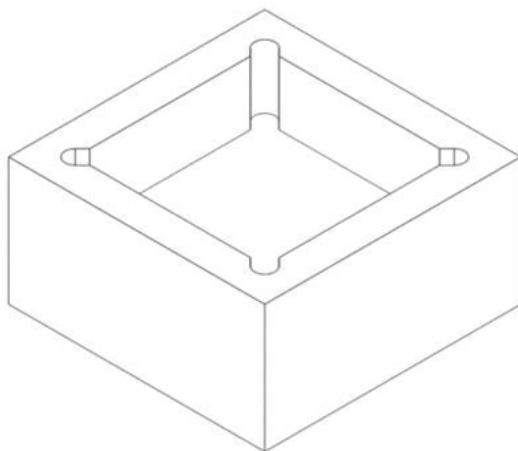


Рисунок 3.3.36 – Dog bone

Скругление внешних кромок. При производстве деталей на фрезерном станке с ЧПУ в основном используются фасочные фрезы. Профильные фрезы более дорогие и сложные в настройке. Поэтому внешние кромки лучше не скруглять, а использовать фаску (рисунок 3.3.37). Стоит отметить, что это не относится к внутренним скруглениям, в этом случае используются также распространенные сферические фрезы.

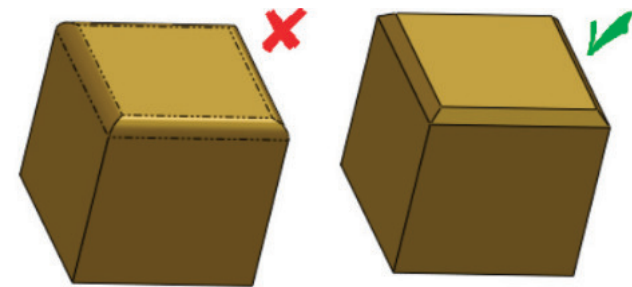


Рисунок 3.3.37 – Внешние кромки

Глубокие пазы и прорези. Не стоит обрабатывать детали с большими углублениями (рисунок 3.3.38). В таком случае потребуется длинная фреза, которая будет подвержена сильным вибрациям, ухудшающим качество поверхности и ведущим к отклонениям размеров.

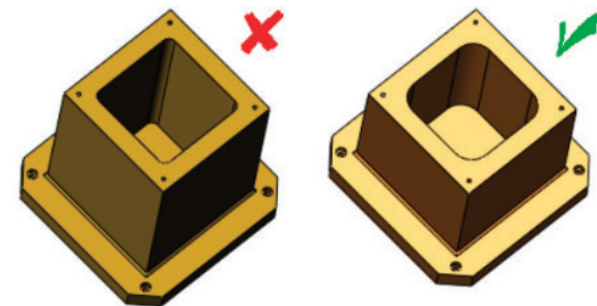


Рисунок 3.3.38 – Глубокие пазы и прорези

Недоступные элементы. Следует учитывать возможности станка (кинематику) и на основе этого обрабатывать детали. Обработка элементов должна быть доступна в нужном направлении. Недоступные элементы (рисунок 3.3.39) требуют использования специальных фрез, которые не всегда можно легко найти.

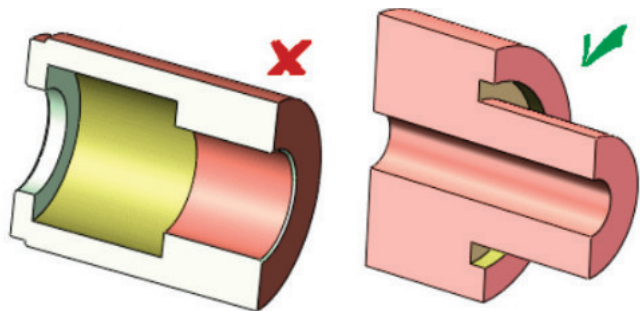


Рисунок 3.3.39 – Недоступные элементы

3.3.14 Правила техники безопасности при работе на токарном станке с ЧПУ

Не пачкайте, не портите и не удаляйте предупреждающие наклейки. Если наклейка стала трудночитаемой или была удалена, закажите новую, указав номер, указанный в правом нижнем углу наклейки.

Никогда не прикасайтесь к высоковольтным выходным блокам в пульте управления, трансформаторе, двигателе и релейной стойке из-за опасности поражения электрическим током.

Не трогайте переключатели влажными руками – это также опасно для жизни.

Запомните расположение кнопки аварийного отключения; она должна быть легко доступна с любого места.

Не удаляйте и не модифицируйте средства безопасности.

Перед заменой предохранителя обязательно отключайте питание.

Убедитесь, что рабочее место находится вне опасной зоны.

Если на полу есть вода или масло, немедленно уберите их, чтобы предотвратить скольжение и падение.

Перед эксплуатацией обязательно проверьте правильность работы переключателя.

Не прикасайтесь к переключателю без необходимости.

Рабочий стол рядом со станком должен быть прочным и иметь гладкую поверхность.

Ключ защиты памяти и ключ переключателя блокировки передней двери должны находиться у ответственного лица за оборудование.

При внезапном прекращении электропитания немедленно отключите главный выключатель.

Общие правила техники безопасности. Перед началом работы на станке внимательно ознакомьтесь с руководством по эксплуатации, особенно с разделами, касающимися безопасности и технического обслуживания, и строго следуйте указанным инструкциям.

Во время работы обязательно закрывайте двери и крышки, чтобы предотвратить доступ к вращающимся и движущимся частям станка.

Не начинайте работу на станке, если защитные крышки, замки и другие средства безопасности сняты.

Убедитесь, что обрабатываемая деталь и режущие инструменты надежно закреплены. Не оставляйте используемые инструменты на движущихся частях. Также выбирайте оптимальную скорость подачи и частоту вращения шпинделя для качественной обработки изделия.

Для обеспечения безопасности во время работы носите специальную одежду (рабочую одежду, обувь, каску, защитные очки и т.д.).

Ремонтные работы на станке должны проводиться только уполномоченным персоналом в соответствии с руко-

водством по эксплуатации. Обязательно отключайте питание во время проведения ремонтных работ.

Ответственность за безопасность выполняемых работ лежит на пользователе и обеспечивается соблюдением правил техники безопасности, изложенных в руководстве по эксплуатации и на предупреждающих наклейках на станке. Игнорирование предупреждений может привести к травмам сотрудников или повреждению оборудования.

Контрольные вопросы

3.3.1. Какую роль выполняет станина во фрезерном станке с ЧПУ?

3.3.2. Какие функции выполняет колонна во фрезерном станке с ЧПУ?

3.3.3. Какие виды рабочих столов бывают у фрезерных станков с ЧПУ?

3.3.4. Для чего необходимы направляющие во фрезерных станках с ЧПУ?

3.3.5. В чем разница между цилиндрическими и рельсовыми направляющими?

3.3.6. Какие преимущества имеют серводвигатели перед шаговыми двигателями во фрезерных станках с ЧПУ?

3.3.7. Как работает передача «винт – гайка»?

3.3.8. Какие типы передач «винт – гайка» используются в современных фрезерных станках с ЧПУ и чем они различаются?

3.3.9. Что такое шпиндель и какие функции он выполняет во фрезерном станке с ЧПУ?

3.3.10. Как охлаждаются шпиндели фрезерных станков с ЧПУ?

3.3.11. Как осуществляется крепление инструмента в шпинделе?

3.3.12. Для чего используются концевые датчики во фрезерных станках с ЧПУ?

3.3.13. Как инструментальный магазин ускоряет процесс производства на фрезерных станках с ЧПУ?

3.3.14. Для чего используется система пылеудаления/стружкоудаления во фрезерных станках с ЧПУ?

3.3.15. Как работает система подачи СОЖ и какие функции она выполняет?

3.3.16. Почему важна система автоматической смазки во фрезерных станках с ЧПУ?

3.3.17. Как используется датчик обнуления оси Z и какие задачи он решает?

3.3.18. Какие функции выполняет плата управления (контроллер) системы ЧПУ?

3.3.19. Для чего нужны драйверы шаговых двигателей или серводрайверы в системе ЧПУ?

3.3.20. Какую роль выполняет частотный преобразователь в системе ЧПУ?

3.3.21. Как панель оператора обеспечивает взаимодействие между оператором и станком с ЧПУ?

3.3.22. Что такое G-code и какую роль он играет в управлении фрезерным станком с ЧПУ?

Тест

С одним вариантом ответа

3.3.1. Какую роль выполняет станина во фрезерном станке с ЧПУ?

- а) подвижный элемент, который перемещает заготовку;
- б) неподвижный элемент, на котором крепятся все остальные части станка;
- в) механизм, который вращает шпиндель;
- г) система охлаждения станка.

3.3.2. Какую задачу выполняют направляющие во фрезерных станках с ЧПУ?

- а) перемещают станину;
- б) обеспечивают поступательное движение стола или шпинделя с заданной точностью;
- в) контролируют частоту вращения шпинделя;
- г) фильтруют СОЖ.

3.3.3. Чем отличается серводвигатель от шагового двигателя?

- а) серводвигатель вращается дискретно, а шаговый – непрерывно;
- б) шаговый двигатель имеет обратную связь, а серводвигатель – нет;
- в) серводвигатель вращается непрерывно и имеет обратную связь;
- г) шаговый двигатель всегда более мощный.

3.3.4. Какой способ охлаждения шпинделя требует дополнительного устройства – помпы?

- а) воздушное охлаждение;
- б) водное охлаждение;
- в) масляное охлаждение;
- г) газовое охлаждение.

3.3.5. Какую функцию выполняет инструментальный магазин во фрезерном станке с ЧПУ?

- а) обеспечивает охлаждение инструмента;
- б) хранит и автоматически заменяет инструменты;
- в) фильтрует смазочно-охлаждающую жидкость;
- г) контролирует точность перемещения стола.

С двумя вариантами ответов

3.3.6. Какие преимущества дают четырех- и пятиосевые станки при изготовлении сложных деталей?

- а) возможность обработки деталей за одну установку;
- б) высокая точность при многоступенчатой обработке;
- в) более высокая скорость обработки;
- г) меньшая стоимость производства;
- д) обработка сложных деталей без дополнительных приспособлений.

3.3.7. Что следует учитывать при проектировании деталей для фрезерного станка с ЧПУ?

- а) как заготовка будет крепиться к рабочему столу;
- б) возможность удаления стружки из зоны резания;

- в) количество зубьев на фрезе;
- г) тип охлаждения шпинделя;
- д) число оборотов шпинделя.

3.3.8. Каковы особенности чистовой фрезерной обработки?

- а) высокая точность обработки;
- б) оставление припуска для дальнейшей обработки;
- в) обработка поверхности до необходимого качества;
- г) использование сверл для создания отверстий;
- д) оставление ступенчатых деталей.

3.3.9. Что характерно для черновой фрезерной обработки?

- а) высокая точность обработки;
- б) удаление большей части материала;
- в) окончательная обработка детали;
- г) ступенчатая деталь, предполагающая последующую дообработку;
- д) использование специальных покрытий на инструментах.

3.3.10. Какие материалы чаще всего используются для изготовления режущего инструмента?

- а) быстрорежущая сталь;
- б) твердые сплавы;
- в) алюминий;
- г) пластик;
- д) медь.

Практико-ориентированное задание 3.5. Подготовка фрезерного станка с ЧПУ к работе

В данной практической работе предполагается, что каждый ученик самостоятельно подготавливает фрезерный станок с ЧПУ к работе: закрепляет заготовку, устанавливает фрезу и др. Затем запускается тестовая управляющая программа (заранее подготовленная преподавателем), при

этом снимается поверхностный слой с деревянной заготовки (примерно 0,1 мм). Таким образом, работа считается зачитанной, если процесс обработки прошел без каких-либо неудач. Если же возникли непредвиденные обстоятельства, ученик должен исправить недочеты и заново запустить процесс обработки.

Практико-ориентированное задание 3.6.

Загрузка управляющей программы на станок с ЧПУ. Изготовление детали

В данной практической работе ученики загружают заранее подготовленную управляющую программу на станок и приступают к обработке детали. Задание считается выполненным, если деталь сделана по чертежам и не возникало никаких неисправностей. В ином случае ученик должен исправить ошибки и все равно изготовить необходимую деталь.

Глава 4. Основы металлургии

Авторы: Титов А.Ю., канд. техн. наук, доцент кафедры литейных технологий и художественной обработки материалов Университета МИСИС; Лопатин В.Ю., канд. техн. наук, доцент кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий Университета МИСИС; Баранова А.П., канд. физ.-мат. наук, младший научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением Университета МИСИС

4.1 Литейное производство

4.1.1 Литые детали и области их применения

Литейное производство является одним из древнейших процессов изготовления изделий различного назначения. С течением времени технологии литья непрерывно совершенствовались, а конструкции изделий становились все сложнее. Если первые отливки имели исключительно декоративно-прикладное и религиозное назначение, то сегодня литые изделия применяются во всех отраслях экономики. Наиболее широкое распространение литые детали получили в аэрокосмической отрасли, автомобилестроении, железнодорожном транспорте, атомной энергетике, судостроении, станкостроении, электронике и др.

Основным отличием литья от других способов формообразования, таких как резанье, сварка, спекание и деформация, является возможность получения изделий необходимой конфигурации с заданным уровнем свойств при минимальной затрате материалов, т.е. непосредственно из расплава.

Современное развитие науки и техники позволяет получать отливки практически любой конфигурации с массой от нескольких грамм до сотен тонн и габаритными размерами от нескольких миллиметров до десятков метров, а толщина стенки может достигать 0,5 мм. На рисунке 4.1.1

представлены художественные отливки с тонким рельефом, а также гребной винт атомного ледокола массой 130 тонн.



а



б



в

Рисунок 4.1.1 – Художественные изделия (а, б) и гребной винт корабля (в), полученные литьем

Отливки могут изготавливаться из любых металлов и сплавов. Широко распространены отливки из сплавов на основе железа, алюминия, меди, магния, никеля, титана и др. Сегодня возможно получить литые детали из сплавов на основе бериллия, которые по прочности не уступают некоторым специальным сталям, но при этом в 1,5 раза легче алюминия, что имеет критически важное значение для аэрокосмической отрасли. Отдельно стоит выделить труднообрабатываемые материалы. Яркими представителями таких материалов являются марганцовистые стали, которые известны своим свойством самоупрочняться при ударной нагрузке, или жаропрочные никелевые сплавы, которые применяются для изготовления лопаток газотурбинного двигателя (далее – ГТД). Для обработки таких материалов требуется наличие специализированного оборудования и инструмента, поэтому изделия из них изготавливаются преимущественно точным литьем. Помимо этого, лопатки ГТД имеют сложную систему внутренних каналов, которые служат для охлаждения детали. Эти каналы изготавливаются при помощи керамического стержня, который помещается внутрь литейной формы при ее изготовлении. Получить такую внутреннюю полость возможно только при помощи литья либо аддитивных технологий. На рисунке 4.1.2 показан общий вид лопатки ГТД и схема ее охлаждения.

Существует множество различных способов литья, от простых и дешевых, например литье в формы из песчано-глинистой смеси (ПГС), до технически сложных, таких как литье под поршневым давлением. Все эти способы литья, в зависимости от требований к детали, позволяют получить отливки с различной степенью точности размеров, чистотой поверхности, величиной припуска на механическую обработку, свойствами и стоимостью. Например, при изготовлении лопаток ГТД используется точное литье по выплавляемым моделям. Такой способ позволяет получить отливки, которые практически без дополнительной обработки могут быть установлены в целевой агрегат. Однако отливка, по-

лученная таким способом, имеет высокую стоимость. В то же время изготовление станины металлообрабатывающего станка, которая изготавливается из серого чугуна, не имеет таких ограничений, поэтому ее получают литьем в ПГС.

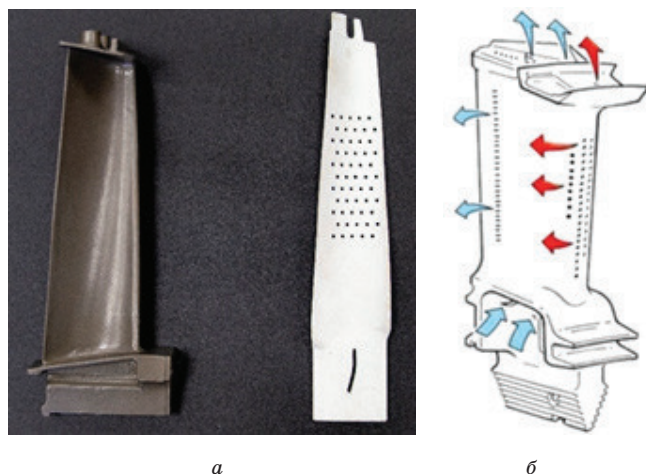


Рисунок 4.1.2 – Общий вид лопатки ГТД и внутреннего стержня (а) и схема охлаждения лопатки ГТД (б)

Отдельно стоит отметить производство слитков, без которых невозможно существование других способов обработки. Слитками называются отливки с сечением простой конфигурации (чаще всего круг, квадрат, прямоугольник и т.д.), который используется для дальнейшего изготовления деталей путем обработки давлением, резанием и др.

4.1.2 Цифровые технологии в литейном производстве

Цифровые технологии, такие как САПР, моделирование процессов заполнения формы и затвердевания отливок, 3D-печать моделей и литейных форм, станки с ЧПУ, лазер-

ная и оптическая оцифровки и др., позволяют значительно ускорить и облегчить работу инженера-технолога.

Большинство цифровых технологий при производстве отливок используются на стадии подготовки производства или при изготовлении прототипа, т.е. масштабной модели изделия, пригодной для различных испытаний. Широко распространены программы моделирования процесса заливки и кристаллизации отливок, такие как PoligonSoft (CSoft, Россия), LVMFlow (ПроМодель, Россия), ProCast (ESI Group, Чехия). Они позволяют спрогнозировать наличие дефектов в отливках на стадии проектирования. Если в традиционном технологическом процессе для корректировки технологии требовалась отливка в металле, по которой оценивались дефекты, то сейчас достаточно построить модель литейной формы и смоделировать ее заполнение расплавом на компьютере. На рисунке 4.1.3, а показаны результаты моделирования процесса заливки формы и анализ внутренних дефектов (пористости, рисунок 4.1.3, б) по результатам моделирования в ProCast.

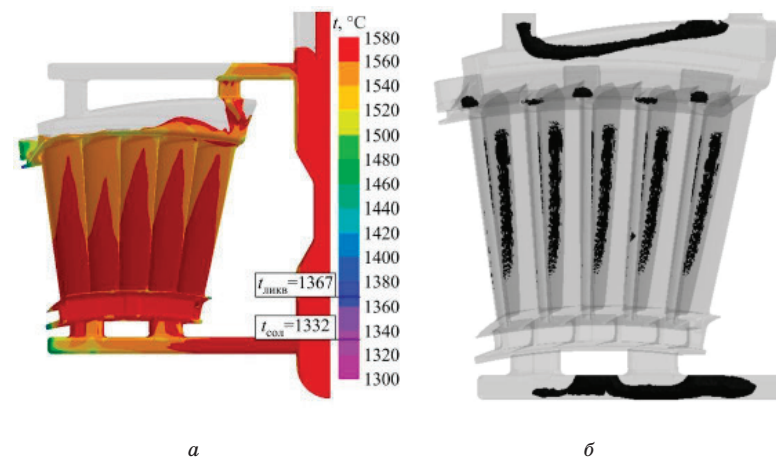


Рисунок 4.1.3 – Моделирование процесса заполнения формы в программе ProCAST (а) и результаты оценки пористости в отливке (б)

Применение 3D-печати для изготовления модельного комплекта значительно повышает эффективность процесса производства опытных деталей. Традиционные технологии требуют гораздо больше времени на подготовку производства. То есть реальный прототип будущего изделия для проверки каких-либо свойств рентабельнее изготовить с использованием метода трехмерной печати, потому что это будет и быстрее, и дешевле. Однако при производстве большого количества литых деталей стоимость изготовления традиционными методами в пересчете на каждую изготовленную отливку в разы ниже, чем такого же количества литых деталей, изготовленного с использованием 3D-печати. Для тиражирования часто применяют оснастку, изготовленную из дерева или пластика при помощи станков с ЧПУ.

Однако печатать можно не только модельные комплекты, но и непосредственно литейные формы. Для этого применяется специальный формовочный материал, который состоит из песка, смолы и отвердителя. При их взаимодействии между отдельными песчинками происходит образование прочных полимерных связей, которые позволяют песку удерживать форму. Принтер для печати литейных форм похож на обычный струйный принтер, который послойно наносит смолу на песок с отвердителем.

Лазерную или оптическую оцифровку часто применяют для контроля качества отливок, например для сопоставления 3D-модели, заложенную в проекте и готовое литье. На рисунке 4.1.4, *а* показаны результаты контроля геометрии отливки, на которой цветом отображается предельная величина отклонения от размеров детали (рисунок 4.1.4, *б*). Такой подход позволяет обнаружить минимальные отклонения стенок, которые могут возникнуть при затвердевании сплава из-за усадки (изменения линейных размеров и объема). Также оцифровку можно использовать для обратного инжиниринга, когда по готовой детали необходимо разработать модель и технологию ее получения.

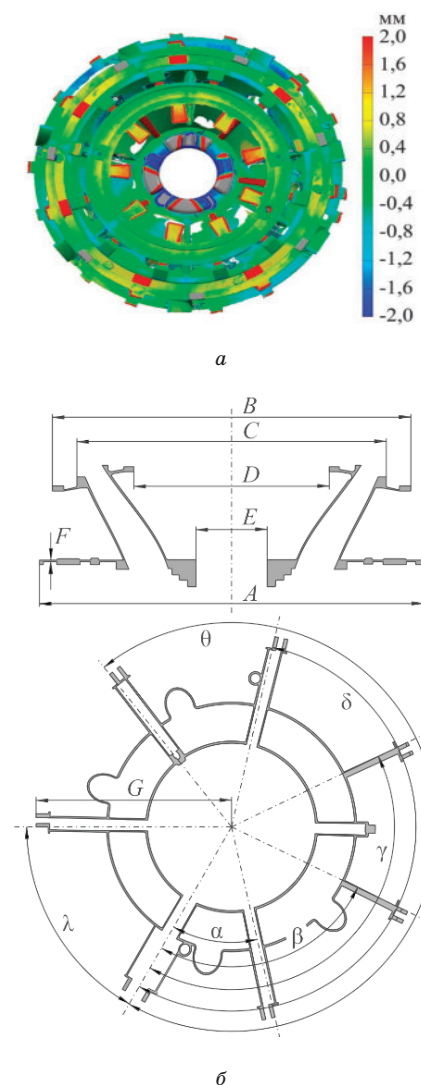


Рисунок 4.1.4 – Контроль геометрии при помощи оцифровки: *а* – готовая отливка после оцифровки; *б* – конфигурация детали

Контрольные вопросы

Базовый уровень

- 4.1.1. В каких отраслях промышленности России используются литые детали?
- 4.1.2. Каково основное отличие деталей, изготовленных литьем, от произведенных с использованием других способов формообразования?
- 4.1.3. Какова минимальная толщина стенки в отливке?
- 4.1.4. Какие металлы и сплавы могут быть использованы для изготовления отливок?
- 4.1.5. Какие цифровые технологии применяются в литейном производстве?
- 4.1.6. На каком этапе применяются цифровые технологии в литейном производстве?
- 4.1.7. Для чего в литейном производстве применяют лазерную или оптическую оцифровку?

Продвинутый уровень

- 4.1.8. Каким образом происходит контроль геометрии отливки?
- 4.1.9. За счет чего происходит удержание песчинок в литейной форме при изготовлении ее с помощью 3D-печати?
- 4.1.10. Как изготавливают оснастку для изготовления литейных форм при массовом производстве?
- 4.1.11. В чем преимущества литейной технологии перед аддитивными методами при массовом производстве?
- 4.1.12. Каким образом получают внутренние каналы в отливках?

4.2 Обработка металлов давлением

Обработка металлов давлением является важным технологическим процессом металлургического производства. Процесс обработки металлов давлением направлен на придание слитку после выплавки или заготовки необходимой фор-

мы и размеров, а также на улучшение свойств слитка. Обработку металлов давлением классифицируют на прокатку, волочение, прессование, ковку и штамповку.

Прокатка представляет собой процесс пластической обработки металла, заключающийся в утончении (уменьшении поперечного сечения) заготовки и придания ей необходимой формы под действием вращающихся валков прокатного стана. По методу воздействия валков на металл прокатку классифицируют на *продольную*, *поперечную* и *поперечно-винтовую*.

Продольная прокатка заключается в деформировании заготовки, расположенной между двумя валками, которые вращаются в разные стороны.

Поперечная прокатка заключается в деформировании заготовки, расположенной между двумя валками, которые вращаются в одном направлении, а заготовка вращается в противоположном направлении. Данный способ прокатки применяется для изделий круглого сечения (шары, оси, шестерни и др.).

Поперечно-винтовая прокатка заключается в деформировании заготовки вращательным и поступательным движениями. Валки вращаются в одну сторону под некоторым углом друг к другу. Данный тип прокатки применяется при обработке полых деталей, в частности при производстве труб или гильз.

Прокатка применяется для изготовления заготовок, пригодных для использования в строительстве и машиностроении в состоянии поставки, а также является промежуточной обработкой перед другими способами обработок заготовок. Прокатку применяют перед ковкой, волочением, а также штамповкой.

Волочение металла представляет собой процесс протягивания заготовки через отверстие установки, площадь которого меньше площади сечения заготовки. Движущей силой волочения является тяговое усилие, приложенное к переднему концу обрабатываемой заготовки. Обработка

методом волочения применяется для изготовления проволоки, прутков с высокой точностью размеров и труб разных сечений.

Прессование представляет собой процесс вытеснения пуансоном (т.е. элементом, который действует на заготовку с целью ее деформации) разогретого металла исходной заготовки через отверстие установки. Прессование классифицируют на прямое прессование и обратное. В процессе прямого прессования металл вытесняется в направлении движения пуансона, а при обратном – металл движется навстречу движению пуансона. Обработка методом прессования применяется преимущественно для изготовления прутков и труб, а также изделий сложных форм.

Ковка представляет собой процесс деформирования разогретого металла исходной заготовки давлением под действием ударных нагрузок с помощью специального инструмента – бойков. Под действием ударных нагрузок заготовка приобретает требуемые размеры и форму. Ковкой получают заготовки для последующей механической обработки.

Штамповка металла представляет собой процесс деформирования заготовки давлением с помощью специального инструмента – штампа.

Штамповку классифицируют на объемную и листовую. В свою очередь, объемную штамповку дополнительно классифицируют на горячую и холодную.

Объемная штамповка заключается в придании заготовке требуемой формы и размеров за счет заполнения металлом рабочей плоскости штампа.

Холодная объемная штамповка выполняется без нагрева заготовки. Холодную объемную штамповку классифицируют на выдавливание, высадку, формовку и чеканку.

Выдавливание реализуется за счет выдавливания заготовки через отверстие в инструменте. Данным методом получают болты, крестовины, клапаны, корпуса тубиков.

Высадка характеризуется деформацией, за счет которой достигается придание необходимой формы и размеров метал-

лической проволоке. Данный метод применяется для изготовления гвоздей, заклепок, шурупов, винтов, болтов, гаек и др.

Формовка характеризуется обжатием заготовки в штампе, за счет которого достигается форма и геометрия. Между переходами иногда используется отжиг для снятия напряжений в металле после деформации. Формовка применяется для изготовления деталей сложных форм.

Чеканка характеризуется получением рельефа за счет незначительной деформации. Чеканку применяют для изготовления монет, значков, медалей.

Для **листовой** штамповки в качестве заготовки используют металлические листы, ленту или полосы, а затем под действием пластической обработки получают изделия, а именно колпачки, втулки и др.

Холодную листовую штамповку используют преимущественно для пластичных материалов, в частности для некоторых сталей, сплавов алюминия, меди, магния и титана.

Горячую листовую штамповку применяют для листового металла толщиной более 15 мм.

Контрольные вопросы

Базовый уровень

4.2.1. На какие методы классифицируют обработку металлов давлением?

4.2.2. Для чего слиток подвергают обработке давлением?

4.2.3. Что такое штамповка?

4.2.4. Какие обработки применяют для изготовления труб?

4.2.5. Каким методом получают гвозди, заклепки, шурупы, винты, болты, гайки?

4.2.6. Каким методом получают детали сложных форм?

4.2.7. Каким методом получают монеты?

Продвинутый уровень

4.2.8. Какая обработка используется в качестве промежуточной для снятия внутренних напряжений при формовке?

4.2.9. Какая обработка применяется в качестве предварительной перед ковкой, волочением и штамповкой?

4.2.10. Чем различаются прямое и обратное прессование?

4.3 Порошковая металлургия

Порошковая металлургия представляет собой известный еще с XIX века, но не теряющий свою актуальность комплекс технологий, позволяющих решать сложные задачи в области материаловедения, а именно:

1) создавать материалы и изделия, которые невозможно создать другими методами, например электрические контакты из меди и вольфрама, из меди и графита, пористые металлические фильтры из порошков бронзы, никеля, нержавеющей сталей, изделия из керамики с очень высокой температурой плавления (2700 °С и выше);

2) получать изделия самого разного назначения с минимальными потерями сырья. Например, при производстве зубчатых колес сложной формы резанием (точением, фрезерованием, строганием) в стружку может уходить до 70 % металла, тогда как при использовании методов порошковой металлургии эти потери сокращаются до 1–2 %;

3) создавать сырьевые материалы для аддитивных технологий (селективного лазерного сплавления, селективного лазерного спекания, нанесения покрытий на изделия в струе нагретого газа или плазмы).

4.3.1 Свойства металлических порошков и методы их получения

Химические свойства порошков включают химический состав частиц с учетом оксидных пленок, а также ряд характеристик, которые определяют взаимодействие частиц с окружающей средой.

К физическим свойствам относят форму частиц, их размер (максимум 1 мм), удельную поверхность (общую по-

верхность всех частиц, которые в сумме имеют массу 1 г), плотность и твердость.

В группу технологических свойств входят текучесть (скорость, с которой 50 г порошка вытекают из воронки с отверстием 2,5 мм), насыпная плотность (масса 1 см³ частиц, насыпанных в емкость только под действием сил тяжести). Так как в насыпке обязательно будут пустоты между частицами, имеющие определенный объем и нулевую массу, насыпная плотность порошка всегда меньше плотности материала частиц. Также к технологическим свойствам относится плотность утряски, которая по аналогии с насыпной плотностью представляет собой массу 1 см³ частиц, но уже немного уплотненных под действием приложенной вибрации. Завершает список технологических свойств прессуемость порошка, характеризующая его способность уменьшать занимаемый объем под действием давления и сохранять приданную форму после того, как это давление снимается.

Свойства частиц, в первую очередь форма и размер, сильно зависят от метода их получения.

Металлические порошки получают механическими, физическими и химическими методами. Механические методы подразумевают разрушение твердых материалов в мельницах различной конструкции и разделение жидкого металла на отдельные мелкие капли с последующим их затвердеванием. При измельчении в мельницах пластичных металлов (меди, алюминия) частицы имеют форму чешуек, при измельчении хрупких (хрома, вольфрама) – осколочную (рисунок 4.3.1).

Форма частиц, сформировавшихся из капель расплава, зависит от того, успеют ли они приобрести форму шара или нет. Если успеют, то получаются сферические частицы (рисунок 4.3.2), если нет – частицы неправильной формы (рисунок 4.3.3).

Физические методы связаны с расплавлением металла или сплава, испарением его и последующей конденсацией паров с образованием твердых частиц.

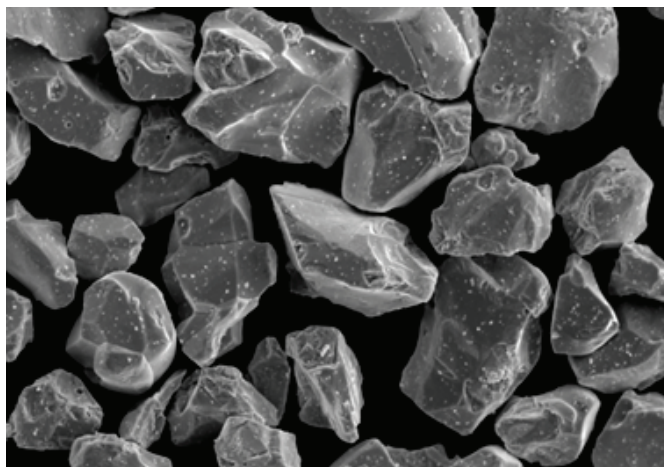


Рисунок 4.3.1 – Частицы карбида вольфрама, полученные измельчением твердого материала

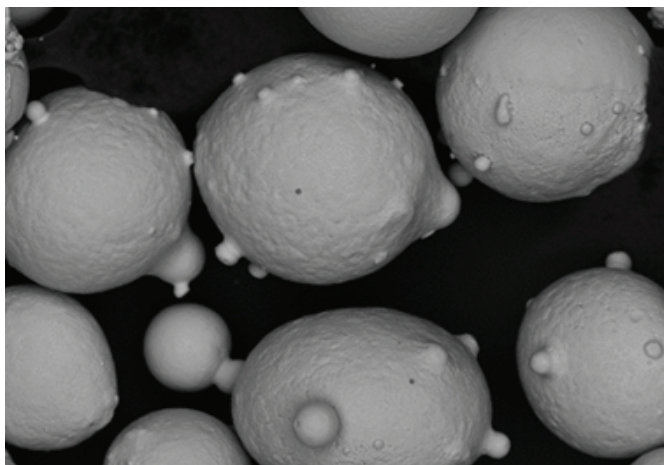


Рисунок 4.3.2 – Сферические частицы порошка инструментальной стали

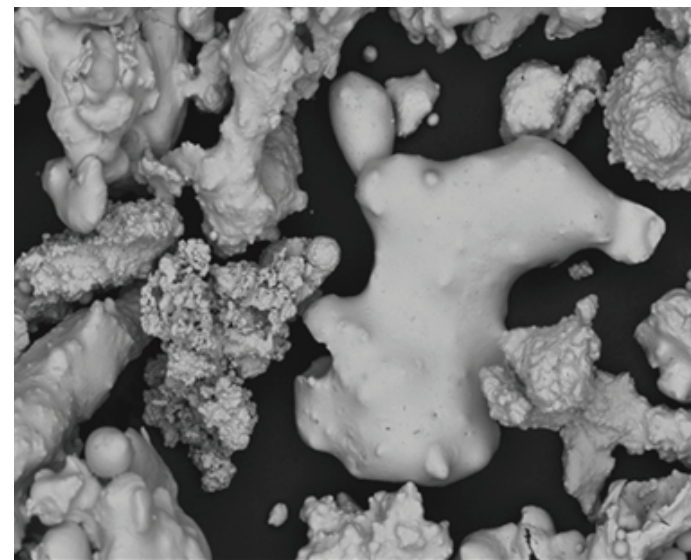
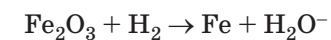


Рисунок 4.3.3 – Частицы медного порошка, полученные распылением расплава

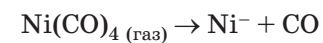
Разнообразные химические методы объединяет одна особенность – протекание химических реакций, в ходе которых соединение металла превращается в металл с выделением побочных продуктов реакции:



- (восстановление твердых химических соединений) (рисунок 4.3.4);



- (электролиз в растворах) (рисунок 4.3.5);



- (разложение карбонильных соединений) (рисунок 4.3.6).

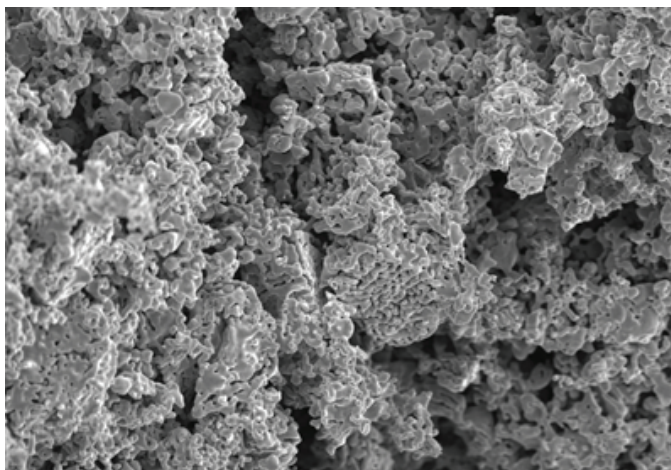


Рисунок 4.3.4 – Частицы железного порошка, полученные восстановлением оксида железа



Рисунок 4.3.5. Частица медного порошка, полученная электролизом

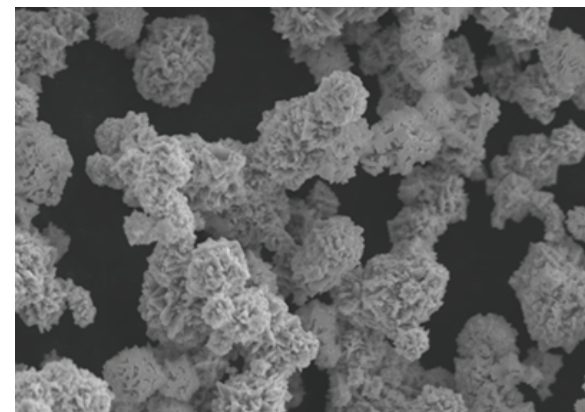


Рисунок 4.3.6. Частицы никелевого порошка, полученные разложением соединения $\text{Ni}(\text{CO})_4$

4.3.2 Формование металлических порошков

Операция формования предназначена для того, чтобы частицы порошка, не связанные друг с другом, превратить в тело, имеющее заданные размеры, форму и плотность (как правило, меньшую, чем плотность материала частиц). Для ее осуществления разработано много различных технологических приемов: прессование в пресс-формах (рисунок 4.3.7), всестороннее обжатие порошка в специальной оболочке жидкостью или газом (во втором случае при высокой температуре), прокатка порошка в прокатных станах, формование смеси порошка со связующим веществом в машинах для литья пластмасс и др.

Прочность сцепления будет зависеть от формы частиц (частицы разветвленной формы хорошо зацепляются друг за друга, см. рисунок 4.3.5) и от их твердости. Частицы из пластичных металлов (Al, Cu, Fe, Ni) деформируются при приложении давления, площадь контакта между ними увеличивается, и соответственно увеличиваются силы межатомного взаимодействия.

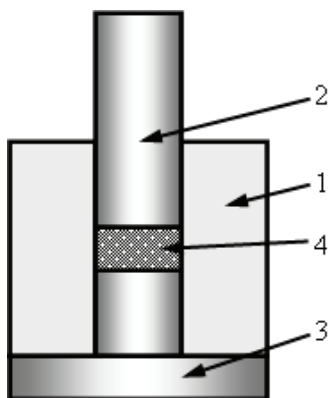


Рисунок 4.3.7 – Схема пресс-формы для прессования порошков: 1 – матрица; 2 – верхний пуансон; 3 – нижний пуансон; 4 – порошок

Все методы формования должны обеспечить такое сцепление частиц друг с другом, чтобы формовку можно было бы переместить на следующую операцию – спекание.

4.3.3 Спекание металлических порошков

Спекание формовок из металлических порошков предназначено для того, чтобы повысить их прочность, которая после формования чаще всего будет недостаточной для работы формовок в составе какого-либо агрегата.

Спекание осуществляется при температурах 0,60–0,95 от температуры плавления основного компонента материала, т.е. компонента, объемная доля которого больше 50 %. Если материал формовки состоит из двух и более компонентов, то при спекании может образовываться жидкость, которая положительно сказывается на формировании заданной структуры детали. Однако объемная доля жидкости не должна превышать 30–35 %, иначе произойдет оплавление заготовки и она потеряет свою форму.

При получении изделий конструкционного назначения стремятся к тому, чтобы при спекании уменьшилась пористость, неизбежно остающаяся после формования, но есть изделия, например фильтры, где пористость должна оставаться на заданном уровне или даже увеличиваться в ходе спекания. Часто пористые материалы типа фильтров спекают без предварительного формования, просто насыпая порошок в керамическую форму нужной геометрии и выдерживая при заданной температуре некоторое время.

Тест

Базовый уровень

4.3.1. Можно ли сделать электрический контакт из вольфрама и меди литейными технологиями?

- а) да;
- б) нет.

4.3.2. К какой группе свойств порошков относятся текучесть и насыпная плотность?

- а) к химическим свойствам;
- б) к физическим свойствам;
- в) к технологическим свойствам;
- г) к физическим и технологическим свойствам одновременно;
- 9) к химическим и физическим свойствам одновременно.

4.3.3. В чем состоит основная задача операции формования порошков?

- а) в придании порошковой формовке требуемой формы;
- б) в придании порошковой формовке требуемых размеров;
- в) в придании порошковой формовке требуемой плотности;
- г) в придании порошковой формовке требуемых размеров, формы и плотности.

4.3.4. В чем состоит основная задача операции спекания порошковых формовок?

- а) в уменьшении пористости порошковой формовки;
- б) в увеличении прочности порошковой формовки;
- в) в изменении формы частиц порошка в спекаемой формовке;
- г) в изменении формы спекаемой формовки.

Продвинутый уровень

4.3.5. За счет чего обеспечивается прочность прессовок из непластичных (твердых) материалов?

- а) за счет механического зацепления частиц;
- б) за счет пластической деформации частиц и действия сил межатомного взаимодействия;
- в) за счет обоих механизмов.

4.3.6. Какая форма частиц при прочих равных обеспечивает большую прочность прессовок?

- а) сферическая;
- б) дендритная;
- в) форма частиц не влияет на прочность прессовок.

4.3.7. Можно ли проводить спекания однокомпонентного порошкового материала при температуре, составляющей 0,2–0,3 от его температуры плавления?

- а) да;
- б) нет;
- в) в зависимости от твердости спекаемого материала.

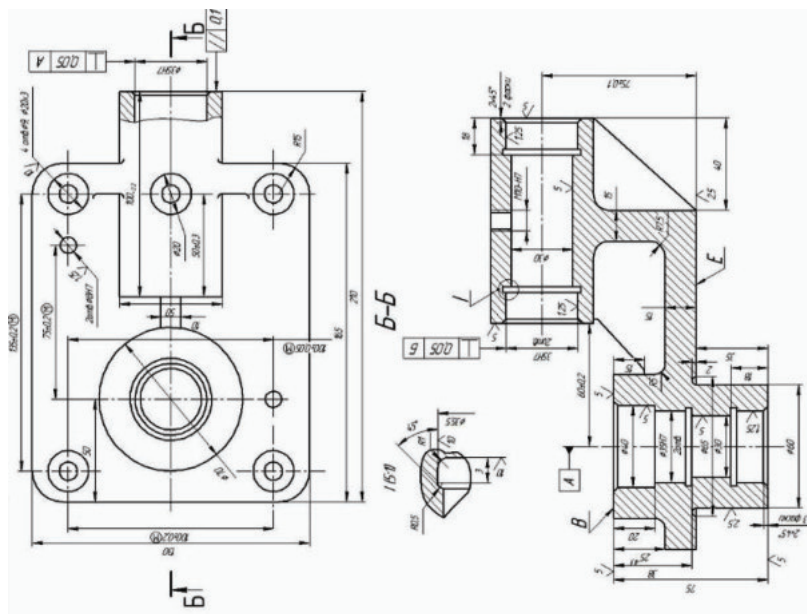
4.3.8. Можно ли проводить успешное спекание многокомпонентного материала, если при температуре спекания объем жидкой фазы в нем составляет 60–65 %?

- а) нет;
- б) да;
- в) количество жидкой фазы не влияет на результаты спекания.

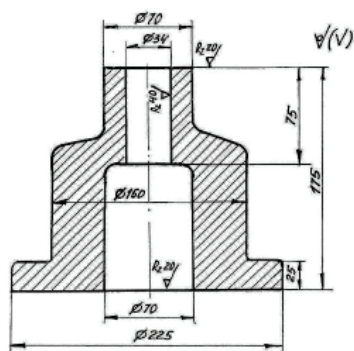
Кейс 4.1

На предприятии, где ваша команда работает в технологическом отделе, планируется к введению три новых изделия: кронштейн, втулка и крышка. Чертежи изделий представлены на рисунке 4.3.8 (а, б и в соответственно). Известно, что *кронштейн* изготавливается из жаропрочного никелевого сплава ВЖЛ22 и к нему предъявляются повышенные требования по герметичности. *Втулка* изготавливается из оловянной бронзы БрОЦС5-5-5, и изделие представляет собой пористый фильтр, а *крышка* изготавливается из алюминиевого сплава Д16 и к нему предъявляются повышенные требования по плотности.

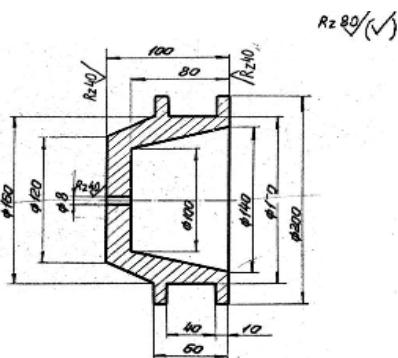
Определите оптимальную технологию изготовления (*литейное производство, обработка давлением, порошковая металлургия*) изделий исходя из конфигурации детали, материала и предъявляемых требований. Приведите обоснование своего решения.



a



b



v

Рисунок 4.3.8 – Чертежи изделий, планируемых к выпуску на предприятии
a – кронштейн; б – втулка; в – крышка

Глава 5. Конструкционные материалы

Авторы: Ли Э.В., канд. техн. наук, доцент кафедры металловедения и физики прочности Университета МИСИС; Гостева Е.А., канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры материаловедения полупроводников и диэлектриков Университета МИСИС; Степашкин А.А., канд. техн. наук, старший научный сотрудник Лаборатории функциональных полимерных материалов Университета МИСИС

5.1 Виды и типы материалов для современного производства

Одно из главных отличий человека разумного от представителей животного мира – это умение создавать что-то новое. Если на заре человечества наши с вами предки использовали только подручные материалы, такие как дерево и камень, то с постепенным развитием навыков и умений открылся новый горизонт возможностей (рисунок 5.1.1). Использование первых металлических материалов (меди, олова, бронзы) сделало возможным применение более прочных и долговечных инструментов, приведших к развитию земледелия, ремесел и зарождению цивилизаций.

Человек узнал о существовании железа, находя метеориты задолго до того, как он получил возможность выплавлять его из руды. К 1200 году до нашей эры человек научился обрабатывать железо, и его навыки передавались из поколения в поколение. Железо во многом заменило бронзу. Это было началом железного века.

Ко времени появления Римской империи (1 век до н.э.) человеку были известны семь металлов: золото, медь, серебро, свинец, олово, железо и ртуть. Имея такой ограниченный по нынешним меркам арсенал, человечество смогло совершить огромный скачок в своем развитии за очень короткое время и прийти к созданию полностью искусственных материалов, не существовавших до этого в природе.

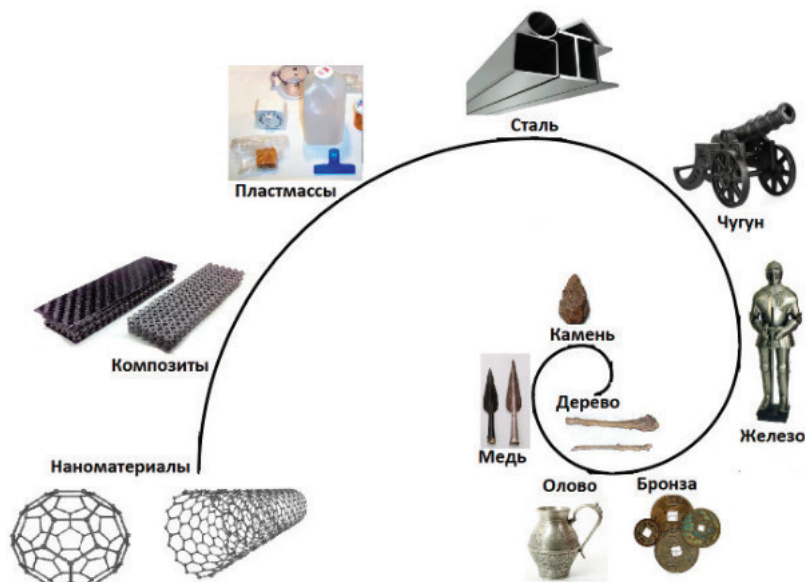


Рисунок 5.1.1 – Эволюция материалов, используемых человеком

На сегодняшний день разнообразие материалов, с которыми имеют дело ученые-материаловеды, поражает: от классических сталей до функциональных композиционных материалов, от кремниевых полупроводников до гибридных органо-неорганических перовскитных солнечных элементов, от магниевых сплавов до полимерных материалов для медицинского назначения и многих других (таблица 5.1.1).

Развитие технологий и ужесточение требований безопасности постоянно ставит перед материалами все новые и новые вопросы:

- что применять для тех или иных задач;
- как обрабатывать материал;
- как использовать материал;
- как его усовершенствовать?

Таблица 5.1.1 – Классификация основных современных материалов

Класс материалов	Группа материалов	Вид материала	Применение
Черные металлы и сплавы	Чугуны	Белые чугуны	Перелка в другие марки чугуна
		Серые чугуны (СЧ10, СЧ20, СЧ45)	Литейное производство
		Высокопрочные чугуны (ВЧ35, ВЧ40)	Изделия ответственного назначения в машиностроении, высокопрочные трубы (водоснабжение, водоотведение, газо-, нефтепроводы)
		Ковкие чугуны (КЧ50-5)	Трубы для водопровода, канализации, автомобильные компоненты
		Строительные стали (С380/230, С460/330, С520/400 и т.д.)	Строительство, мосты, краны, вагоны, арматура для железобетона
Стали	Стали	Машиностроительные стали (08, 10, 15, ... 85, 15Г, 20Г, ... , 65Г, 40Х, 40ХФА, ШХ15 и др.)	Детали машин, механизмов
		Коррозионно-стойкие стали (12Х17, 30Х13, 08Х18Н10 и др.)	Детали печей, пищевая и химическая промышленность, медицинские инструменты
		Жаропрочные и жаростойкие стали (10Х18Н12Г, 08Х18Г, 15Х28 и др.)	Ответственные детали энергомашиностроения, компрессоры, турбины, нагревательные элементы электрических печей и т.д.
Черные металлы и сплавы	Стали	Инструментальные стали (У7-У13, 11ХФ, Р6М5, Х6ВФ, 7ХГ2ВМ, 5ХНМ и др.)	Измерительный, режущий инструмент, штамповочный, деревообделочный инструмент

Продолжение таблицы 5.1.1

Класс материалов	Группа материалов	Вид материала	Применение
Цветные металлы и сплавы	Медь и ее сплавы	Техническая медь	Силовые кабели, провода в электротехнике, радиаторы охлаждения, водогазопроводные трубы
		Латунь (Л70, ЛС59-1, ЛЦ40Мц1,5 и др.)	Литейные и деформируемые сплавы для деталей арматуры, подшипники, штуцеры, втулки, детали морских судов и т.д.
		Бронза (БрАЖМц10-3-1,5, БрО6Ц6С3 и др.)	Литейный материал для машиностроения, авиационного и судостроения
	Алюминий и его сплавы	Технический алюминий	Кухонная посуда, упаковка, фольга, провода в электротехнике, изготовление зеркал, антикоррозионные покрытия
		Дюралюминий (Д1, Д16, Д18 и др.)	Сплавы для авиации, космонавтики, машиностроения
		Силумин (АЛП12, АК12, АК7Ц9 и др.)	Литейный материал для авто-, мото- и авиационного, бытового техника
		САП, САС	Поршни двигателей, работающих при температуре до 450 °С
	Титан и его сплавы	Титан технической чистоты (BT1-00, BT1-0)	Геттерный (газопоглощающий) материал для высоковакуумных насосов, химическая промышленность, зубные имплантаты
		α-сплавы (BT5, BT5-1)	Судостроение, судовая атомная энергетика, хороший литейный материал
		β-сплавы (ТС6, 4201)	Ортодонтия
		(α+β)-сплавы (BT6, BT8, BT22)	Зубные имплантаты, авиа- и ракетостроение

Продолжение таблицы 5.1.1

Класс материалов	Группа материалов	Вид материала	Применение
Цветные металлы и сплавы	Цирконий и его сплавы	Сплавы системы Zr-Nb (Э110, Э125, Г110, М5)	Атомная промышленность
		Сплавы системы Zr-Sn (Циркалой-2, Циркалой-4)	
		Сплавы системы Zr-Nb-Sn (Э635, Zir'lo)	
		Соединения циркония	
	Никель и его сплавы	Нихромы Х20Н80, инконели ХН62МТЮ	Нагреватели печей сопротивления, различные жаростойкие обшивки и др.
		Нимоники ХН77ТЮ	Материал активной зоны реакторов на быстрых нейтронах, лопатки газовых турбин
		Специальные сплавы. Хастеллой	Для корпусов ядерных реакторов
		Пермаллой (магнитный сплав Ni+Fe)	Трансформаторные слои и магнитные записывающие головки
		Элинвар (Ni+Fe+Cr)	Балансирные пружины для механических часов и хронометров
		Инвар (FeNi36)	Прецизионные приборы, часы, сейсмические датчики ползучести, клапаны в двигателях и больших формах для авиационного
		Нитинол (55 % Ni + 45 % Ti)	Медицина (лечение переломов, лечение сколиоза, кровеносных сосудов, ортопедия, стоматология), соединительные муфты, прессы, домкраты

Продолжение таблицы 5.1.1

Класс материалов	Группа материалов	Вид материала	Применение
Полупроводники	Полупроводниковые элементы	Германий, кремний, селен, теллур, мышьяк	Микроэлектроника и фотовольтаика
	Полупроводниковые сплавы	Арсенид галлия, нитрид галлия, теллурид кадмия, теллурид висмута и др.	
Полимеры	Термопласты	Полистирол	Одноразовая посуда, упаковка, теплоизоляционные плиты, декоративные материалы, медицинские одноразовые инструменты и т.д.
		Полиэтилен	
		Полипропилен	
	Реактопласты	Имидопласты	Теплонагруженные детали и конструкции, работающие при температурах выше 300 °С
		Фенопласты	Радиоэлектронная, авиа-, автопромышленность
		Эфиropласты (лавсан, алкидные смолы, поликарбонат, полиуретан)	Искусственный мех, ткани, трикотаж, клей, линолеум, теплицы
		Эпоксипласты	Малонагружаемые детали машин и приборов, герметик, антифрикционный материал
		Аминопласты	Игрушки, посуда, эмали, краски, клеи

Окончание таблицы 5.1.1

Класс материалов	Группа материалов	Вид материала	Применение
Композиционные материалы	Композиционные материалы с металлической матрицей	Стеклопластики	Строительство, судостроение, радиоэлектроника, бытовые предметы, спортивный инвентарь и т.д.
		Углепластики	Авиация, ракетостроение, машиностроение, протезы, спортивный инвентарь и т.д.
		Боропластики	Авиационная и космическая техника
		Органопластики	Авто-, судостроение, авиа- и космическая техника, спортивный инвентарь и т.д.
		Текстолиты	Электротехника, машиностроение, химическая промышленность, судостроение и т.д.
	Композиционные материалы с неметаллической матрицей	Металлическая основа из Al, Mg, Ni или Cu с наполнителем в виде волокон или дисперсных частиц	Авиа- и космическая техника
	Композиционные материалы на основе керамики	Керамика, упрочненная волокнами или дисперсными частицами	Детали для газовых турбин, ракетной и реактивной техники

Тест

5.1.1. Какой химический элемент является основой латуней?

- [illegible]

5.1.2. Сплавы какого элемента не применяются в авиации?

- [illegible]

5.1.3. Какие материалы не применяются в медицине?

- а) сталь; в) никелевые сплавы;
б) алюминиевые сплавы; г) циркониевые сплавы.

5.2 Металлы и сплавы

5.2.1 Железо и его сплавы

Почему в современном мире именно сплавы на основе железа стали самыми распространенными? Ведь есть сплавы более прочные, более тугоплавкие, с большей электропроводимостью и т.д. Ответ кроется в уникальном сочетании физических, механических, технологических и экономических свойствах железа:

- по содержанию в земной коре железо находится во втором месте среди металлов после алюминия;
- железо обладает несколькими аллотропическими превращениями, при которых меняются кристаллическая решетка, магнитные свойства (рисунок 5.2.1);
- железо достаточно легко обрабатывать, деформировать, штамповать, сваривать;
- фазовый наклеп при превращениях (изменение удельного объема в 1 %) позволяет в широком диапазоне менять механические свойства с помощью одной лишь термической обработки;
- с помощью легирования (специального добавления в состав сплава дополнительных элементов) можно получать новые сплавы с необходимыми структурой и свойствами.

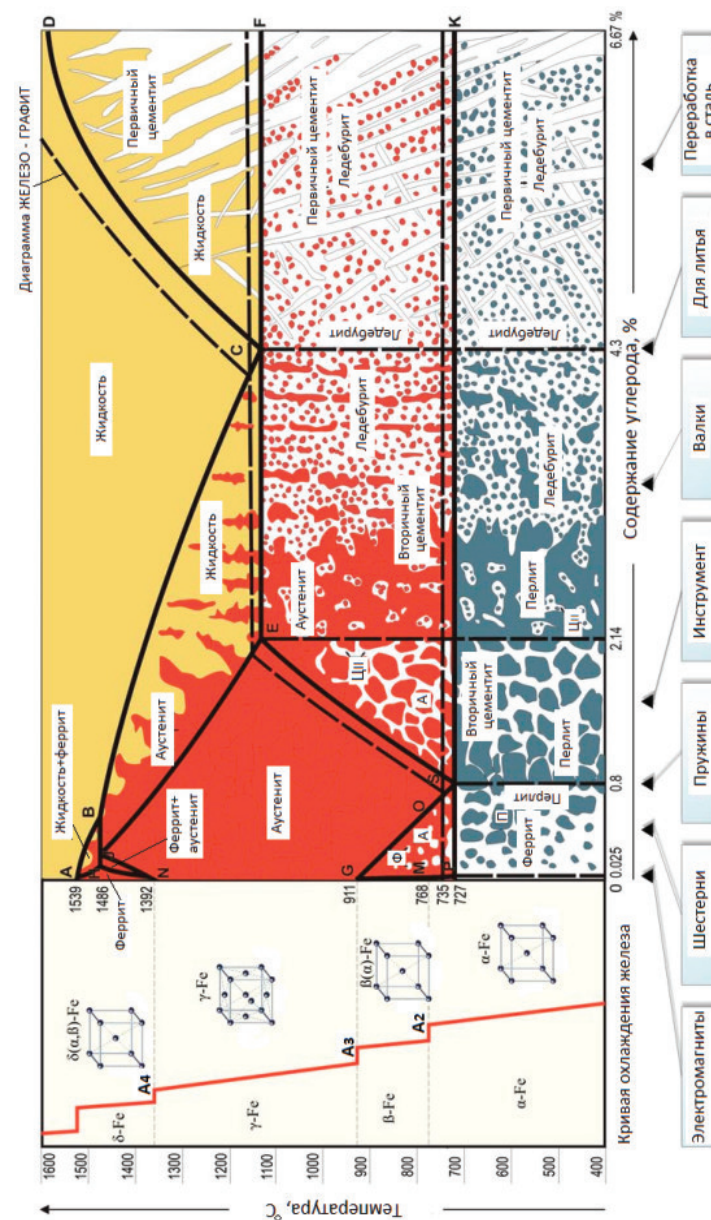


Рисунок 5.2.1 – Диаграмма фазового равновесия Fe – C

Сплавы железа с углеродом дали основу современного конструкционного материаловедения. В зависимости от содержания углерода мы можем получить более пластичные и прочные стали или более твердые и литейные чугуны. Сориентироваться в составе и состоянии систем материаловедов помогает «карта» – диаграмма фазового равновесия (рисунок 5.2.1). По ней, зная содержание компонентов и температуру, мы можем сказать, что должно быть в фазовом составе сплава, какие будут критические температуры превращений и какую структуру мы можем увидеть в микроскопе. Сплавы железа в зависимости от содержания углерода можно разделить на несколько групп:

- 1) технически чистое железо (с содержанием углерода до 0,025 %);
- 2) стали (с содержанием углерода от 0,025 до 2,140 %);
- 3) белые чугуны (с содержанием углерода от 2,14 до 6,67 %), в которых весь углерод находится в виде цементита (карбида железа);
- 4) серые чугуны (обычно с содержанием углерода от 2,03 до 4,25 %), в которых весь углерод в свободном состоянии находится в виде графита.

5.2.2 Чугуны

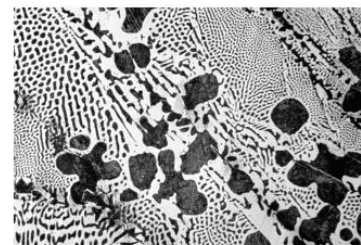
Чугун – это сплав железа с углеродом (и другими элементами), в котором содержание углерода – не менее 2,14 %. Углерод придает сплавам железа твердость, снижая пластичность и вязкость. Углерод в чугуне может содержаться в виде цементита и графита. В зависимости от формы графита и количества цементита выделяют белый, серый, ковкий и высокопрочный чугуны. Чугуны содержат постоянные примеси (Si, Mn, S, P), а в некоторых случаях также легирующие элементы (Cr, Ni, V, Al и др.). Без дополнительных обработок чугуны хрупки.

Белым чугуном называют сплав, где углерод находится в химическом соединении с железом Fe_3C (рисунок 5.2.2).

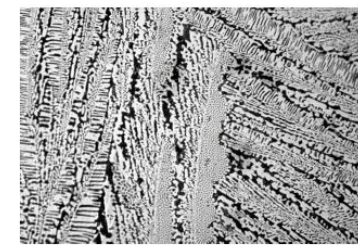
Излом имеет мелкозернистую или игольчатую фактуру матово-белого цвета. Сплав отличается:

- высокая твердость;
- стойкость к абразивному износу;
- устойчивость к коррозии в агрессивных средах и тяжелых условиях.

Белый чугун также отличается значительной хрупкостью, сплав плохо поддается сварке и резке. Жидкий металл плохо заполняет литейные формы, отливки дают значительную усадку, при остывании часто образуются трещины.



Белый доэвтектический чугун



Белый эвтектический чугун



Белый заэвтектический чугун

Рисунок 5.2.2 – Виды микроструктур белых чугунов

В сером чугуне углерод в основном присутствует в виде графита пластинчатой формы (рисунок 5.2.3). В форме соединений с железом содержится не больше 0,8% углерода. Сплав имеет следующие свойства:

- небольшая усадка и хорошая текучесть в расплавленном состоянии;
- высокая прочность на сжатие;
- хорошие антифрикционные свойства.

Серый чугун пластичнее, лучше поддается резке и сварке, чем белый. Сплав также отличается высокой хрупкостью, склонностью к образованию трещин при нагреве и резком охлаждении.

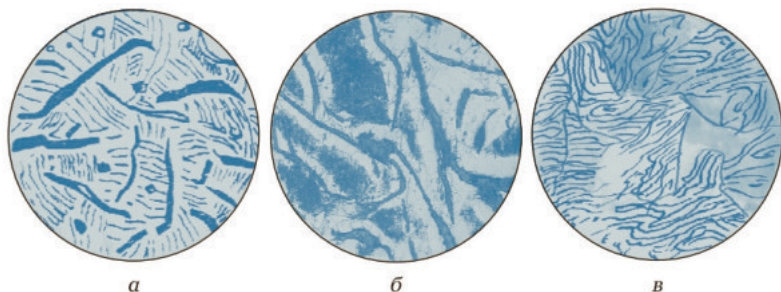
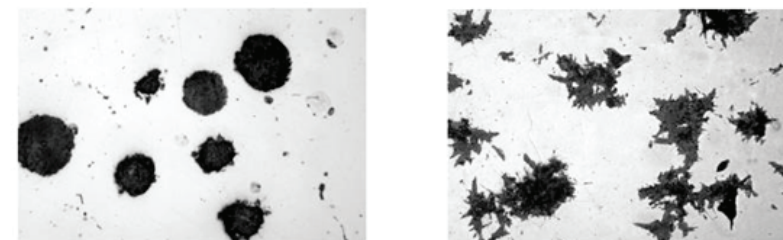


Рисунок 5.2.3 – Виды микроструктур серых чугунов

Высокопрочный чугун получают путем модифицирования серого чугуна, в который перед разливкой вводят магний в количестве до 0,5 %. Магний увеличивает поверхностное натяжение графита с образованием пузырьков пара, в которые диффундирует углерод. После затвердевания графит приобретает округлую форму (рисунок 5.2.4). Высокие механические свойства этого чугуна обусловлены тем, что шаровидный графит меньше разобщает металлическую основу чугуна, благодаря чему высокопрочный чугун имеет высокую прочность при достаточной пластичности и вязкости.

Ковкий чугун получается путем отжига (графитизации) белого доэвтектического чугуна. Отливки, полученные при ступенчатом отжиге, имеют пластичность до 12 %. При отжиге белого чугуна графит кристаллизуется в виде хлопьев и называется графитом отжига (рисунок 5.2.5). Ковкий чугун благодаря равноосной форме хлопьев, снижающей концентрацию напряжений, обладает повышенными характеристиками прочности и пластичности, способностью гасить вибрации и возможностью обработки резанием.



Шаровидный в высокопрочном чугуне

Хлопьевидный в ковком чугуне

Рисунок 5.2.4 – Микроструктура высокопрочного и ковкого чугунов

Выплавляется чугун, как правило, в доменных печах. Температура плавления чугуна – от 1150 до 1500 °С, т.е. примерно на 300 °С ниже, чем у чистого железа.

Сырьем для получения чугуна служат:

- железная руда (гематит Fe_2O_3 , магнетит Fe_3O_4 , лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, пирит FeS_2);
- восстановитель (кокс С);
- флюсы (известняк CaCO_3).

Технологический процесс производства чугуна состоит из следующих стадий:

- 1) подготовка руды (измельчение крупных кусков, спекание мелких частиц с углем);
- 2) загрузка шихты в доменную печь сверху через засыпной аппарат;
- 3) горение кокса с образованием угарного газа (СО);
- 4) восстановление оксидов железа до железа с помощью угарного газа;

- 5) насыщение железа углеродом в нижней части печи и превращение в чугун;
- 6) взаимодействие флюсов с оксидом кремния с образованием легкоплавкого шлака, собирающегося над чугуном;
- 7) периодический выпуск чугуна и шлака через отверстия.



Рисунок 5.2.5 – Схема выплавки в доменной печи

5.2.3 Стали

По сравнению с чугунами стали имеют более оптимальное сочетание механических (прочность, пластичность, вязкость) и технологических (свариваемость, обработка резанием, обработка давлением) свойств. Широкое многообразие марок сталей позволяет применять их в самых разных отраслях, начиная со строительства и заканчивая космосом. Виды классификаций сталей представлены в таблице 5.2.1.

Таблица 5.2.1 – Классификация сталей

Признак	Классификация
По химическому составу	Углеродистые (без легирующих элементов). Низколегированные (суммарное содержание легирующих элементов $C_{л.э} \leq 2,5 \%$). Легированные ($C_{л.э} \approx 2,5-10,0 \%$). Высоколегированные ($C_{л.э} > 10 \%$ при содержании $Fe \geq 45 \%$). Сплавы на основе железа ($Fe < 45 \%$, но больше, чем любого другого элемента)
По количеству легирующих элементов	Марганцовистые. Кремнистые. Хромистые. Никелевые. Хромо-никелевые. Хромомарганцовистые и т.д.
По назначению	Конструкционные (для изготовления различных деталей машин, механизмов и конструкций в машиностроении и строительстве). Инструментальные (для обработки материалов резанием, давлением, обладающие высокой твердостью, прочностью, износостойкостью и т.д.). Стали с особыми физическими и химическими свойствами
По структуре	В равновесном состоянии: - доэвтектоидные; - эвтектоидные; - заэвтектоидные.

Окончание таблицы 5.2.1

Признак	Классификация
По структуре	После охлаждения на воздухе: - перлитные; - бейнитные; - мартенситные; - ледебуритные; - ферритные; - аустенитные
По качеству	Стали обыкновенного качества ($P \leq 0,040 \%$, $S \leq 0,050 \%$). Качественные ($P \leq 0,035 \%$, $S \leq 0,035 \%$). Высококачественные ($P \leq 0,025 \%$, $S \leq 0,025 \%$). Особо высококачественные ($P \leq 0,025 \%$, $S \leq 0,015 \%$)

Микроструктура обычных углеродистых сталей зависит от количества углерода в составе (рисунок 5.2.6).

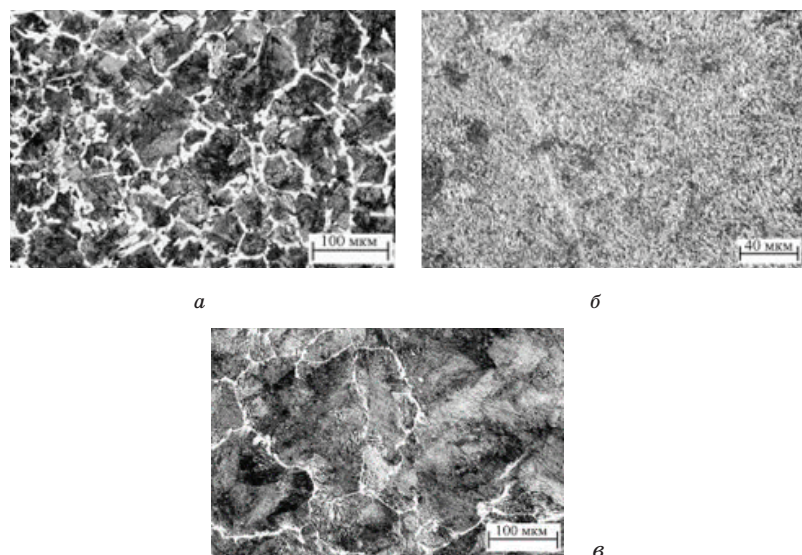


Рисунок 5.2.6 – Микроструктуры доэвтектоидной (а), эвтектоидной (б) и заэвтектоидной (в) стали после охлаждения на воздухе

Для использования в сложных условиях работы (агрессивные среды, высокие температуры, нагрузки и т.д.) углеродистые стали уже не подходят. Тут металловеды приходят к использованию дополнительных легирующих элементов в составе сталей. Прочитать марку стали поможет таблица 5.2.2, в которой приведено обозначение химических элементов в марке сталей.

Таблица 5.2.2 – Обозначение легирующих элементов в марках сталей

Маркировка	Элемент	Примечание
А	Азот	Буква А в начале марки стали обозначает автоматную сталь, а в конце – сталь высококачественную
Б	Ниобий	
В	Вольфрам	
Г	Марганец	
Д	Медь	
Е	Селен	
К	Кобальт	
Л	Бериллий	
М	Молибден	
Н	Никель	
П	Фосфор	
Р	Бор	Буква Р в начале марки стали обозначает быстрорежущую сталь, из которой изготавливают, например, промышленный режущий инструмент
С	Кремний	
Т	Титан	
Ф	Ванадий	
Х	Хром	
Ц	Цирконий	
Ч	Редкоземельные металлы	
Ш	–	Буква Ш в начале марки стали обозначает шарикоподшипниковую сталь
Ю	Алюминий	

Коррозионностойкие стали. Наряду с вышеперечисленными достоинствами железа у него есть один крупный недостаток – быстрая коррозия. Данную проблему можно решить с помощью легирования хромом. В количестве более 13 % он переводит обычную сталь в группу коррозионностойких, или проще говоря, нержавеющей. Из таких марок сталей, как 12X17, 08X18H10T, 40X13, изготавливают не только столовые приборы, но и медицинские инструменты, канистры для перевозки кислот и т.д.

Жаропрочные стали. При высоких температурах эксплуатации (более 600 °С) обычные углеродистые стали очень быстро теряют свои механические свойства. В таких условиях необходимо использовать легированные стали. Различают понятия жаропрочность и жаростойкость.

Жаропрочность – способность материала выдерживать механические нагрузки при высоких температурах в течение определенного времени. В таких условиях хорошо работают стали, легированные Cr, Ni, Mo, Nb, W, Al, Ti, B, N (10X18H12T, 37X12H8Г8МФБ, 10X11H20ТЗР).

Жаростойкость – способность материала сопротивляться газовой коррозии при высоких температурах (нагрузки отсутствуют или минимальные). В таких условиях хорошо работают стали, легированные Cr, Al, Si, Ni (08X18T, 05X27Ю5, 15X6СЮ, 12X18H9).

Быстрорежущие стали. Для изготовления инструмента, работающего при высоких скоростях резания (например, промышленные ножницы для резки проката), нелегированная углеродистая сталь не подходит, так как при температуре выше 150–200 °С она резко теряет свою твердость и износостойкость. Для таких инструментов применяют быстрорежущие стали, легированные обязательно W, Cr, также могут быть Co, Mo, V (например, P18, P6M5).

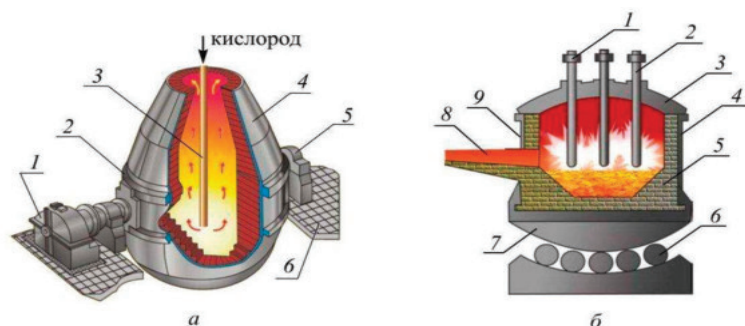
5.2.4 Производство сталей

Объемы производства стали в мире растут от года к году, во многом обеспечивая нужды практически всех отраслей промышленности. В 2023 году объем производства стали в мире составил 1 888,3 млн тонн, из них в России выплавлено 75,8 млн тонн.

В настоящее время самыми распространенными способами получения сталей являются кислородно-конвертерное производство и электротермическое производство (таблица 5.2.3, рисунок 5.2.7).

Таблица 5.2.3 – Сравнение основных методов производства стали

Параметр	Кислородно-конвертерный	Электросталеплавильный (в электропечах)
Плюсы	1. Высокая производительность и эффективность. 2. Применение чистого кислорода с двухсторонней подачей. 3. Быстрая плавка. 4. Высококачественные стали	1. Выплавка сталей с высокими эксплуатационными свойствами (устойчивость к коррозии). 2. Экологичность. Снижены выделения фосфора и серы. 3. Быстрая выплавка. 4. Максимально точный контроль качества
Минусы	Высокие затраты на оборудование	Высокая стоимость электроэнергии
Объемы производства (на мировом рынке), %	65	35
Время плавки	От 30 мин до 1 ч	От 15 мин
Производительность	От 300 тонн за одну плавку	От 400 тонн
Тип сырья	Легирующие компоненты, чугун, металлолом	Жидкий чугун с легирующими добавками
В каких странах используется, %	Россия (65) Китай (90) Индия (46) США (31)	Россия (35) Китай (10) Индия (54) США (69)



Выплавка стали: а — в кислородном конвертере (1 — механизм поворота; 2 — опорное кольцо; 3 — кислородная фурма; 4 — корпус; 5 — опорный узел; 6 — площадка завалки лома и заливки чугуна) б — в дуговой электросталеплавильной печи (1 — электрододержатель; 2 — электрод; 3 — огнеупорный свод; 4, 9 — стальной кожух; 5 — огнеупорная кирпичная футеровка; 6, 7 — механизм поворота; 8 — желоб)

Рисунок 5.2.7 – Способы выплавки сталей

Кислородно-конвертерное производство (с продувкой кислорода сверху и снизу). Этот способ называют универсальным – наиболее популярным. На него приходится до 65 % мирового объема выплавки стали. Технология предполагает продувку чугуна в конвертерном оборудовании через подачу чистого кислорода, т.е.:

- заливка чугуна осуществляется при температуре 1400 °С;
- при подаче значительного объема кислорода происходит окисление – в результате вся шихта расплавляется;
- после удаления углеродистых излишков продувка (на нее уходит до 20 мин) прекращается;
- для повышения свойств добавляются легирующие элементы;
- время плавки – не более 40–60 мин.

Готовый материал застывает в форме плит или бляха. Технологию выбирают для изготовления низкоуглеродистых, легированных, углеродистых сталей.

Электротермическое производство стали. Суть метода – в преобразовании электроэнергии в тепловую. Она осуществляется в специальных дуговых печах со сферическим днищем. Внутренняя поверхность оборудования облицовывается металлом. Устройство функционирует лишь при подключении к трехфазной сети. Между электродом и металлом, подвергающимся плавке, возникает дуга. Она служит источником мощного притока тепла. Выделим и другие особенности технологии:

- температурный режим 1650–2000 °С – гарантия высокоэффективной плавки проблемных шлаков;
- большая вместимость электродуговых печей – 3,5–400,0 тонн сырья;
- использование железной руды и скрапа (стальной лом) в качестве шихты;
- возможность выплавки высококачественных коррозионностойких, жаропрочных, строительных высоколегированных сталей с оптимальным содержанием вольфрама, молибдена, ванадия.

К крупнейшим производителям сталей относятся:

- 1) НЛМК;
- 2) ЕВРАЗ;
- 3) ММК;
- 4) «Северсталь»;
- 5) «Металлоинвест»;
- 6) «Трубная металлургическая компания»;
- 7) «Мечел».

В производстве нержавеющей стали задействованы «Ашинский метзавод», «Волгоградский металлургический комбинат», «Электросталь», НПО «Стальпром».

Тест

Базовый уровень

5.2.1. Какой способ производства сталей является наиболее распространенным?

- а) кислородно-конвертерный;
- б) доменный;
- в) электросталеплавильный;
- г) мартеновский.

5.2.2. Какой легирующий элемент позволяет перевести сталь в класс нержавеющих?

- а) Ni;
- б) Al;
- в) Si;
- г) Cr.

Продвинутый уровень

5.2.3. Какого вида графитных включений не бывает в чугунах?

- а) пластинчатый;
- б) дисперсный;
- в) шаровидный;
- г) хлопьевидный.

5.2.4. Сколько аллотропических превращений присутствует в железе?

5.3 Полупроводники

Из 118 известных на сегодня элементов Периодической таблицы Менделеева 85 являются металлами, 33 – неметаллами. При этом 13 из них обладают полупроводниковыми свойствами и 20 – диэлектрическими.

Проводниками называют материалы, которые способны проводить электрический ток, при этом с повышением температуры их электропроводность уменьшается. К проводникам относятся все металлические материалы.

Диэлектрики часто называют изоляторами, это связано с тем, что такие материалы не проводят электрический ток. Отсюда можно предположить, что **полупроводники** – это такие материалы, которые обладают некими промежуточными свойствами между проводящими ток металлами и не проводящими диэлектриками.

При этом электропроводность полупроводников увеличивается при увеличении температуры и (или) под действием света. Если материал в чистом виде обладает полупроводниковыми свойствами, его называют *собственным полупроводником*. Элементы, относящиеся к собственным полупроводникам, расположены в 4-м столбце таблицы Менделеева. Самым известным и распространенным полупроводником является кремний.

Полупроводники действуют как диэлектрики при 0 К, т.е. $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$. Свободные носители заряда отсутствуют, и сопротивление полупроводника бесконечно высоко (рисунок 5.3.1).

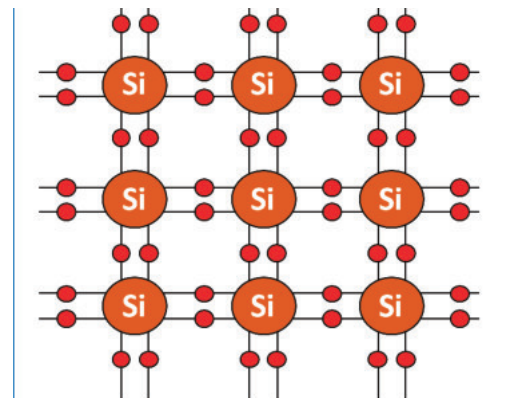


Рисунок 5.3.1 – Полупроводник при $T = 0\text{ К}$

В отличие от проводников носители заряда в полупроводниках возникают только за счет внешней энергии (теплого перемешивания, света). Тепло внутри материала превращается в дополнительную энергию, которая позволяет электронам преодолеть притяжение к атомам и перемещаться внутри материала, пока излишки энергии не иссякнут. Освободившееся место принято называть дыркой (рисунок 5.3.2).

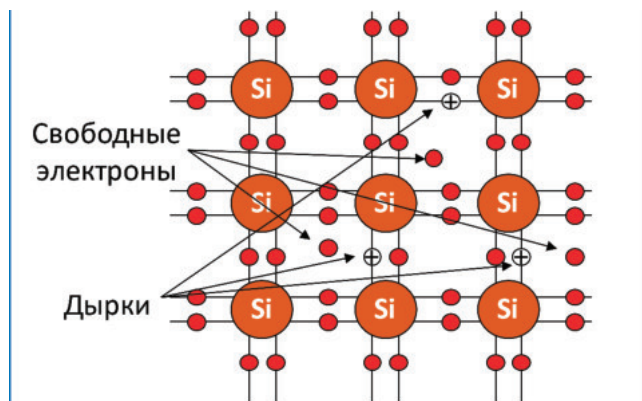


Рисунок 5.3.2 – Полупроводник при $T > 0 \text{ К}$

Для упрощения модели перемещения зарядов в твердых телах было принято называть *электроны* – отрицательно заряженными частицами, а *дырки* – положительно заряженными. Электроны и дырки равны по величине, но противоположны по полярности. При этом каждый электрон и дырка внутри материала распределены равномерно и занимают определенные места, в зависимости от энергии, которой они обладают.

Для визуализации и объяснения схемы движения электронов и дырок в полупроводнике была разработана энергетическая диаграмма, которая называется зонной структурой полупроводника. Для разных материалов в зависимости от их химической природы зонная диаграмма будет различаться, при этом для одного и того же материала с разной степенью и типом легирования зонная диаграмма будет одной и той же с небольшими дополнениями.

Исходя из планетарной модели (рисунок 5.3.3), электроны в атоме вращаются вокруг ядра на орбитах согласно уровням энергий, которыми они обладают. Таким образом, при изучении атома были получены спектральные линии, которые представляли собой линейчатый спектр. Для каж-

дого твердого тела такой спектр будет различаться и соответствовать определенному дискретному набору спектральных линий, характерных для данного материала, на основе этого были разработаны современные методы исследования материалов.

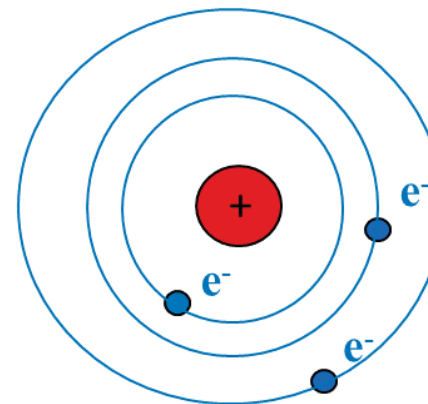


Рисунок 5.3.3 – Планетарная модель атома

Все электроны, находящиеся на своих орбитах с определенным уровнем энергии, называют валентными, а энергетическая зона, включающая энергетические уровни валентных электронов, называется валентной.

Энергетические уровни, не занятые электронами, а также энергетические уровни положительных (дырки) или отрицательных (свободные электроны) носителей заряда являются теми уровнями, благодаря которым происходит перенос заряда внутри полупроводника, их объединяют в зону проводимости. Зона проводимости полупроводников принимает электроны из валентной зоны.

Зазор между соседними зонами, представляющий диапазон энергий, в которых нет электронов, называется запрещенной зоной. По сравнению с диэлектриками ширина запрещенной зоны в полупроводниках меньше. Это позволяет

электронам из валентной зоны переходить в зону проводимости при получении любой внешней энергии. В проводниках запрещенная зона отсутствует. Схематичное изображение зонных диаграмм показано на рисунке 5.3.4.

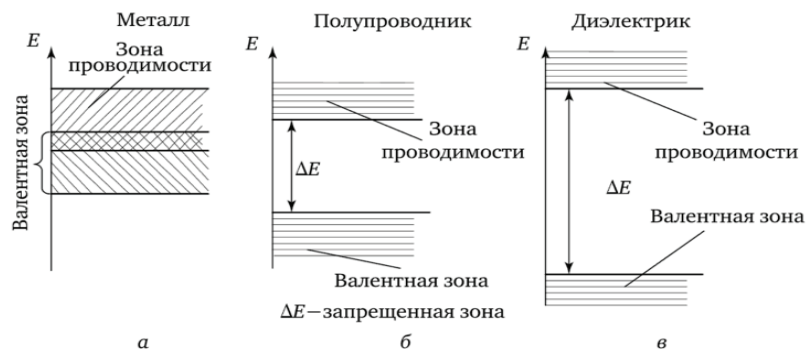


Рисунок 5.3.4 – Зонная диаграмма металла (а), полупроводника (б) и диэлектрика (в)

Электрические свойства полупроводников можно изменять при добавлении в состав материала небольшого количества примеси. Данный процесс называется легированием. При этом в зависимости от типа примеси мы можем увеличивать или уменьшать как количество электронов, так и количество дырок.

Для обогащения полупроводника свободными электронами в качестве примеси используют элементы с большим количеством электронов на внешней оболочке. Так, для собственных проводников из 4-го столбца (Ge, Si) используют в качестве примеси элементы из 5-го столбца (P, As, Sb, Bi) (рисунок 5.3.5).

Так как примесь из 5-го столбца имеет пять электронов на внешней оболочке, а полупроводник только четыре, при взаимодействии один электрон полупроводника остается несвязанным, тем самым в объеме материала появляются

свободные электроны при комнатной температуре. Примесь такого типа называют донорной, а легированный полупроводник, обогащенный электронами, называют электронным или полупроводником *n*-типа (от англ. *negative* – отрицательно заряженный). При этом электроны являются основными носителями заряда. Дырки в электронном полупроводнике являются неосновными носителями (см. рисунок 5.3.5).

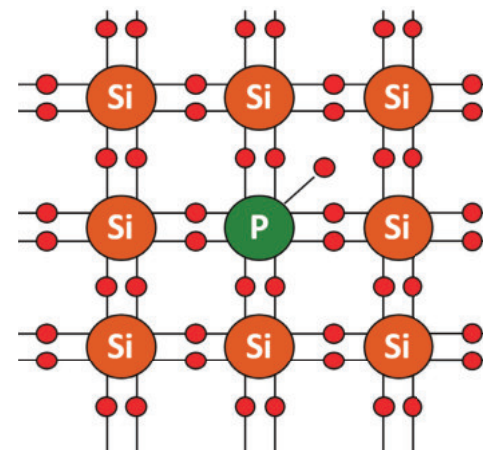


Рисунок 5.3.5 – Полупроводник, легированный донорной примесью

Для обогащения полупроводника свободными дырками в качестве примеси используют элементы с меньшим количеством электронов на внешней оболочке. Так, для собственных проводников из 4-го столбца (Ge, Si) используют в качестве примеси элементы из 3-го столбца (B, Al, In, Ga) (рисунок 5.3.6).

Так как примесь из 3-го столбца имеет три электрона на внешней оболочке, а полупроводник – четыре, при взаимодействии один электрон полупроводника остается несвязанным, тем самым в объеме материала появляются

свободные дырки при комнатной температуре. Примесь такого типа называют акцепторной, а легированный полупроводник, обогащенный дырками, называют дырочным или полупроводником *p*-типа (от англ. *positive* – положительно заряженный). При этом дырки являются основными носителями заряда. Электроны в дырочном полупроводнике являются неосновными носителями.

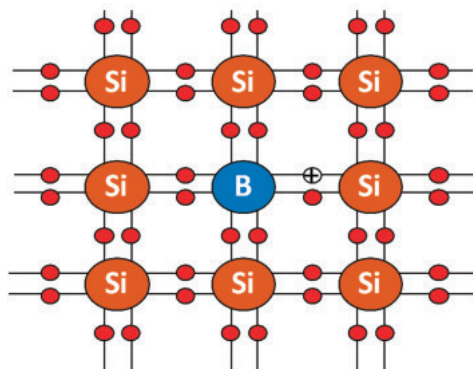


Рисунок 5.3.6 – Полупроводник, легированный акцепторной примесью

«Лишние» электроны в полупроводниках *n*-типа и «лишние» дырки в полупроводниках *p*-типа обеспечивают примесную проводимость. Проводимость, обусловленная электронами и дырками, одинаково важна и позволяет использовать полупроводниковые материалы в широком спектре компонентов и устройств. Транзисторы, диоды, фотодатчики, микроконтроллеры, интегрированные микросхемы и многие другие электронные компоненты состоят из полупроводников. Датчики температуры изготавливаются на основе полупроводниковых приборов, они используются в машинах для 3D-печати, в микрочипах и беспилотных автомобилях, в калькуляторах, солнечных батареях, компьютерах и других электронных устройствах, в транзисто-

рах и МОП-транзисторах, в качестве переключателя в электрических цепях.

Так, например, микропроцессоры, используемые для управления космическими аппаратами, поездами, роботами и т.д., состоят из транзисторов и других управляющих устройств, изготовленных из полупроводниковых материалов.

Полупроводники используются практически во всех электронных устройствах. Без них наша жизнь была бы совсем другой. Их надежность, компактность, низкая стоимость и контролируемая проводимость электричества делают их идеальными для использования в различных целях и для производства всех элементов микроэлектроники.

Контрольные вопросы

Базовый уровень

5.3.1. Объясните различие между проводниками, полупроводниками и диэлектриками.

5.3.2. Какие носители заряда существуют в полупроводниках?

5.3.3. Чем различаются зонные диаграммы полупроводника, диэлектрика и проводника?

5.3.4. Какой процесс называют легированием?

5.3.5. Какие типы полупроводников бывают в зависимости от типа примеси?

Продвинутый уровень

5.3.6. При добавлении в качестве примеси фосфора какой тип проводимости кремния мы получим?

5.3.7. При добавлении в качестве примеси бора какой тип проводимости кремния мы получим?

5.3.8. Что такое собственная проводимость?

5.3.9. На каком принципе основаны качественные методы анализа материалов?

5.4 Полимеры

С полимерными материалами природного происхождения, такими как целлюлоза, натуральный шелк или природный каучук, человечество знакомо очень давно. Однако массово полимеры и материалы на их основе вошли в нашу жизнь в середине XX века благодаря бурному развитию химии высокомолекулярных соединений, химических технологий и потребности в новых легких материалах. Если мы посмотрим вокруг себя, то увидим обилие полимерных материалов, которые широко используются при изготовлении упаковки, бытовой техники, электрооборудования, в медицине, транспорте, машиностроении, авиации, ветроэнергетике. Их доля в общем объеме используемых конструкционных материалов составляет порядка 40 % и продолжает увеличиваться.

Постоянно появляются новые виды полимерных материалов, обладающие новыми сочетаниями свойств, что открывает дополнительные области для их применения и позволяет создавать новые устройства и конструкции. Примерами недавно появившихся решений, использующих полимерные материалы, являются ионообменные и газоразделительные мембраны, биоинженерные конструкции, искусственные мышцы.

Полимерные материалы получили широкое распространения благодаря малой плотности, невысоким температурам переработки в изделия, простоте механической обработки, что позволяет заменять металлические материалы, если прочности достаточно для работы в конкретном изделии. Это позволяет получать необходимые потребительские качества материала, уменьшать вес, снижать стоимость изделий.

Почему мы говорим о полимерных материалах, а не о полимерах в чистом виде? Это связано с тем, что на практике для получения необходимых функциональных характеристик изделий и конструкций, к примеру для обе-

спечения стойкости к воздействию ультрафиолета, влаги, температуры, кислорода воздуха, а также заданной прочности и долговечности, в полимеры вводят различные добавки и наполнители.

Что же такое полимеры, как они устроены и от чего зависят их свойства?

Полимерное состояние – это особая форма существования химических соединений, которая по своему химическому и физическому поведению отличается от поведения низкомолекулярных веществ, из которых они получаются. Полимерами называются высокомолекулярные соединения, молекулы которых состоят из большого числа атомных группировок, соединенных химическими связями в длинные цепи, т.е. химические соединения, имеющие молекулярную массу от нескольких тысяч до нескольких миллионов грамм на моль.

Международный союз теоретической и прикладной химии (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) рекомендует определение «полимер – это вещество, состоящее из молекул, характеризующихся многократным повторением одного или более типов составных звеньев, соединенных между собой в количестве, достаточном для проявления комплекса свойств, который остается практически неизменным при добавлении или удалении одного или нескольких составных звеньев».

Исходные низкомолекулярные соединения, образующие химическую структуру полимера, называют мономерами, многократно повторяющиеся группировки, являющиеся остатками мономеров, называются звеньями или мономерными звеньями. Для описания полимера используют величину степени полимеризации, которая характеризует среднее число мономерных звеньев в единичной макромолекуле и молекулярный вес полимера, который определяют как произведение степени полимеризации на молекулярный вес единичного звена, образующего полимер.

Полимеры получают синтезом из низкомолекулярных соединений мономеров двумя основными способами: полимеризацией, поликонденсацией.

При полимеризации макромолекулы образуются в результате раскрытия ненасыщенных связей или циклов мономеров. При этом химический состав мономеров и мономерных звеньев полимера одинаков.

При поликонденсации мономеры соединяются в полимер в результате реакции концевых функциональных групп.

Из реакций полимеризации наиболее распространена полимеризация мономеров, содержащих кратные $C=C$ связи, в процессе цепной реакции молекулы мономера последовательно присоединяются к активному центру, расположенному на конце растущей цепи. В зависимости от природы активного центра различают радикальную и ионную полимеризацию.

Основными способами проведения полимеризации являются полимеризация в массе (в блоке), в растворе, в эмульсии, в суспензии.

Полимеризацию в массе проводят в реакторах-полимеризаторах или в специальных формах. Если образующийся полимер нерастворим в исходном мономере, то он образуется в виде порошка или пористых частиц, если же растворим в мономере, то образуется смешанная масса или блок заподимеризовавшегося материала. Полимеризацией в массе получают полиметилметакрилат (оргстекло), полистирол, поливинилхлорид. Для инициирования полимеризации применяют катализаторы, нагрев.

При полимеризации в растворе мономер растворяют в растворителе и загружают в реактор, оборудованный системами нагрева и мешалниками.

Если полимер также растворяется в растворителе, то готовый продукт представляет собой раствор полимера, в случае если полимер в отличие от мономера нерастворим, то он выпадает в осадок.

Полимеризация в растворе – промышленный метод многих крупно- и среднетоннажных полимеров, таких как полиэтилен, полипропилен и их сополимеры. Одним из недостатков метода является необходимость удаления катализатора и очистки полимера от растворителя и сбора растворителя для дальнейшего использования.

Полимеризация в эмульсии широко используется при производстве каучуков, поливинилацетата.

Мономер диспергируют в воде (или другой среде), практически не растворяющей ни мономер, ни полимер, получая эмульсию мономера, которую стабилизируют с использованием поверхностно активных веществ, после чего в систему вводится инициатор. К достоинствам метода относятся высокая скорость процесса, высокий выход продукта, возможность получения продуктов с большими молекулярными массами.

Полимеризация в суспензии похожа на эмульсионную, но образование полимера происходит в каплях чистого мономера. Суспензионную полимеризацию проводят путем интенсивного перемешивания полимера с водой, получаемая при этом дисперсия стабилизируется водорастворимыми добавками. Полимер образуются в виде шарообразных частиц в процессе перемешивания дисперсии. Полимеризацией в суспензии получают поливинилхлорид, полистирол, полиметилметакрилат.

При поликонденсации рост цепи полимера осуществляется в результате химического взаимодействия функциональных групп, входящих в состав молекул-мономеров. Поликонденсация – это ступенчатый процесс образования полимеров из двух или более функциональных мономеров, сопровождающийся выделением низкомолекулярных веществ (H_2O , галогенводородов, спиртов). Если молекулы-мономеры содержат две функциональные группы, то рост полимерной цепи происходит в одном направлении. Образуются линейные макромолекулы. В случае трех и более функциональных групп образуются разветвленные макромолекулы или структуры.

На рисунке 5.4.1 показана структура одного из самых распространенных полимеров – полипропилена. Исходным веществом (мономером) для его получения является ненасыщенный, непредельный углеводород пропилен (пропен) с химической формулой C_3H_6 , скобками выделено мономерное звено в составе макромолекулы (рисунок 5.4.1, а).

В результате реакции полимеризации (5.4.1) пропилена в присутствии катализатора получают макромолекулы полипропилена состоящие из мономерных звеньев $-(C_3H_6)-_n$. В зависимости от температуры, давления, типа катализатора получают макромолекулы с различной структурой и степенью полимеризации – n :

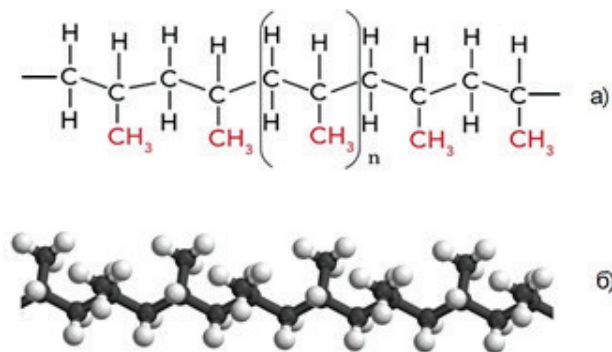
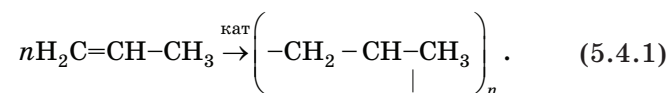


Рисунок 5.4.1 – Структура полипропилена:
а – мономерное звено в составе макромолекулы;
б – молекула полипропилена, 3D-структура

По происхождению полимеры разделяют на природные, искусственные и синтетические. Природные встречаются в природе, например целлюлоза, натуральный каучук, искусственные получают путем модификации природных

полимеров, например вискозные и ацетатные волокна, получаемые переработкой целлюлозы. Синтетические полимеры получают путем синтеза из низкомолекулярных соединений. Примером таких полимеров являются полисульфон, полифениленсульфид, полиэфирэфиркетон, полиэтилен и др.

Классификацию полимеров проводят в зависимости от химического состава основной цепи, структурной формулы образующего мономерного звена, однородности элементного состава основной цепи макромолекулы, типа химических связей в основной цепи, типу заместителей.

В зависимости от строения основной цепи полимеры могут классифицироваться как гомоцепные или гетероцепные. В гомоцепных полимерах основная цепь состоит из одинаковых атомов, например углерода, серы или фосфора, а в гетероцепных – из разных, например углерода и кислорода, углерода, кислорода и серы.

При классификации по химическому составу полимеры можно разделить на органические, неорганические и элементоорганические полимеры. Основные цепи органических полимеров состоят из атомов углерода (карбоцепные полимеры), а также в дополнение к углероду могут содержать такие элементы, как сера, кислород, азот (гетероцепные полимеры). В боковых цепях органических полимеров кроме водорода и углерода могут содержаться атомы фтора, хлора, кислорода, азота, серы. Примерами карбоцепных полимеров являются полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид.

Основные цепи неорганических полимеров не содержат атомов углерода, а состоят только из атомов серы, фосфора (гомоцепные) или звенья вида $-[X-Y]-_n$, в которых в качестве одного из атомов выступают Si, Ti, Al, Bi, соединенные, например, с кислородом или фтором. Примерами неорганических полимеров являются поликремниевая кислота, полифосфонитрилхлорид.

Элементоорганические полимеры, например поликарбосиланы, сочетают в составе мономерного звена макромоле-

кулы наряду с углеводородными группами неорганические фрагменты.

Вместе с химическим строением повторяющегося звена в макромолекуле на свойства полимеров огромное влияние оказывает то, каким образом эти звенья связаны между собой внутри молекулы.

В процессе полимеризации мономеров с несимметричным строением могут быть различные варианты соединения соседних звеньев. Возможны четыре типа присоединения молекулы мономера к активному центру растущей полимерной цепи: «голова к хвосту», «хвост к голове», «голова к голове», «хвост к хвосту». Проиллюстрируем присоединение в процессе роста полимера на примере полипропилена. Присоединение «хвост к хвосту» показано на рисунке 5.4.2, *а*, «голова к голове» на рисунке 5.4.2, *б*, «голова к хвосту» на рисунке 5.4.2, *в*.

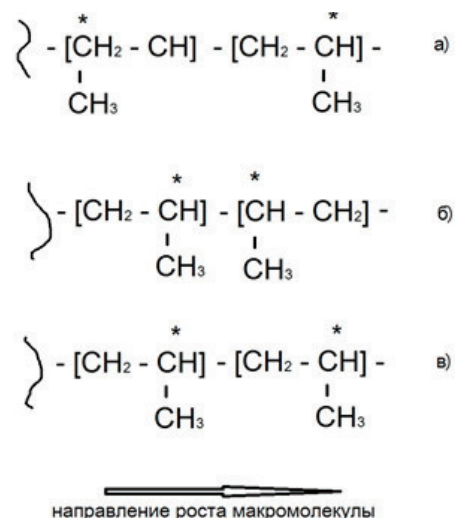


Рисунок 5.4.2 – Присоединение молекулы мономера к активному центру растущей полимерной цепи: *а* – «хвост к хвосту»; *б* – «голова к голове»; *в* – «голова к хвосту»

На рисунке 5.4.1, *б* представлена 3D-структура молекулы полипропилена, на котором показано, что тип присоединения в процессе роста молекулы все время изменялся, также можно увидеть, что способность изгибаться у молекулы ограничена группами CH_3 в боковой цепи.

На свойства полимеров оказывает влияние не только их химический состав, но и геометрическое строение макромолекулы. Полимеры, состоящие из одних и тех же мономерных звеньев, но имеющие различную геометрическую структуру основной цепи, будут различаться по свойствам, например будут иметь разные температуры плавления, различающуюся вязкость расплавов при одинаковых условиях, разную способность к кристаллизации. В процессе роста макромолекулы группы атомов-заместителей могут занимать положения в плоскости относительно основной цепи в определенной конфигурации. В зависимости от порядка расположения заместителей *R* возможны три изомерные структуры: изотактическая, синдиотактическая, атактическая или гетеротактическая структура полимера.

Изотактическая структура – все радикалы расположены по одну сторону от плоскости цепи (рисунок 5.4.3, *а*).

Синдиотактическая структура – группы *R* чередуются (верх – низ) (рисунок 5.4.3, *б*).

Атактическая или гетеротактическая структура полимера – группы *R* относительно плоскости цепи расположены беспорядочно, произвольно (рисунок 5.4.3, *в*).

В зависимости от строения макромолекул полимеры разделяют на линейные, разветвленные, сетчатые.

Линейные состоят из длинных цепей, разветвленные содержат цепи с боковыми ответвлениями, число и длина которых различны, сетчатые состоят из макромолекулярных цепей, соединенных друг с другом поперечными химическими связями. Чем выше плотность сшивки полимера, тем выше его твердость.

Кроме полимеров, построенных из одного вида повторяющихся звеньев, существует большое количество сополи-

меров, которые содержат в основной цепи два и более типа звеньев. Примерами сополимеров являются бутадиен-нитрильные, бутадиен-стирольные каучуки, ABS (акрилонитрил-бутадиен-стирольный) пластики.

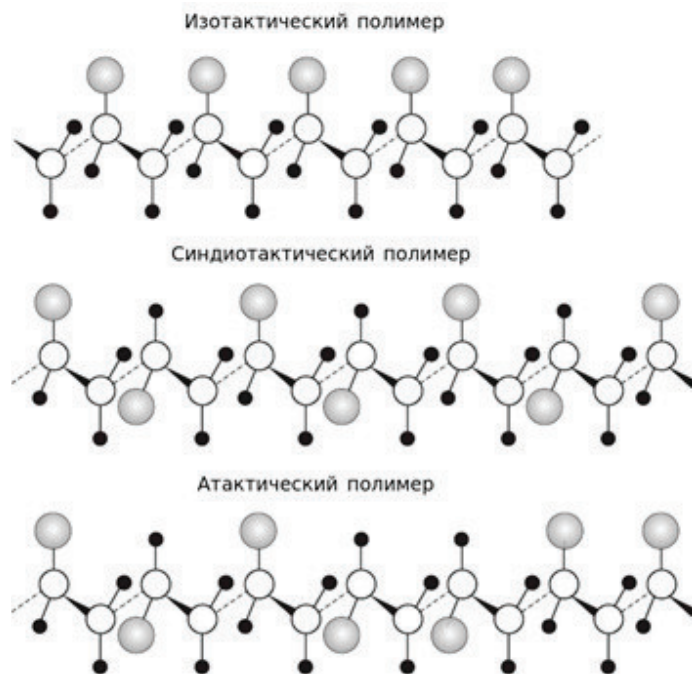


Рисунок 5.4.3 – Изомерные структуры в зависимости от порядка расположения заместителей R: *a* – изотактическая структура; *b* – синдиотактическая структура; *в* – атактическая, или гетеротактическая, структура полимера

Структура сополимера может быть идеальной: -A-B-A-B-A-B-, такой тип сополимеров называется чередующимся,

а может состоять из звеньев, распределенных по цепи случайным образом: -A-A-B-A-B-A-A-B-B-A-A-B-B-, тогда мы получаем статистический сополимер.

Если макромолекула сополимера состоит из чередующихся довольно длинных кусков (блоков) одного мономера: -A-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-B-B-B-B-B-A-A-A-A-A-, то такие сополимеры называют блок-сополимерами.

Блок-сополимеры – это линейные макромолекулы, в которых повторяющиеся звенья распределены по цепи в виде довольно длинных последовательностей.

Разветвленные макромолекулы, в которых основная цепь полностью состоит из одного мономера, а разветвления – из звеньев другого мономера, называются привитыми.

В макромолекулах полимеров имеются одинарные (простые) и кратные (двойные и тройные) связи. Простые связи определяют внутреннее вращение звеньев, гибкость цепей и высокоэластические свойства полимеров. Кратные связи обуславливают реакционную способность полимеров (деструкцию и структурирование).

В зависимости от химического строения цепи ее способность изгибаться может существенно различаться. Наименьший отрезок цепи, способный изгибаться, носит название сегмента. Таким образом, макромолекулу полимера можно представить в виде набора сегментов, способных независимо перемещаться под действием внешних воздействий. Химическая структура макромолекулы определяется химической природой мономерных звеньев, в то время как геометрическая зависит от пространственного расположения звеньев друг относительно друга, называемого конформацией.

Конформация представляет собой геометрическую структуру, реализующуюся при вращении сегментов цепи (или соседних мономерных звеньев) вокруг отдельных связей. Следует подчеркнуть, что такое вращение не приводит к разрыву или перестройке химических связей. Изменение конформации происходит под действие тепла, взаимодействия с растворителем или приложенного внешнего напря-

жения. При этом могут реализовываться следующие конформации:

- «статистический клубок», такую конформацию обычно принимают макромолекулы полимеров, для которых интенсивность внутреннего теплового движения превышает внешнее воздействие;
- «спираль», ее принимают макромолекулы, у которых дальний порядок поддерживается, например, водородными связями;
- «глобула» – конформация очень компактной частицы, по форме близкой к сферической. Такую конформацию имеют макромолекулы полимеров с очень сильным внутримолекулярным взаимодействием, например полимеры, содержащие атом фтора (политетрафторэтилен);
- «стержень» – вытянутая макромолекула (волокна);
- «складчатая конформация» характерна для полимеров в кристаллическом состоянии;
- «конформация коленчатого вала».

Конформация макромолекул может изменяться в зависимости от различных внешних факторов: температуры, механического напряжения и др. Например, при деформации растяжения макромолекула полибутадиена переходит из статистического клубка в вытянутую струну.

Гибкость и подвижность сегментов в сочетании с большой длиной макромолекул обеспечивает появление особых свойств полимерных материалов, таких как способность к большим обратимым деформациям, во много раз превышающим деформацию низкомолекулярных веществ, способность к ориентационному вытягиванию, высокую вязкость растворов, сложный характер взаимодействия с растворителями и др.

Контрольные вопросы

5.4.1. Какие преимущества дает использование полимеров в технике?

5.4.2. Чем отличается полимерное состояние вещества?

5.4.3. Какие способы получения полимерных материалов вы узнали?

5.4.4. Чем отличается полимеризация от поликонденсации?

5.4.5. Какие виды полимеризации используются в технике, чем они отличаются?

5.4.6. Что такое мономер, чем мономер отличается от мономерного звена?

5.4.7. В чем различие между синтетическими и искусственными полимерами?

5.4.8. В чем различие между гомоцепными и гетероцепными полимерами?

5.4.9. Какие варианты присоединения мономерных звеньев с не симметричным строением возможны при полимеризации?

5.4.10. Будут ли различаться по свойствам полимеры, состоящие из одних и тех же мономерных звеньев, но имеющие различную геометрическую?

5.4.11. Что такое сополимер, какие виды сополимеров вы знаете?

5.4.12. Что такое сегмент. От чего зависит гибкость макромолекулы?

5.4.13. Что такое конформация? Какие виды конформаций макромолекул вы знаете?

5.5 Композиты

Материаловедение композиционных материалов – это одно из наиболее стремительно развивающихся направлений, что обусловлено возможностью создавать под каждую конкретную задачу свой «оптимальный» материал, обладающий наилучшим сочетанием функциональных характеристик. Создание материалов ориентировано не на получение набора максимально высоких свойств, а на обеспечение

наиболее выгодного с точки зрения работы конкретной конструкции их сочетания, поэтому разработчикам приходится постоянно идти на компромиссы. Например, меняя условия получения материала, мы можем улучшить его теплопроводность, прочность на сжатие, но при этом у нас уменьшатся коэффициент линейного расширения материала и его прочность на растяжение. Поэтому приходится на основании знания о том, в каких условиях будет работать конструкция, выбирать, какое сочетание свойств будет наилучшим, и это будут не максимальные значения характеристик, а некоторое их соотношение. В настоящий момент, когда говорят о материале, используют термин «композиционный материал», а когда говорят об изготовленной из него конструкции, то используют термин «композитная деталь» или «композитная конструкция».

Использование композиционных материалов позволяет создавать высокоэффективные конструкции, значительно улучшая эксплуатационные характеристики последних. Например, лопасти и мачты ветрогенераторов изготавливаются из угле- и стеклопластиков, что позволило достигнуть длины лопасти, превышающей 100 м, а генерируемая одним таким агрегатом мощность превышает 14 МВт. Развитие ветрогенерации невозможно без прогресса в области разработки и создания технологий изготовления таких конструкций, а прогресс действительно впечатляет, к примеру мощность всех ветрогенераторов Германии вышла на уровень 20-кратной выработки Саяно-Шушенской ГЭС. Первые детали из стеклопластика в авиации начали использовать в серийных самолетах в 1942 году, но длительное время доля таких деталей в конструкции не превышала 5–7 масс.%, в последние годы благодаря развитию химических технологий и технологий высокопрочных армирующих волокон новые авиалайнеры уже на 50% состоят из композиционных материалов.

В настоящий момент композиционными называют материалы, обладающие следующей совокупностью характеристик:

- состоят из двух и более компонентов, различающихся по структуре, химическому, фазовому составу;
- компоненты разделены четко выраженными границами раздела;
- отсутствует растворимость компонентов друг в друге;
- неоднородны в микромасштабе с возможностью получения однородности характеристик при переходе на макромасштабный уровень;
- обладают новыми свойствами, отличающимися от свойств составляющих их компонентов, но определяемыми свойствами, формой, распределением этих компонентов;
- внутренняя структура материалов проектируется заранее, исходя из решаемых задач и областей их применения.

Компонент, непрерывный по всему объему материала, называется матрицей. Роль матрицы в композиционном материале заключается в перераспределении напряжений между армирующими элементами, обеспечении монолитности материала, фиксации формы изделия, защите армирующего наполнителя от воздействия среды и обеспечении стабильности материала во времени.

Наполнители делятся на упрочняющие (армирующие) и функциональные в зависимости от их свойств и играемой ими роли. Примером армирующих наполнителей являются высокопрочные или высокомодульные углеродные, стеклянные, базальтовые и другие волокна. Функциональные наполнители обеспечивают появление у материала отдельных специальных характеристик, например электропроводности или стойкости к воздействию ультрафиолетового излучения.

Существует большое количество методов классификации композиционных материалов: по материалу матрицы, типу армирующего наполнителя, геометрии компонентов, структуре и расположению компонентов, методу получения и др. Полная классификация должна содержать все классификационные признаки, но обычно используются один-два.

По типу матрицы композиционные материалы деляют на материалы с полимерными, металлическими, кера-

мическими и углеродными матрицами. Композиты, которые используют в одном материале нескольких типов матриц, называются полиматричными.

В качестве примера материалов с полимерными матрицами можно привести углепластики, в которых в качестве армирующего наполнителя используются ленты или ткани на основе углеродных волокон, а в качестве матрицы служит полимер, например эпоксидная смола или полиэфирэфиркетон. В качестве металлических матриц могут выступать вольфрам, молибден, медные сплавы, а армирующим наполнителем служит проволока из нержавеющей стали. В качестве материалов керамических матриц выступают оксиды, карбиды или бориды, примером материала с керамической матрицей является волокна карбида кремния в карбидкремниевой матрице. Такой композиционный материал обладает крайне высокой теплоустойчивостью, высокой окислительной и эрозионной стойкостью и способен работать при температурах до 3000 °С в условиях воздействия высокоскоростных газовых потоков. В качестве материалов для работы при высоких температурах используются углерод-углеродные композиционные материалы. В этих материалах и армирующий наполнитель, и матрица состоят практически из чистого углерода, но по-разному организованного. Как правило, при их изготовлении заготовка из углеродного волокна подвергается многократным циклам пропитки смолами или пеками и пиролиза до достижения заданного уровня плотности. При защите от окисления эти материалы работают при температурах до 3000 °С и широко используются в ракетной технике, для изготовления нагревателей и экранов вакуумных высокотемпературных печей, в том числе печей для выращивания монокристаллов кремния.

Классификация по наполнителю содержит указание на природу армирующего наполнителя, например металловолокнит.

Классификация полимерматричных композиционных материалов содержит указание на тип армирующего наполнителя и тип матрицы, например эпоксигуглепластик.

Материалы, содержащие два или более различных по составу или природе типа армирующих элементов, называются полиармированными или гибридными.

Гибридные композиты могут быть простыми, если армирующие элементы имеют различную природу, но одинаковую геометрию, например стеклоуглепластик – полимер, армированный стеклянными и углеродными волокнами, и комбинированными, если элементы имеют и различную природу, и различную геометрию, например волокна и дисперсные частицы.

В зависимости от геометрии и формы армирующих элементов композиционного материала (КМ) разделяют на изотропные, квазиизотропные (анизотропные в микрообъемах, но изотропные в макрообъемах, например дисперсно-армированные, хаотично армированные дискретными волокнами, дисперсными частицами), анизотропные (волокнистые, тканые с определенным пространственным распределением армирующих наполнителей, приводящим к различиям в характеристиках материала по разным направлениям).

Анизотропия композиционного материала может быть конструкционной, заложенной на стадии проектирования конструкции для достижения требуемого распределения характеристик. Технологическая анизотропия формируется в процессе изготовления материала и обусловлена особенностями технологического процесса, деформациями, протекающими при этом, возникающими разноплотностями. Физическая анизотропия обусловлена особенностями строения кристаллической решетки в материалах, например анизотропия в пиролитическом графите.

Ортотропные (ортогонально анизотропные) КМ характеризуются наличием в каждом элементарном объеме трех взаимоперпендикулярных плоскостей симметрии свойств.

Трансверсально изотропные композиционные материалы обладают анизотропией свойств, в пределах одной из плоскостей и отличающимися характеристиками в перпендикулярном ей направлении.

По геометрии наполнителей композиционные материалы делят на порошковые (дисперсноупрочненные) КМ, слоистые (армированные пластинчатыми частицами и фольгами) и волокнистые (армированные дискретными и непрерывными волокнами). Дисперсноупрочненные КМ содержат мелкие, равномерно распределенные тугоплавкие частицы карбидов, оксидов, нитридов, которые не взаимодействуют с матрицей и не растворяются в ней вплоть до температуры плавления. Слоистые КМ армируются плоскими непрерывными или дискретными пластинами и фольгами. Волокнистые КМ армируются однонаправленными жгутами, лентами, тканями и объемными текстильными преформами с различными схемами армирования. Волокнистые материалы можно разделить на материалы с хаотичным распределением волокон, слоистые материалы с ориентированными в двух направлениях волокнами и тканями (2D-армирование), объемные с ориентированными в трех и более направлениях волокнами.

Области использования композиционных материалов определяются исходя из тепловой, химической, коррозионной стойкости и матрицы.

Композиционные материалы с термореактивными матрицами (эпоксидные, полиэфирные) эксплуатируются при температурах до 150–180 °С. Материалы с термопластичными матрицами могут эксплуатироваться при температурах до 300 °С при использовании высокотемпературных полимеров, таких как полиэфирэфиркетон, фталонитрил, полиимиды. Материалы с металлическими матрицами имеют рабочие температуры эксплуатации до 1000–2000 °С, в случае использования керамических и углеродных матриц рабочие температуры материалов и конструкций поднимаются до 2500–3000 °С

Существует большое количество технологий изготовления изделий из КМ, различающихся в зависимости от типа матрицы, армирующего наполнителя, геометрии изделий, требований к точности изготовления. Это материал

для большого учебного курса. Мы только кратко рассмотрим их применительно к полимерматричным композиционным материалам.

Можно выделить следующие основные этапы изготовления композитных конструкций: получение армирующего каркаса, пропитка связующим, придание заданной формы и ее фиксация. Причем часто эти этапы совмещаются.

Изготовление каркасов можно проводить методами намотки, плетения, выкладки. Намотка – это универсальный метод изготовления композитных конструкций повторяющимися витками нитей или лент в непрерывном автоматизированном режиме. Используя метод намотки армирующих волокон или лент на оправку, получают трубы, баллоны высокого давления, гребные валы, карданные валы и другие тела вращения. Примеры изделий, полученных намоткой, представлены на рисунке 5.5.1.



Рисунок 5.5.1 – Трубы из стеклопластика, полученные с использованием технологии мокрой намотки

Пространственное плетение – это технология получения трехмерно армированных структур непрерывным переплетением волокон. На основе пространственного плетеного каркаса возможно создание квазиизотропного материала, в котором отсутствуют плоскости расслоения.

Выкладка может быть ручной или автоматической – широко распространенная технология, в которой на оснастку, повторяющую геометрию изделия, последовательно укладываются слои тканей или лент в соответствии с выбранной схемой армирования. Выкладка может осуществляться как сухими, не пропитанными предварительно связующими тканями, так и «препрегами», в которых наряду с волокном содержится необходимое количество связующего материала. На рисунке 5.5.2 представлен один из этапов ручной выкладки пластины из углепластика в Центре композиционных материалов НИТУ МИСИС.

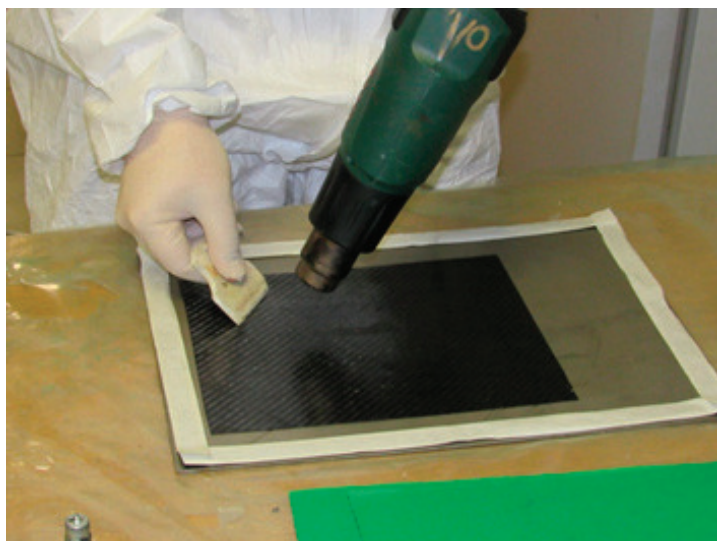


Рисунок 5.5.2 – Ручная выкладка углепластиковой пластины

Есть еще целый ряд технологий получения армирующих каркасов, например напылением измельченных волокон.

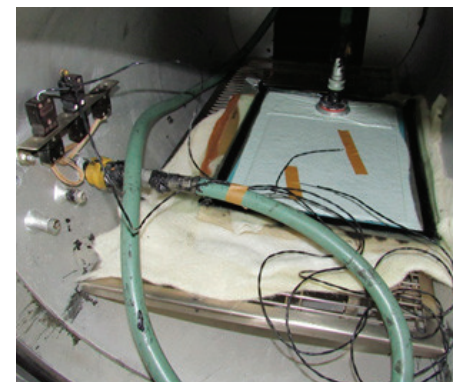
Формирование – операция по получению из композиционного материала изделия заданной формы и размеров, состоящая из следующих этапов:

- распределение на формообразующей поверхности исходных компонентов – армирующих материалов и связующего;
- приложение нагрева и давления, сопровождающееся полимеризацией и отверждением материала в готовое изделие.

Реализация операций формирования может осуществляться различными методами: контактным формированием в пресс-формах, автоклавным и вакуумным формированием, намоткой, плетением, пултрузией и ролтрузией, различными комбинированными способами. На рисунке 5.5.3, а, б показан автоклав Magnobosso, применяемый для формования изделий из полимерматричных композиционных материалов, и загрузка в него вакуумного мешка с заготовкой.



а



б

Рисунок 5.5.3 – Автоклав для формования изделий из полимерматричных композиционных материалов (а), размещение вакуумного мешка с заготовкой пластины в автоклаве (б)

Полученные готовые изделия из полимерматричных КМ подвергают необходимой чистовой механической обработке, удаляют краевые области, наносят защитные покрытия, сверлят отверстия под крепежные элементы. Примеры готовых изделий представлены на рисунках 5.5.4 и 5.5.5.

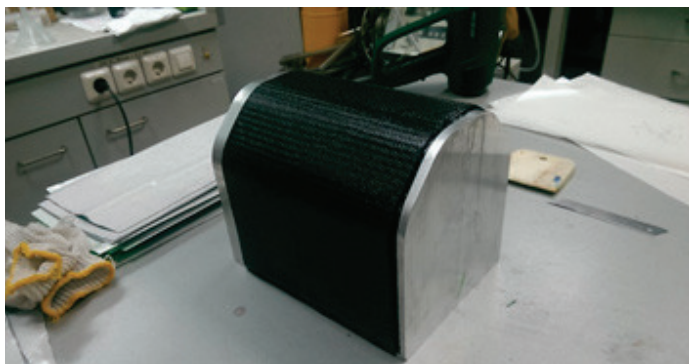


Рисунок 5.5.4 – Углепластиковая заготовка толщиной 8 мм для использования в экзоскелете на металлической оснастке после автоклавного формования

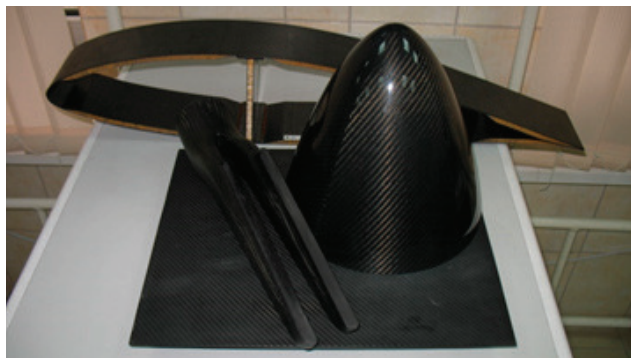


Рисунок 5.5.5 – Образцы деталей из углепластика

Контрольные вопросы

5.5.1. Что такое композиционный материал? Какие отличительные черты композиционного материала вы можете назвать?

5.5.2. Какие преимущества дает использование композиционных материалов?

5.5.3. Для чего нужна матрица композиционного материала?

5.5.4. Какие виды матриц вы знаете?

5.5.5. Какие виды классификации композиционных материалов вы знаете?

5.5.6. Что такое анизотропия структуры и свойств композиционных материалов? Какие виды анизотропии вы знаете?

5.5.7. Какие области использования композиционных материалов в зависимости от тепловой, химической, коррозионной стойкости и матрицы вы можете назвать?

5.5.8. Какие основные этапы получения полимерматричных композиционных материалов вы можете назвать?

5.5.9. Какие способы изготовления армирующих каркасов для композиционных материалов вы знаете?

Глава 6. 3D-сканирование как основополагающий этап реверс-инжиниринга

Авторы: Карфидов А.О., заведующий кафедрой инжиниринга технологического оборудования Университета МИСИС; Емельянов И.А., лаборант учебной лаборатории кафедры инжиниринга технологического оборудования Университета МИСИС

6.1 Основные понятия и принципы реверс-инжиниринга

В условиях санкционного давления для обеспечения производственного суверенитета необходимо воспроизводить недоступные для импорта товары, для чего прибегают к реверс-инжинирингу таких изделий и учатся воспроизводить их в условиях отечественного производства.

Реверс-инжиниринг (обратная разработка, далее – РИ) – исследование готового продукта, его свойств с целью понять принцип его работы. Реверс-инжиниринг важен, так как при детальном исследовании готового изделия появляется возможность не только копировать его, но также улучшать свойства и воспроизводить в условиях ограниченных ресурсов или на другом предприятии. РИ условно состоит из следующих этапов:

- исследование работы копируемой детали в общем механизме, снятие ее размеров, исследование физических характеристик, химический анализ (если требуется);
- воспроизведение детали в системе автоматизированного проектирования (САПР);
- создание конструкторской документации (КД) для последующего производства или подготовки к 3D-печати.

В рамках исследования детали или механизма используют различные измерительные приборы, такие как

штангенциркуль (рисунок 6.1.1), сантиметровую ленту (рисунок 6.1.2), угломер (рисунок 6.1.3), штангензубомер (рисунок 6.1.4), щупы (рисунок 6.1.5), микрометр (рисунок 6.1.6).

Каждый из этих приборов применяется в разных ситуациях и для разных измерений.



Рисунок 6.1.1 – Штангенциркуль



Рисунок 6.1.2 – Сантиметровая лента



Рисунок 6.1.3 – Угломер



Рисунок 6.1.4 – Штангензубомер



Рисунок 6.1.5 –
Щупы



Рисунок 6.1.6 –
Микрометр

Штангенциркуль используют для измерений глубины, внутренних диаметров и расстояний между точками объекта. Наиболее распространенными являются цифровые штангенциркули и штангенциркули со шкалой нониуса. Данная шкала используется для увеличения точности измерений. Сама шкала представляет собой определенное число делений, каждое из которых равняется нецелому числу миллиметров. При измерении объектов число миллиметров узнается при помощи отсчитывания делений основной шкалы от нуля до нуля шкалы нониуса. Далее смотрят на пересечение делений шкалы нониуса и основной шкалы, как показано на рисунке 6.1.7. На данном примере видно, что расстояние между измерительными концами штангенциркуля составляет три целых миллиметра. Однако точный остаток неизвестен. Тогда можно заметить, что пересечение основной шкалы и шкалы нониуса происходит на отметке шесть ровно, это означает, что итоговый размер является три целых шесть десятых миллиметра. Напротив шкалы нониуса указывается значение в две сотых миллиметра. Это значение является шагом шкалы нониуса, который является итоговой точностью данного измерительного прибора.

Сантиметровая лента используется для измерения длины дуги.

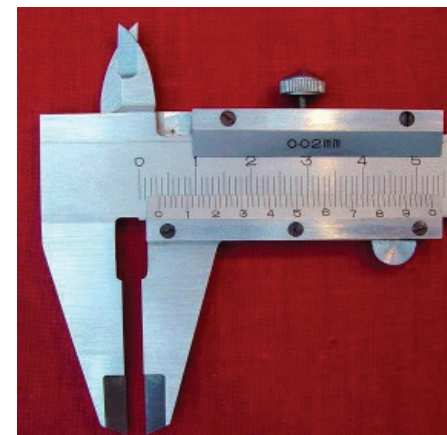


Рисунок 6.1.7 – Штангенциркуль
со шкалой нониуса в увеличении

Угломер, подобно школьному транспортиру, позволяет измерить точный угол.

Штангензубомер используется, по сути, так же, как и штангенциркуль, однако его существенное отличие заключается в том, что данный инструмент позволяет измерить одновременно два значения, такие, например, как ширина и высота зуба. Данный инструмент задействуется в измерениях прямозубых и косозубых шестеренок;

Щупы используют для определения величины зазора. Каждый щуп имеет собственную толщину, подкладывая их по очереди в зазор, определяют его величину.

Микрометры используют для более точных измерений. Они также часто бывают с нониусной шкалой, в результате чего их точность иногда составляет до 1 мкм. По принципу работы он несколько отличается от штангенциркуля. Размеры располагаются на патроне и барабане микрометра. При оборотах барабана относительно зажима происходит фиксация исследуемого образца и перемещение барабана относительно патрона. Изначально барабан находится в точке

нуля, но затем за каждые два полных оборота барабана он сдвигается на 1 мм. На самом барабанае также расположены деления, по которым можно определить точность до 10 мкм.

Для исследования физических характеристик проводят замеры массы, плотности, а также проводят испытания на растяжение, сжатие и кручение. Помимо этого, проводят испытания материалов на износ. Кроме того, важным является испытание на твердость. Для такого рода испытаний в материал детали пытаются погрузить инденторы или данный метод базируется на восстановлении объекта за счет анализа двухмерных изображений, в зависимости от того, какой материал используют и затем сравнивают с табличными значениями для определения материала.

После получения всех необходимых данных исследуемую деталь воспроизводят в САПР и дорабатывают исходя из первоначальной задачи РИ, производя построения геометрии, а затем, после подбора соответствующих материалов, проводят анализ прочностных показателей при помощи симуляции реальных нагрузок. Если виртуальная модель отвечает необходимым стандартам, составляют конструкторскую документацию для производства или подготавливают ее для 3D-печати.

Произведенная деталь подвергается контролю качества при помощи ручных измерений или 3D-сканирования, а также проходит все те же испытания, что и оригинал. Если данная проверка проходит успешно, метод ее производства внедряется на предприятие.

Контрольные вопросы

6.1.1. Что такое РИ? Каковы основные этапы РИ?

6.1.2. Что такое шкала нониуса и как ей пользоваться? На каких измерительных приборах есть эта шкала?

6.1.3. Исследование каких основных физических характеристик проводят при РИ?

6.1.4. Что такое САПР?

6.2 Инструменты для 3D-сканирования

В современных условиях производства важными задачами являются автоматизация, упрощение и ускорение процесса снятия размеров с реальных изделий. С этими целями на предприятиях все чаще внедряют технологии 3D-сканирования.

3D-сканирование разделяют на пассивное и активное.

К активным методам относятся:

- триангуляция;
- фазовые методы;
- метод временной задержки.

К пассивным методам анализа относятся методы обработки одного изображения:

- метод формы тени;
- метод силуэта;
- метод края;
- метод формы текстуры;
- метод фокусировки и дефокусировки;
- метод фотограмметрии.

Хоть зачастую при 3D-сканировании для получения лучших результатов используют комбинацию из различных методов, наиболее предпочтительны для дальнейших точных построений именно активные методы сканирования. Далее приведены более подробные пояснения различных методов.

Метод временной задержки. Устройства, базирующиеся на данном методе, имеют в своем устройстве лазерный дальномер, который измеряет временную задержку прохождения света до объекта и обратно. Обработывать информация, полученная с таких устройств, может по-разному: это может быть расчет расстояния как удвоенного времени прохождения испускаемого излучения до объекта, умноженного на скорость распространения электромагнитных волн в среде, так и расчет расстояния, базирующийся на сдвиге фаз ис-

пускаемого и принимаемого излучения. У каждого из этих методов есть свои преимущества и недостатки. Так, первый позволяет определять приближенное расстояние, зная условия среды, а второй не зависит от типа материала и внешних условий, но требует проведения исследований с несколькими частотами волн для получения более точного результата.

Метод фотодиодных матриц. Устройства, работающие согласно данному методу, имеют в своей конструкции светодиодные матрицы. За счет разницы в активации элементов этой матрицы под воздействием подсветки объекта и получается информация об исследуемом объекте. Такие устройства в ходе своей работы выпускают короткие световые вспышки, которые фиксируются камерами на определенном расстоянии, строго определяемом фокусным расстоянием камер. При попадании отраженного света на матрицу из нее выбиваются электроны, в результате чего в цепи, подключенной к матрице, появляется электрический ток. Этот ток поступает на конденсаторы, после чего значения зарядов на них записываются в систему. После повторения множества десятков тысяч подобных циклов формируется аналитически верное распределение зарядов на конденсаторах в зависимости от фиксации отраженного от объекта свете. Зная расстояние между камерами, а также соотношение в зарядах конденсаторов соответствующих фиксирующих идентичный объект участков матрицы, можно найти расстояние до такого объекта. В результате этого можно получить трехмерные координаты объекта. Данный способ сканирования хорошо подходит для потоковой съемки, однако хуже других справляется с более точными измерениями.

Метод триангуляции. Данный метод базируется на восстановлении объекта за счет анализа двухмерных изображений. Обычно для этого происходит сравнение одинаковых точек объекта на кадрах с разных фиксирующих устройств. Для этого требуется знать положение камер, а также создавать большое количество снимков для повыше-

ния качества определения положения объекта. Данный метод может проводиться за счет проецирования точек, линий или структурированного освещения. В случае использования любой из разновидностей данного метода производится проецирование заранее созданного определенного шаблона, а затем, после фиксации его отражения от снимаемого объекта, анализируются изменения первоначального паттерна, вызванные кривизной поверхности объекта. Наиболее часто производят сканирование при помощи проецирования линий с использованием структурированного освещения.

Метод проецирования линий. Обычно используется в лазерных сканирующих устройствах, состоящих из трех элементов: лазеров, светодиодов и камер. Перед началом сканирования происходит подготовительный процесс. Он включает стабилизацию и закрепление сканируемого объекта на опоре или вращающейся платформе, калибровку, а также нанесение на объект специальных меток-маркеров, которые различаются для разного сканирующего оборудования, но они имеют одинаковое предназначение: при помощи распознавания одинакового паттерна расположения этих меток на разных снимках становится возможным создание единой системы координат, привязанной к самому первому распознанному маркеру, в результате чего все проводимые далее съемки дополняют общую картину информацией. Сами маркеры, их форма, светоотражательная способность и размеры заранее занесены в базу данных аналитической программы сканирующего оборудования. Важно понимать, что при выборе размера маркеров форма элементов сканируемого объекта не должна их повторять, потому что в противном случае данные элементы не будут добавлены к общей картине вследствие их последующего удаления вместе с остальными метками. При нанесении меток также необходимо не допускать изменения их формы, так как это повлечет трудности в дальнейшем распознавании. Маркеры следует располагать на расстоянии, в несколько раз превышающем их собствен-

ный размер, но при этом достаточно близком, чтобы обеспечить видимость нескольких меток во время процесса съемки объекта. Большинство лазерных сканирующих устройств в процессе своей работы поддерживают работу, лишь когда в области их съемки находится не менее четырех распознанных маркеров. В противном случае, если меток в районе съемки нет либо если камеры находятся вне фокусного расстояния (слишком близко или далеко от объекта), съемка прекращается. Также сам рисунок расположения меток должен быть хаотичным, чтобы каждый отдельный паттерн их расположения был уникален, иначе произойдет неправильное наложение снимков.

Процесс калибровки представляет собой настройку камер на синхронизацию получаемых и испускаемых светового и лазерного излучения, а также поправку определения заранее известных паттернов в зависимости от теплового расширения камер. Для этого сканер в разных положениях снимает под прямым углом разные элементы заранее подготовленного калибровочного поля. При этом важно соблюдать требование по высоте и расположению самих камер, которое различается в зависимости от производителя, но имеет общее в своем принципе. Таким образом происходит калибровка камер, для калибровки лазера его наводят на однотонное светлое пространство, которое вследствие своей высокой светоотражательной способности позволяет добиться оптимального уровня мощности лазерного излучения. Это важный процесс, так как при высокой мощности из-за слишком большого числа преломленных лучей на снимках появляются шумы – ненужная и бесполезная информация об объекте, являющаяся следствием ложного попадания преломленных световых пучков на ячейку матрицы камеры. Однако если настроить низкую интенсивность лазерного излучения, свет может быть поглощен поверхностью объекта настолько, что отраженных лучей будет не хватать для получения данных об объекте. Важно понимать, что прозрачные или блестящие тела имеют малоприспособные для сканирования физико-оп-

тические характеристики. В результате чего самым распространенным решением данной ситуации является нанесение матирующей или белящей краски на сканируемое тело, но нужно учитывать, что его размер увеличивается на толщину нанесенного слоя.

Процесс работы самого сканирующего оборудования разделяется на две фазы. Во время первой необходимо снять карту маркеров, при этом процессе работает диодная подсветка, которая необходима для отражения от меток света. Как частный пример, изображенный на рисунке 6.2.1, маркеры могут быть округлой формы и в программе по работе со сканирующим оборудованием отличаться лишь цветом.

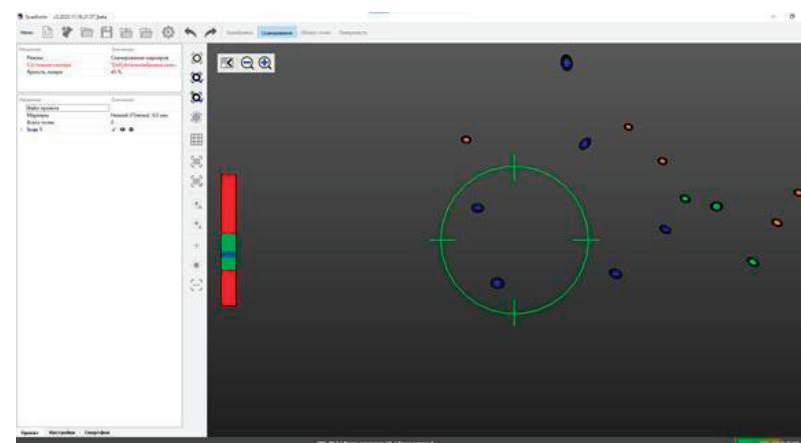


Рисунок 6.2.1 – Маркеры, опознанные камерами сканирующего устройства

В ходе создания карты маркеров метки, замеченные программой, делятся на три типа.

Первый тип – это паттерны, которые отдаленно напоминают маркеры, но программе не хватает снимков для точного определения. На рисунке 6.2.1 такие метки имеют оранжевый цвет.

Второй тип – это активные маркеры, которые непосредственно зафиксированы сканером. Они изображены синим цветом.

Третий тип – это те метки, которые были сняты достаточно и не находятся в поле зрения камер. Они отображаются зеленым цветом.

Процесс создания карты маркеров чрезвычайно важен, так как без него облака точек, получаемые в результате снимка полос лазера, невозможно будет сшить с другими снимками полос.

Вторая фаза сканирования заключается в непосредственном включении проецирования лазерных полос, которые искривляются на поверхности объекта и после фиксирования камерами преобразуются в программе в набор из точек. В результате съемки и перемещения сканера относительно тела либо тела относительно сканера получают облако точек, отражающее положение элементов поверхности сканируемого тела.

Сам процесс получения облаков точек при такой разновидности сканирования представлен на рисунке 6.2.2.

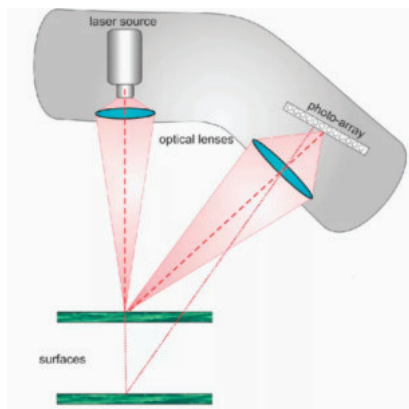


Рисунок 6.2.2 – Процесс получения координат объекта с помощью лазерного 3D-сканера

Так видно, что лазерный луч, испущенный из источника, попадает на поверхность тела. Тогда, после искривления данной линии, траектория полета луча меняется, в результате чего после прохождения через фокусирующую линзу луч попадает на матрицу с отклонением, которое и фиксируется как перевернутое положение проецируемой линии.

В дальнейшем такие линии, образовавшие облака точек, обычно преобразуются в полигональную сетку – совокупность ребер и вершин треугольников, построенных на базе облаков точек. Данные полигоны часто используются как основа для твердотельного моделирования в САПР.

Метод структурированного освещения. Данный метод включает множество различных стратегий. Однако наиболее часто используемой является стратегия *временного мультиплексирования*. В данном случае на сканируемый объект проецируется набор шаблонов, а фиксируется пикселями матрицы камеры определенная последовательность степени освещенности. Наиболее распространенным является метод, сочетающий код Грея с фазовым сдвигом: в процессе измерения тела для увеличения разрешения съемки точек производят перемещение проецируемого шаблона.

Код Грея представляет собой способ кодирования информации, когда при добавлении нового бита информации в двоичной системе к предыдущему значению происходит построение числа в обратном направлении внутри одного порядка. Данный способ позволяет значительно отфильтровывать получаемое изображение от шумов. Однако данный метод сильно ограничен по дальности своего применения. Но при этом сочетание кода Грея и периодического перемещения шаблона (рисунок 6.2.3) позволяет избавиться от неоднозначности при определении периодов получаемых от камер сигналов. Как результат при перемещении шаблонов, положение пика освещенности становится возможным обнаружить с субпиксельной точностью.

При использовании данной методики процесс сканирования с двух камер представляет собой измерение откло-

нения передвигающихся полос шаблона по поверхности тела на заранее выставленной дальности (рисунок 6.2.4).

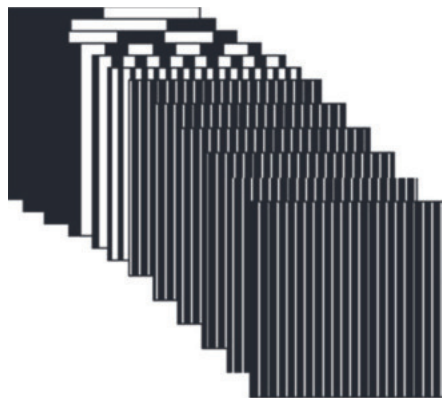


Рисунок 6.2.3 – Шаблоны, проецируемые при использовании метода кода Грея вместе с фазовым сдвигом

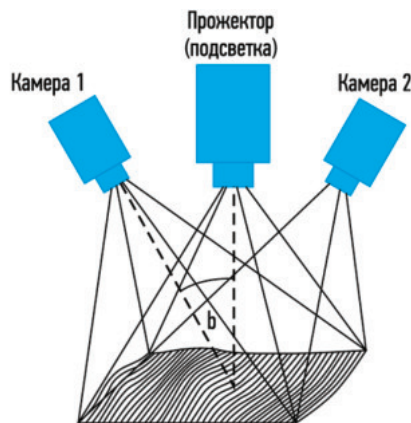


Рисунок 6.2.4 – Съёмка искривления полос шаблона на поверхности тела

Контрольные вопросы

6.2.1. Какие основные методы 3D-сканирования существуют? В чем разница пассивных и активных методов?

6.2.2. В чем разница между методом фазового сдвига и методом временной задержки?

6.2.3. Что такое маркеры и для чего их используют? Как получается полигональная сетка, для чего ее используют?

6.2.4. Как получают облака точек при лазерном 3D-сканировании?

6.3 Технологическая последовательность проведения 3D-сканирования

В технологический последовательности проведения 3D-сканирования выделяют три этапа:

- калибровка оборудования;
- проведение съемки и работа с облаками точек;
- создание полигональной сетки по облакам точек.

Рассмотрим шаги поэтапно.

Калибровка сканирующего оборудования включает подбор оптимального режима работы оборудования исходя из размеров исследуемого тела, а также его физико-оптических свойств. В зависимости от размеров объекта следует подобрать соразмерную калибровочную панель, которая используется для того, чтобы настроить камеры на фокусное расстояние, характерное для съемки объектов сходных габаритов. Если материал, из которого состоит объект, имеет слишком большие коэффициенты поглощения, отражения или преломления, следует обработать его поверхность матирующим спреем, однако в дальнейшем, при проведении замеров или РИ, следует брать поправку на толщину слоя спрея.

Затем настраиваются камеры и проектор. Это может происходить как в автоматическом режиме, так и в руч-

ном. В ручном режиме необходимо, опираясь на проецируемое изображение, настроить линзы фокусировки проектора с целью получить четкий проецируемый шаблон. Затем, опираясь на изображение в мониторе, настроить яркость при помощи вращения кольца диафрагмы. Таким образом происходит раскрытие или закрытие створок диафрагмы, в результате чего на матрицу поступает разное количество света. После этого необходимо настроить фокусное расстояние камер при помощи перемещения линз в объективе. При нахождении правильного фокуса четкость объектов, попавших в объектив камеры, максимальна. Также иногда при наличии соответствующих объективов к ним является возможным прикрепить светофильтр.

Светофильтр – это оптическое устройство, которое позволяет выделить волны определенной длины из общего спектра при пропускании через него.

Так как светофильтры обычно плоские, то свет, проходящий через них, не меняет траектории, однако частично подавляется за счет того, что некоторые цвета спектра отражаются от поверхности светофильтра. Светофильтры обычно используют для сканирования при избытке какого-то цвета света освещения. Обычно такой свет желтый, поэтому во многих сканерах существует функция синего подсвета.

После окончания настройки камер необходимо заняться калибровкой. Для это необходимо расположить объект относительно камер так, чтобы крест проектора проецировался в центр калибровочной панели, притом на такое расстояние, чтобы с новым отображаемым на экране монитора квадрате, образованном из пересечения крайних линий, пересекались крайние точки калибровочной панели. Изменить программно отображаемые на экране синие линии и проецируемый проектором крест можно при помощи выбора типа подсвета. После такого расположения необходимо будет сделать ряд снимков калибровочной панели в разных положениях: повернутая, наклоненная и т.д. По окончании, если подразумевается сканирование на поворотном столе, также нужно

откалибровать его при помощи расположения на панели для оценки оси.

От того, какой вариант дальнейшего сшивания мы выбираем, будет зависеть, какой из вариантов проекта мы создадим: «базовый», «с маркерами», «на поворотном столе». В этих режимах различается основной способ сшивания снимков:

- в базовом проекте основные способы сшивания – автоматический по облаку точек и ручную при помощи выбора общих точек на разных видах. Данный тип проекта хорошо подходит для сканирования асимметричных тел, благодаря которым программа сможет легко определить общие облака точек. В случае отсутствия положительных результатов в ручном режиме можно поменять положение отдельных снимков, в результате чего программный алгоритм, стараясь сохранить положение, но не ориентацию, может с большей легкостью определить правильный способ сшивания;

- сканирование с маркерами является наиболее точным типом сшивания, так как опирается на большой объем данных о положениях маркеров друг относительно друга. Однако данные маркеры необходимо наносить на объект, окружение или специальные предметы – хелперы, которые в итоге могут сильно повлиять на результаты сканирования, а именно обеспечить новые переходные грани, благодаря которым можно сшивать разные стороны воедино;

- сканирование на поворотном столе является наиболее простой версией сканирования. После определения оси вращения стола все снимки будут сориентированы относительно этой оси. Сканирование в этом режиме происходит автоматически задаваемое число раз с регулируемым углом поворота.

Все три способа объединяет необходимость неподвижности тела относительно сканера во время съемки.

Во время самого процесса съемки, после создания снимка одного вида необходимо вращать тело, дабы получить снимки и других сторон. С помощью первого и второго

способа возможно поворачивать тело лишь руками, на поворотном столе вращение задается в программе. В любой момент обработки получившихся сканов можно создать группу сканов. Она также получается после окончания цикла при сканировании на поворотном столе. Сканы в дереве проекта можно включать и выключать, тем самым убирая их из вида и из списка на изменение при применении функции на весь проект.

После окончания сканирования наступает этап очистки. При съемке большого количества шумов или попадании лишних объектов в кадр, а также маркеры после сканирования необходимо удалять. Это можно делать при помощи ручного выделения различными видами типов выделения, либо отсекают облака точек при помощи построения плоскостей, либо использовать автоматическую функцию удаления шумов и маркеров, которые в зависимости от скрупулезности подбора настроек могут даже восстановить небольшие отверстия.

Как уже было сказано выше, в каждом проекте после создания сканов необходимо начать сшивать их друг с другом при помощи функций объединения. Объединение подразделяется на ручное, автоматическое и групповое. При ручном объединении оператор самостоятельно ставит точки на разных снимках, которые он хотел бы, чтобы были объединены. При автоматическом объединении объединяет все выбранные в дереве проекта сканы, выбрав в качестве начального и неподвижного самый высокий в дереве проекта. При этом положение всех остальных сканов подстраивается под начальный. При групповом объединении переориентируются группы друг относительно друга с сохранением внутренней структуры группы. После окончания всех процессов сшивания необходимо произвести финальное совмещение, которое покажет итоговое общее среднее отклонение.

После проведения процедуры финального совмещения следует создание модели по выбранным сканам. Затем, если требуется, можно менять модель при помощи изменения по-

лигональной сетки. В любом случае последним действием будет экспорт выбранной модели в stl или другие форматы.

Эта полигональная сетка в формате stl затем послужит основой для твердотельного моделирования в САПР.

Контрольные вопросы

6.3.1. Какие есть этапы технологической последовательности сканирования? Опишите их.

6.3.2. Назовите составные элементы объектива. За что они отвечают?

6.3.3. Какие есть варианты создания проекта при сканировании, в чем их различие?

6.3.4. Расскажите о том, в чем заключается работа с облаком точек и сеткой.

6.4 Оценка результатов 3D-сканирования

По окончании процесса сканирования появляется возможность в специализированном ПО провести сравнение созданной по облакам точек полигональной сетки и изначальной твердотельной модели, по которой происходило производство. Для начала обе модели импортируются в такую программу, затем происходит первичное наложение сетки на модель. Если такого наложения не происходит, то по сетке проводятся построения эскизов, для того чтобы затем соединить эскизы, построенные на сетке и твердотельной модели. После того как совпадение получено, проводится 3D-сравнение. Первично оно проходит при помощи определения результатов по градировочной шкале. Сама твердотельная модель начинает окрашиваться в цвета от красного до синего, и данный цвет является отражением отклонений модели от скана. Градировочную шкалу возможно менять самому, устанавливая, исходя из допусков точности, максимальное и минимальное значение отклонения,

шаг, который приводит к изменению цвета и, что самое главное, можно поменять зону допусков. Далее остается только визуально оценить расхождения копии и оригинала.

Следующим этапом в оценке результатов сканирования является формирование отчета о качестве. В рамках этого отчета предоставляются такие знания, как максимальное и минимальное отклонения. Также показываются среднее отклонение, стандартное отклонение и даже процент объема твердотельной модели, лежащий внутри полигональной сетки.

Практико-ориентированное задание 6.1. Калибровка сканирующего оборудования

Работа со сканирующим оборудованием должна начинаться с подключения персонального компьютера и сканирующего устройства к электросети, а затем включения сканера. Далее следует запуск программы ScanCenterNG. Первым делом следует убедиться, что к ПК подключены камеры, проектор, лицензионный ключ, а также поворотный стол. Первые три устройства обязательны для начала работ. Затем выбирается режим «настройка сканера», предложенный программой.

В окне выбора типоразмера выбираем вариант с размерами «0.01–0.05 м». Здесь необходимо будет выбрать самое маленькое калибровочное поле и ввести его площадь, указанную на задней стороне.

Отрегулировав на камерах яркость и фокусное расстояние при помощи вращения стопорных колец, необходимо добиться ясной видимости панели на экране монитора, затем расположить калибровочную панель так, чтобы крест, проецируемый проектором, попадал ровно в центр, как показано на рисунке 6.4.1.

Затем, переключив тип подсветки проектора с «креста» на «белый», выставить взаимное положение проектора, креста и мишени так, чтобы крайние точки мишени были пересечены крайними линиями на мониторе.

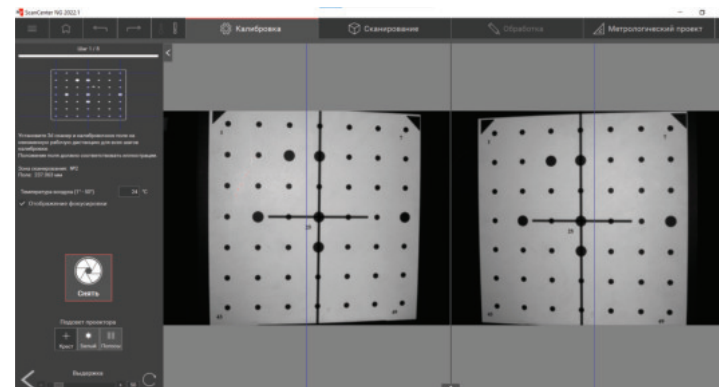


Рисунок 6.4.1 – Вид калибровочных панелей на экране

Затем, регулируя фокус и яркость, необходимо добиться получения полной видимости всех опорных точек мишени. Полная видимость опорных точек подтверждается их окрашиванием в зеленый цвет и совпадением секторов мишени с программной разбивкой синими линиями, как на рисунке 6.4.2.

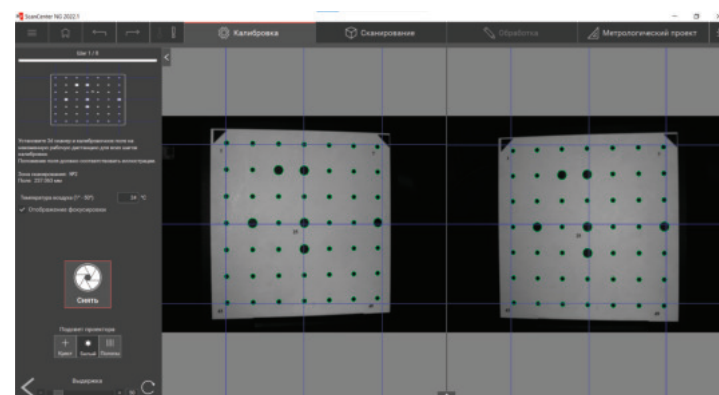


Рисунок 6.4.2 – Взаимное расположение синих направляющих линий и фиксируемых точек сканера

Затем необходимо произвести съемку, после чего в верхнем левом углу программы будет указан новый вид панелей. Необходимо вращать, поворачивать и наклонять мишень так, чтобы она становилась максимально приближенной к схеме в программе (рисунок 6.4.3).

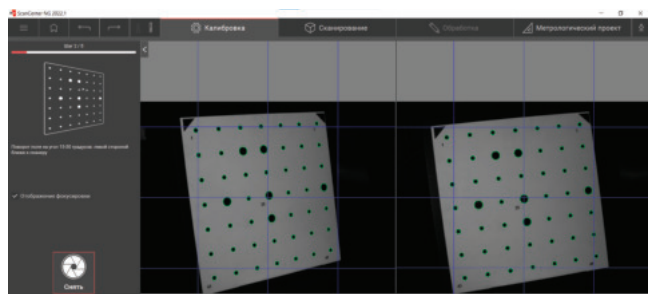


Рисунок 6.4.3 – Поворот мишени во время калибровки

После окончания всех этапов съемки мишени появятся подтверждение об успешном окончании калибровки: «калибровка выполнена успешно». Затем аналогичным образом калибруем ось поворотного стола, расположив на нем соответствующую мишень, как показано на рисунке 6.4.4.



Рисунок 6.4.4 – Калибровка оси поворотного стола

Практико-ориентированное задание 6.2. Проведение съемки предложенного объекта

Проведя калибровку исходя из габаритных размеров сканируемого тела, расположить сканируемый объект в центр поворотного стола таким образом, чтобы центр крестовой подсветки проектора находился в центре сканируемого объекта.

Перейти во вкладку «Сканирование» программы и начинать процесс съемки. Результат показан на рисунке 6.4.5.



Рисунок 6.4.5 – Результат съемки объекта на поворотном столе

Дождавшись окончания цикла сканирования, перевернуть объект другой стороной и повторить сканирование, пока не будет снимков всех сторон объекта.

Практико-ориентированное задание 6.3. Объединение облаков точек, полученных в результате 3D-сканирования

Активировать кнопку «перейти в режим редактора» (рисунок 6.4.6) из общего меню и сохранить результат сканирования.

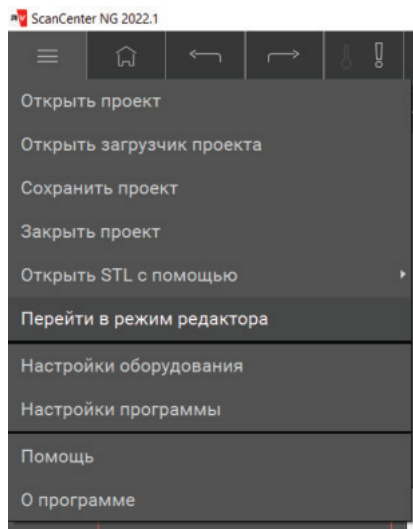


Рисунок 6.4.6 – Вид меню выбора режима работы

Перейти в меню «Очистка» и выбрать тип функции ручного выделения (рисунок 6.4.7). Для выделения шумов (нежелательные эффекты на изображении) выделяем эти элементы с помощью одновременного нажатия левой кнопки мыши и клавиши «Alt». При этом ошибочно выделенные элементы можно сохранить, перейдя в контекстное меню (при помощи нажатия правой кнопки мыши). Затем с помощью нажатия клавиши «Delete» удаляем выделенные объекты.

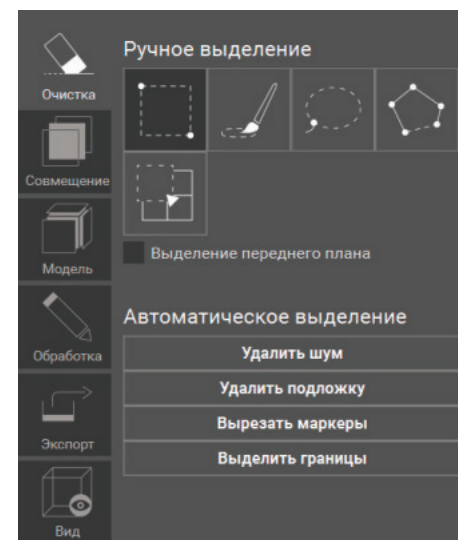


Рисунок 6.4.7 – Вид меню выделения

В меню «Совмещение», активировать функцию «Совместить группы» (рисунок 6.4.8).

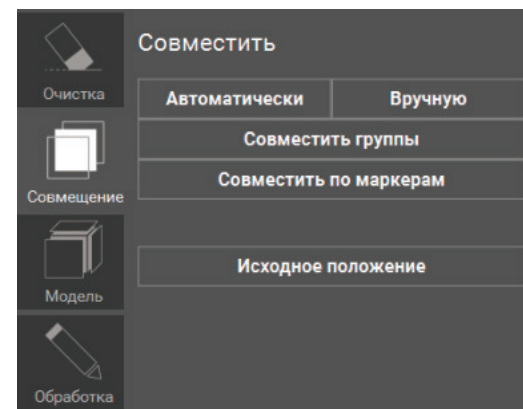


Рисунок 6.4.8 – Вид меню совмещения

Затем произвести «Финальное совмещение», результат среднего отклонения не должен превышать 0,1 мм, как показано на рисунке 6.4.9.

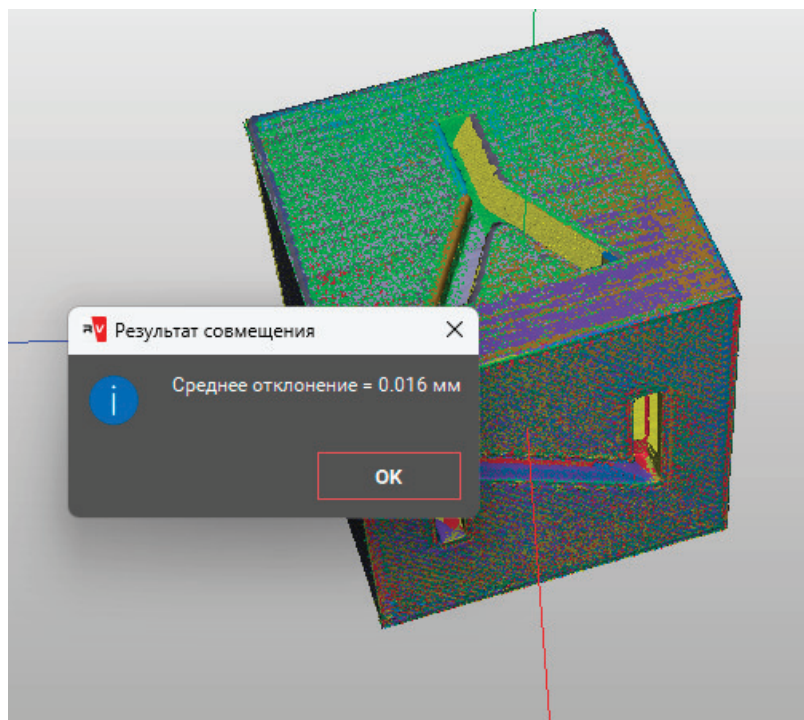


Рисунок 6.4.9 – Финальное совмещение

Перейти в меню «Модель» и выбрать там следующие параметры.

Метод построения – инженерный.

Детализация модели – уровень.

Ползунок детализации выставлен посередине.

Опции «Заполнить мелкие пустоты» и «Выгрузить сканы из памяти» отключены, при этом функция «Оптимизировать структуру модели» включена.

Затем активировать функцию «Строить модель» (рисунок 6.4.10).

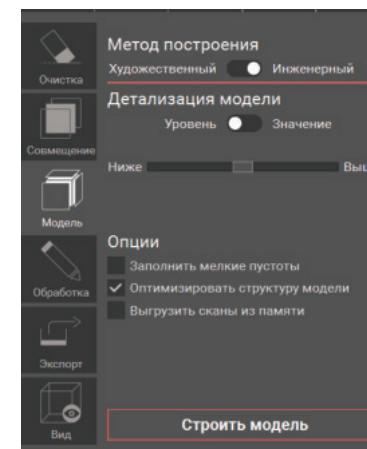


Рисунок 6.4.10 – Вид меню моделирования

Результат исходного построения модели представлен на рисунке 6.4.11.

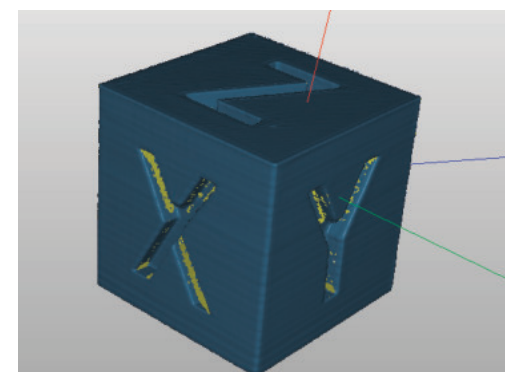


Рисунок 6.4.11 – Исходный вид модели сканируемого объекта

В заключение перейти в меню «Экспорт» и экспортировать только модель объекта в формате STL.

Кейс 6.1

Университет МИСИС занимается разработкой каркаса для движка квадроцикла. Из-за санкций разработчики столкнулись с проблемой разработки и производства данного компонента. Тогда было принято решение в качестве образца для разработки снять размеры с движка реального квадроцикла для последующего реверсивного инжиниринга.

Исходные данные

1. **Движок квадроцикла:** габариты 600×800×1200 мм.
2. **Требования к изделию:** расположение крепежных элементов, а также элементов питания должны соответствовать оригинальным с точностью до 0,5 мм.

Используя различные измерительные приборы, получить точные данные о геометрии движка. Необходимо провести следующие этапы работ.

1. Очистить присоединительные отверстия и места присоединения топливной системы.
2. Нанести маркеры на чистые элементы движка и провести съемку сканирующим оборудованием.
3. Замерить отверстия штангенциркулем и глубиномером.
4. Произвести снятие размеров по STL-сетке в CAD-системах.

Глава 7. Автоматизация и роботизация производства

Автор: Давыдкин М.Н., канд. техн. наук, доцент кафедры энергетики и энергоэффективности горной промышленности Университета МИСИС

7.1 Основы автоматизации производственных процессов

Автоматизация – это процесс, при котором машины и устройства выполняют задачи, ранее выполнявшиеся людьми. Это повышает производительность и снижает издержки производства.

Роботизация – это процесс замены людей роботами на рабочих местах. Роботы могут выполнять задачи, требующие высокой точности и скорости, а также опасные для здоровья человека.

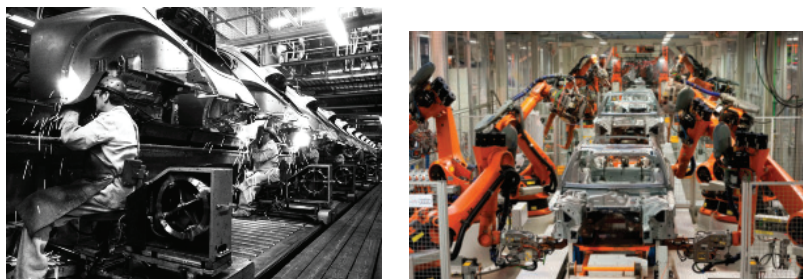
Рассмотрим, как это работает, на примере производства автомобилей. Раньше на сборке автомобилей работали люди, которые вручную соединяли детали (рисунок 7.1.1, а). Сейчас на заводах используются роботы, способные быстро и точно соединять детали (рисунок 7.1.1, б). Это увеличивает скорость производства и уменьшает количество брака.

Роботы также могут выполнять задачи, требующие высокой точности и скорости. Например, они могут сваривать детали кузова автомобиля или наносить краску на его поверхность (рисунок 7.1.2). Это улучшает качество продукции и снижает издержки производства.

Роботы также могут выполнять опасные для здоровья человека задачи. Например, они могут работать с химическими веществами или находиться в условиях высокой температуры. Это снижает риск получения травм и заболеваний на производстве.

В итоге автоматизация и роботизация производства являются важными процессами для повышения эффектив-

ности и качества продукции. Они снижают издержки производства и повышают безопасность на рабочих местах.



a

б

Рисунок 7.1.1 – Сборка автомобиля вручную (*a*) и с помощью робота (*б*)



Рисунок 7.1.2 – Роботы на производстве

Основы программирования Dobot Magician. Решение прямой задачи кинематики робота Dobot Magician. Роботизированная рука с четырьмя осями движения представлена на рисунке 7.1.3. Это основная часть манипулятора, которая позволяет ему перемещаться в пространстве и выполнять различные задачи. Рука имеет сервоприводы, которые обеспечивают точное управление движениями.

Рассмотрим кинематику робота Dobot Magician (см. рисунок 7.1.3). Робот-манипулятор состоит из следующих частей: основание, плечо 1, плечо 2 и рабочий инструмент. Все элементы соединены между собой посредством сервоприводов (соединение 1, соединение 2, соединение 3, соединение 4 соответственно). Робот-манипулятор Dobot Magician относится к манипуляторам с плоско-параллельной кинематикой. Манипуляторы с плоско-параллельной кинематикой имеют такую особенность: их рабочий инструмент движется в одной вертикальной плоскости, а все звенья перемещаются параллельно этой плоскости.

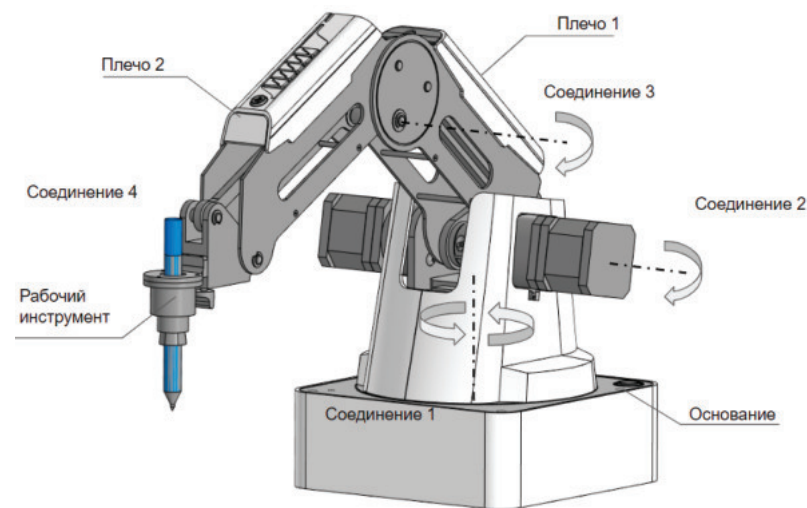


Рисунок 7.1.3 – Внешний вид Dobot Magician

Представим упрощенную кинематическую схему движения в виде стержней и шарнирных соединений (рисунок 7.1.4). Решим прямую задачу кинематики для выбранного объекта. Прямая задача кинематики заключается в том, чтобы определить положение рабочего органа робота-манипулятора, например схвата или инструмента, ос-

новываясь на конфигурации робота. Это помогает понять, как разные части робота двигаются и взаимодействуют друг с другом.

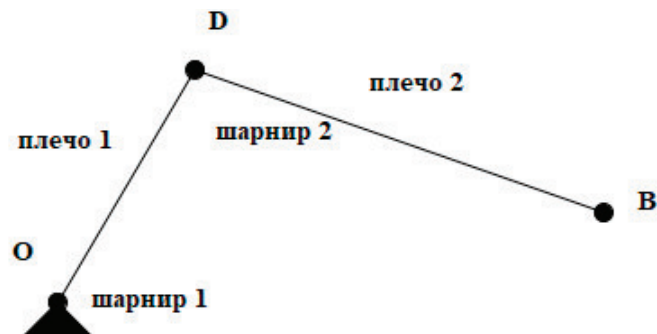


Рисунок 7.1.4 – Упрощенная кинематическая схема манипулятора

На рисунке 7.1.4 видны два звена манипулятора, условно представлены отрезками OD и DB , и 2 шарнира, расположенных в точках O и D . Длины плеч 1 (l_1) и 2 (l_2) и углы поворотов α_1 и α_2 известны. Прямая задача заключается в определении положения точки B . Плечо l_1 может осуществлять вращение вокруг точки O на угол 0 до 180. Плечо l_2 может осуществлять вращение вокруг точки D на угол 0 до 360. Положение точки B зависит от координаты точки D . Введем неподвижную систему координат, поместим шарнир O в центр координат плоскости XOY (рисунок 7.1.5). Начало отсчета подвижной системы координат $X_1O_1Y_1$ свяжем с точкой D . Тогда исходя из введенных обозначений координата точки B будет рассчитана как:

$$DX = DX + BX(x_1o_1y_1);$$

$$BY = DY + BY(x_1o_1y_1),$$

где BX – абсцисса точки B в неподвижной системе координат XOY ;

$BX(x_1o_1y_1)$ – абсцисса точки B в подвижной системе координат $X_1O_1Y_1$;
 BY – ордината точки B в неподвижной системе координат XOY ;
 $BY(x_1o_1y_1)$ – ордината точки B в подвижной системе координат $X_1O_1Y_1$;
 DX – абсцисса точки D в неподвижной системе координат XOY ;
 DY – ордината точки D в неподвижной системе координат XOY .

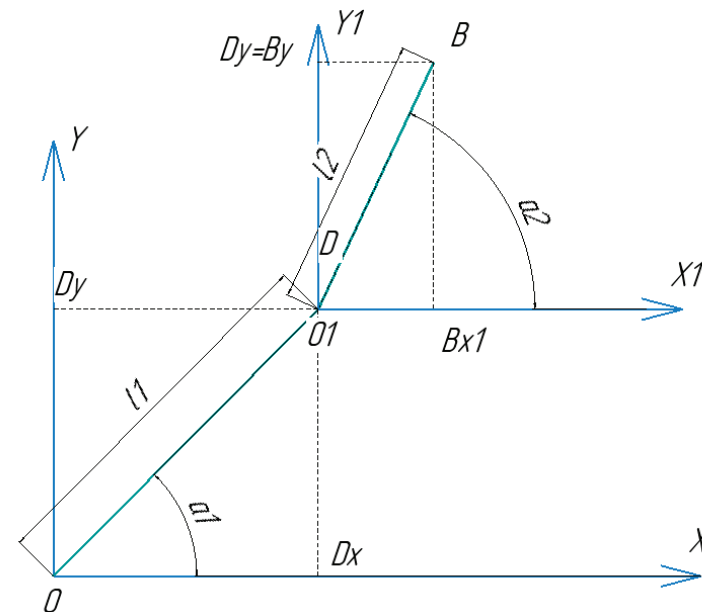


Рисунок 7.1.5 – Кинематическая схема двухосного манипулятора

Свяжем координаты точки D с углом отклонения от оси X и Y неподвижной системы координат и длиной плеча l_1 :

$$DX = l1 \times \cos(a1);$$

$$DY = l1 \times \sin(a1).$$

Таким образом, координаты точки D определены. Теперь рассмотрим подвижную систему координат $X1O1Y1$ относительно системы координат XOY . Точка B относительно системы координат $X1O1Y1$:

$$BX(x1o1y1) = l2 \times \cos(a1+a2);$$

$$BY(x1o1y1) = l2 \times \sin(a1+a2).$$

Следовательно, в системе координат XOY координата точки B будет определена:

$$BX = DX + BX(x1o1y1) = l1 \times \cos(a1) + l2 \times \cos(a1 + a2);$$

$$BY = DY + BY(x1o1y1) = l1 \times \sin(a1) + l2 \times \sin(a1 + a2).$$

Практико-ориентированное задание 7.1

В практической задаче предлагается разработать программу, которая позволяет визуализировать решение прямой задачи кинематики в среде Processing. Внешний вид окна представлен на рисунке 7.1.6. Разработка интерфейса программы представлена в обучающем материале¹.

Угол положение плеча $l1$ регулируется с помощью ползунка шарнира YGOLZ1 и с помощью текстового поля YGOLZ1_TEXT. Угол положения плеча $l2$ регулируется с помощью ползунка шарнира YGOLZ2 и с помощью текстового поля YGOLZ2_TEXT. Длины плеч задаются с помощью текстового окна PLECHO1 и PLECHO2. В работе программы используется библиотека controlP5, которая импортируется в первой строке программы (Листинг программы 7.1.1). Далее в строке 2 создается объект библиотеки controlP5 cp5. В строках 3 и 4 создаются объекты для визуализации ручки вращения соответственно A и B , которые в программе отве-

чают за управление углами шарниров плеча 1 и плеча 2 соответственно. В строках 5 и 6 инициализируются переменные, отвечающие за хранение информации об углах шарниров плеча 1 и плеча 2 соответственно. В строках 7 и 8 задаются длины плеч $l1$ и $l2$ соответственно. Перед началом программы проводим инициализацию, в строке 11 настраиваем размер и тип шрифта с помощью команды createFont, размеры окна устанавливаются в строке 12 с помощью команды size. Инициализация панели cp5 осуществляется в строке 13. Визуализация вращающейся ручки A описывается в строках с 14 по 20. Необходимо отметить, что любое изменение положения ручки A вызывает пользовательскую программу YgolZ1 (строки 93–96), которая считывает значение рукоятки и записывает в переменную ygolZ1. Далее в строке 22 вводится текстовое поле YgolZ1_text, с помощью которого можно изменять значение. Число, внесенное в текстовое поле, вызывает пользовательскую функцию YgolZ1_text (строки 101–106), которая изменяет значение ygolZ1 и также изменяет положение рукоятки A . Сделано это для удобства точного позиционирования.

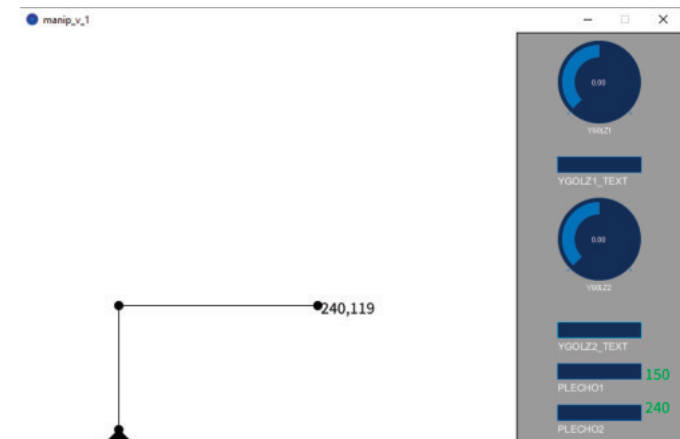


Рисунок 7.1.6 – Пример решения задачи с использованием среды Processing

¹ Processing. Видеоуроки // AlexGyver Technologies V2.0. – URL: <https://alexgyver.ru/lessons/processing/> (дата обращения: 19.06.2024).

Визуализация вращающейся ручки B описывается в строках с 29 по 34. Далее в строке 37 вводится текстовое поле `YgolZ1_text`, с помощью которого можно изменять значение. Длина плеча $l1$ задается с помощью текстового поля `Plecho1`, инициализация которого осуществляется в строках 45 и 51. Длина плеча $l2$ задается с помощью текстового поля `Plecho2`, инициализация которого осуществляется в строках 52 и 60. В строке 61 стартует основной цикл программы `void draw()`.

Основная команда, которая рисует манипулятор, реализуется с помощью пользовательской подпрограммы `manip`. Инициализация данной программы осуществляется в строках 73–100. Рассмотрим его построение: в строках 75 и 76 задаются координаты точки X_m и Y_m , которые отвечают за центр неподвижной системы отсчета. В строке 77 отображается треугольник, основание манипулятора, с помощью команды `triangle`. В строках 78–83 осуществляется прорисовка **первого звена**: шарнир и плечо 1 длиной $l1$. Относительно координат X_m и Y_m задаются координаты первого шарнира, который отображается окружностью с помощью команды `circle` в строке 82. В строке 81 происходит определение положения плеча 1 и вносится в переменную `ugolZ1`. Завершается построение плеча 1 отображением линии в строке 83 с помощью команды `line`.

Построение звена 2 осуществляется аналогично построению первого звена, отличие заключается в том, что началом построения является окончание первого звена. Поэтому при отображении плеча 2 с длиной $l2$ и шарнира 2 в координаты начала подставляются координаты конца плеча 1 в строках 86 и 87 соответственно. Для удобства пользователя в строке 91 выводится координата конца плеча 2. При выполнении программы происходит динамическое перестроение модели манипулятора и получение нужной координаты точки B . Таким образом, прямая задача кинематики решена.

Листинг программы 7.1.1

```

1  import controlP5.*;
2  ControlP5 cp5;
3  Knob myKnobA;
4  Knob myKnobB;
5  float ygolZ1=0;
6  float ygolZ2=0;
7  int Lz1 = 150; //lenght zveno1
8  int Lz2 = 240; //lenght zveno2
9  void setup()
10 {
11   PFont font = createFont(«arial»,12);
12   size (800, 500);
13   cp5 = new ControlP5(this);
14   myKnobA = cp5.addKnob(«YgolZ1»)
15   .setRange(-90,90)
16   .setValue(0)
17   .setPosition(650,10)
18   .setRadius(50)
19   .setDragDirection(Knob.VERTICAL)
20   ;
21   //***** Text A *****
22   cp5.addTextfield(«YgolZ1_text»)
23   .setPosition(650,150)
24   .setSize(100,20)
25   .setFont(font)
26   .setFocus(true)

```

```

1  import controlP5.*;
27  .setColor(color(255,0,0))
28  ;
29  myKnobB = cp5.addKnob(«YgolZ2»)
30  .setRange(-180,180)
31  .setValue(0)
32  .setPosition(650,200)
33  .setRadius(50)
34  .setDragDirection(Knob.VERTICAL)
35  ;
36  //***** Text B *****
37  cp5.addTextfield(«YgolZ2_text»)
38  .setPosition(650,350)
39  .setSize(100,20)
40  .setFont(font)
41  .setFocus(true)
42  .setColor(color(255,0,0))
43  ;
44  //***** Plecho 1 *****
45  cp5.addTextfield(«Plecho1»)
46  .setPosition(650,400)
47  .setSize(100,20)
48  .setFont(font)
49  .setFocus(true)
50  .setColor(color(255,0,0))
51  ;
52  //***** Plecho 2 *****

```

```

1  import controlP5.*;
53  cp5.addTextfield(«Plecho2»)
54  .setPosition(650,450)
55  .setSize(100,20)
56  .setFont(font)
57  .setFocus(true)
58  .setColor(color(255,0,0))
59  ;
60  }
61  void draw()
62  {
63  background(255);
64  // line(120+80,0,120+80,400);
65  fill(153);
66  rect(600, 0, 800, 500);
67  fill(0, 255, 0);
68  text(Lz1, 755,420);
69  text(Lz2, 755,460);
70  fill(0, 0, 0);
71  manip(ygolZ1, ygolZ2);
72  }
73  void manip(float ygolZ1, float ygolZ2)
74  {
75  int Xm = 100;
76  int Ym = 500;
77  triangle(Xm,Ym,Xm+20,Ym-20,Xm+40,Ym);
78  //*****zveno1*****

```

```

1    import controlP5.*;
79   int Xz1 = Xm+20;
80   int Yz1 = Ym-20;
81   ygolZ1 = (ygolZ1+90)*3.14/180;
82   circle(Xz1, Yz1,10);
83   line(Xz1,Yz1,Xz1+cos(ygolZ1)*Lz1,Yz1-sin(ygolZ1)*Lz1);
84   //*****zveno2*****
85   ygolZ2=ygolZ2*3.14/180;
86   circle(Xz1+cos(ygolZ1)*Lz1,Yz1-sin(ygolZ1)*Lz1,10);
87   line(Xz1+cos(ygolZ1)*Lz1,Yz1-sin(ygolZ1)*Lz1,Xz1+cos(ygolZ1)
88   *Lz1+cos(ygolZ2)*Lz2,Yz1-sin(ygolZ1)*Lz1-sin(ygolZ2)*Lz2);
89   circle(Xz1+cos(ygolZ1)*Lz1+cos(ygolZ2)*Lz2,Yz1-
90   sin(ygolZ1)*Lz1-sin(ygolZ2)*Lz2,10);
91   textSize(20);
92   fill(0,0,0);
93   text(Xz1+cos(ygolZ1)*Lz1+cos(ygolZ2)*Lz2-120,Xz1+co
94   s(ygolZ1)*Lz1+cos(ygolZ2)*Lz2,10+Yz1-sin(ygolZ1)*Lz1-
95   sin(ygolZ2)*Lz2,10);
96   }
97   void YgolZ1(float val)
98   {
99     ygolZ1 = -val;
100  }
101  void YgolZ2(float val)
102  {

```

```

1    import controlP5.*;
103   ygolZ1 = float(val);
104   myKnobA.setValue(ygolZ1);
105   println(ygolZ1);
106   }
107   void YgolZ2_text(String val)
108   {
109     ygolZ2 = float(val);
110     myKnobB.setValue(ygolZ2);
111     println(ygolZ1);
112   }
113   void Plecho1(String val)
114   {
115     Lz1 = int(val);
116     println(«a textfield event for controller &apos;Plecho1&apos; :
117     «+val);
118   }
119   void Plecho2(String val)
120   {
121     Lz2 = int(val);

```

Задания для самопроверки

Базовый уровень

Задача 7.1.1

Решить прямую задачу кинематики, представленную на рисунке 7.1.5, если $l_1 = 150$ мм, $l_2 = 200$ мм; угол $a_1 = 20^\circ$, $a_2 = 40^\circ$. Определить положение точки D в неподвижной системе координат XOY .

Задача 7.1.2

Решить прямую задачу кинематики, представленную на рисунке 7.1.5, если $l_1 = 100$ мм, $l_2 = 250$ мм; угол $a_1 = 40^\circ$, $a_2 = 0^\circ$. Определить положение точки D в неподвижной системе координат $ХОУ$.

Продвинутый уровень

Задача 7.1.3

Решить прямую задачу кинематики, представленную на рисунке 7.1.5, если $l_1 = 150$ мм, $l_2 = 200$ мм; угол $a_1 = 20^\circ$, $a_2 = 40^\circ$. Определить положение точки B в неподвижной системе координат $ХОУ$.

Задача 7.1.4

Решить прямую задачу кинематики, представленную на рисунке 7.1.5, если $l_1 = 100$ мм, $l_2 = 250$ мм; угол $a_1 = 40^\circ$, $a_2 = 0^\circ$. Определить положение точки B в неподвижной системе координат $ХОУ$.

Контрольные вопросы

Базовый уровень

7.1.1. Что такое прямая задача кинематики?

7.1.2. Какие особенности у манипуляторов с плоско-параллельной кинематикой?

7.1.3. Назовите основные части манипулятора Dobot Magican.

7.1.4. Как связана координата точки D с длиной плеча l_1 и углом поворота a_1 ?

7.1.5. Как регулируются углы положения плеч l_1 и l_2 в программе?

Продвинутый уровень

7.1.6. Как связана координата точки B с длиной плеча l_2 и углом поворота a_2 в неподвижной системе координат $ХОУ$?

7.1.7. Какую роль играет библиотека controlP5 в программе для визуализации решения прямой задачи кинематики?

7.1.8. Как задаются длины плеч l_1 и l_2 в программе?

7.1.9. Какова цель разработки программы для визуализации решения прямой задачи кинематики?

7.2 Применение роботов в современном производстве

В современном мире роботы стали неотъемлемой частью производственного процесса. Они используются в различных отраслях промышленности, начиная от автомобильной и заканчивая пищевой. Роботы выполняют разнообразные функции, такие как сварка, резка, сборка, упаковка и паллетизация продукции. В этом разделе рассмотрим основные области применения роботов в производстве.

Металлообрабатывающая промышленность. *Коллаборативные роботы*, или *коботы*, – это механические помощники, созданные для облегчения труда людей. Они умеют выполнять монотонные и рутинные задачи, не требуя специальной защитной одежды или ограждений. Коботы оснащены датчиками и сенсорами, которые обеспечивают безопасность человека во время работы.

Коботы находят применение в разных отраслях и выполняют разнообразные задачи, помогая оптимизировать производство и находить новые решения. Они могут работать вместе со станками с числовым программным управлением, облегчая труд людей и делая работу более безопасной.

Коллаборативные роботы Dobot обладают диапазоном полезной нагрузки от 3 до 20 кг и максимальным радиусом действия 1700 мм, что делает их подходящими для металлообрабатывающей промышленности и обеспечивает возможности гибкого автоматизированного производства в тех случаях, когда ранее это было невозможно (рисунок 7.2.1, а).



Рисунок 7.2.1 – Роботы Dobot:
а – Cobot CR16; б – Cobot MG400; в – Magican

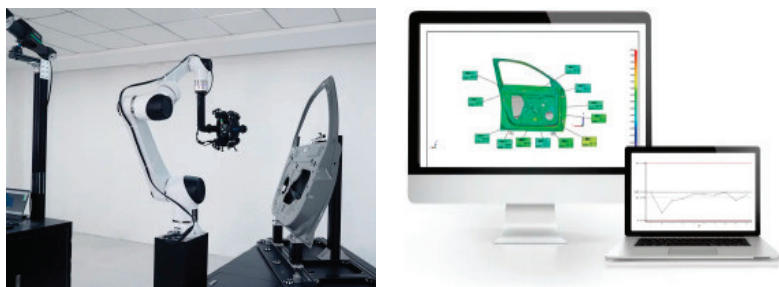


Рисунок 7.2.2 – Робот inspectирует
качество покраски

Автомобильная промышленность. Автомобильная промышленность является одной из первых отраслей, где начали использовать роботов. Роботы применяются для сварки, покраски, сборки и тестирования автомобилей. Они обеспечивают высокую точность и скорость выполнения работ, что позволяет повысить эффективность производства и снизить затраты. Роботы с поддержкой машинного зрения могут проверять поверхность и размеры объектов, таких как

печатные платы, сборочные детали и краска для кузова автомобиля. Они могут выполнять эти задачи гораздо лучше, чем рабочие. По сравнению со стационарными системами автоматизации роботы более универсальны и могут удовлетворить потребности гибкого производства.

Пищевая промышленность. В пищевой промышленности роботы используются для упаковки, паллетизации и транспортировки продуктов питания. Они обеспечивают соблюдение гигиенических норм и стандартов качества продукции.



Рисунок 7.2.3 – Робот повар (а),
паллетоукладчик (б)

Медицина. В медицине роботы используются для выполнения сложных хирургических операций, таких как эндопротезирование и трансплантация органов. Они обеспечивают точность и безопасность проведения операций. 3D-принтеры, работающие с живыми тканями, являются частью обширного семейства робототехники. Биопринтеры уже умеют создавать каркасы тканей, органов и сверхэластичных костей, а также модели плаценты, применяя жидкий питательный субстрат с живыми клетками разных видов, гели, волокна, полимеры, керамику, металлы и другие материалы. Один из наиболее известных производителей биопринтеров – компания EnvisionTEC.



а



б

Рисунок 7.2.4 – Применение роботов в медицине

Робототехническая интеграция. В современном производстве роботы часто интегрируются в производственные линии и системы управления. Это позволяет оптимизировать производственный процесс, повысить эффективность и снизить затраты.



Рисунок 7.2.5 – Коллаборация робота и человека

Применение роботов в современном производстве имеет множество преимуществ, таких как повышение эффективности, снижение затрат, улучшение качества продукции и обеспечение безопасности работников. Роботы продолжают развиваться и адаптироваться к различным отраслям промышленности, обеспечивая устойчивое развитие производства и экономики в целом.

Практико-ориентированное задание 7.2. Управление движением Dobot Magician

Основываясь на полученном представлении о том, как перемещаются и как определяются положения звеньев манипулятора, рассмотрим управление роботом Dobot Magician через среду DobotStudio.

На рабочем столе найдите ярлык, который представлен на рисунке 7.2.6.

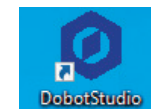


Рисунок 7.2.6 – Ярлык программы DobotStudio

Перед вами откроется главное окно программы, представленное на рисунке 7.2.7.

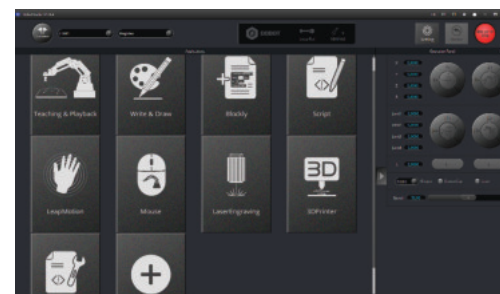


Рисунок 7.2.7 – Главное окно программы DobotStudio

Робот-манипулятор имеет девять основных функциональных модулей. В данном задании научимся управлять роботом через панель управления, представленную на рисунке 7.2.8.



Рисунок 7.2.8 – Панель управления манипулятором программы DobotStudio

Панель управления позволяет изменять координаты рабочего органа нажатием на соответствующие кнопки панели X+, Y+, Z+ для увеличения или X-, Y-, Z- для уменьшения соответствующих координат. Координатная плоскость проходит через основание робота (рисунок 7.2.9).



Рисунок 7.2.9 – Панель управления положением рабочего органа через координаты

Кроме того, есть возможность управления плечами работа через установку углов плеч робота (соединений) (рисунок 7.2.10).



Рисунок 7.2.10 – Панель управления положением рабочего органа через углы соединений

Чтобы начать взаимодействовать с роботом-манипулятором через панель управления, необходимо подключить адаптер питания к основанию робота, включить питание кнопкой, расположенной на основании (рисунок 7.2.11).

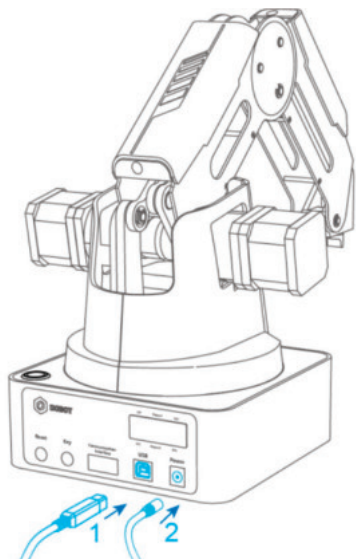


Рисунок 7.2.11 – Подключение Dobot Magician

Необходимо дождаться короткого звукового сигнала. Подключить робота к компьютеру с помощью USB-кабеля. В главном окне программы DobotStudio нажмите кнопку «Connect», которая расположена в верхнем углу экрана (рисунок 7.2.12).



Рисунок 7.2.12 – Активация подключения – кнопка «Connect»

Нажимая на кнопки панели управления, начните управление роботом. Если у вас нет доступа к роботу, можно воспользоваться виртуальной моделью робота Dobot Magician lite. Для этого вам необходимо перейти по ссылке <https://dobotlab.dobot-robots.com>. Выберите виртуальную лабораторию (рисунок 7.2.13, а), далее выберите базовую сцену (рисунок 7.2.13, б), а затем – метод программирования DobotBlock Lab (рисунок 7.2.13, в).

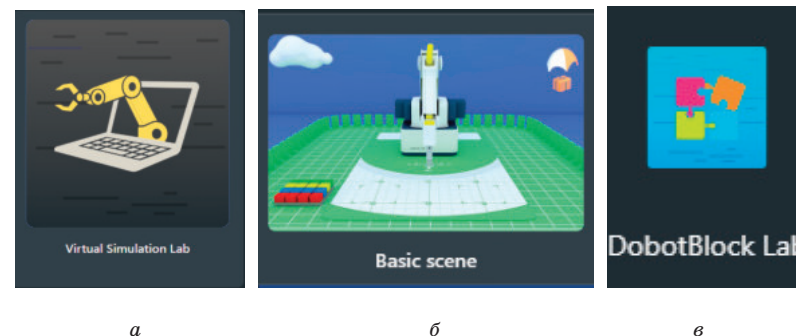


Рисунок 7.2.13 – Виртуальная лаборатория

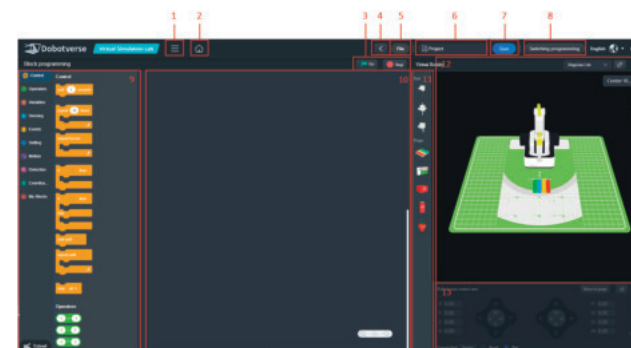


Рисунок 7.2.14 – Виртуальная лаборатория с роботом-манипулятором Dobot Magician lite

Перед вами откроется виртуальная лаборатория с роботом Dobot Magician lite. Виртуальная лаборатория DobotBlock Lab представляет собой окно (рисунок 7.2.14), в котором есть поле 10 для создания кода, набор блоков для кода 9, область виртуальной реальности 12, окно управления роботом 13. Для того чтобы начать работать с роботом, достаточно в области виртуальной реальности 12 нажать кнопку  и подключить робота виртуально.

При нажатии на подключение выйдет контекстное меню (рисунок 7.2.15), на котором необходимо нажать на кнопку «Connect».

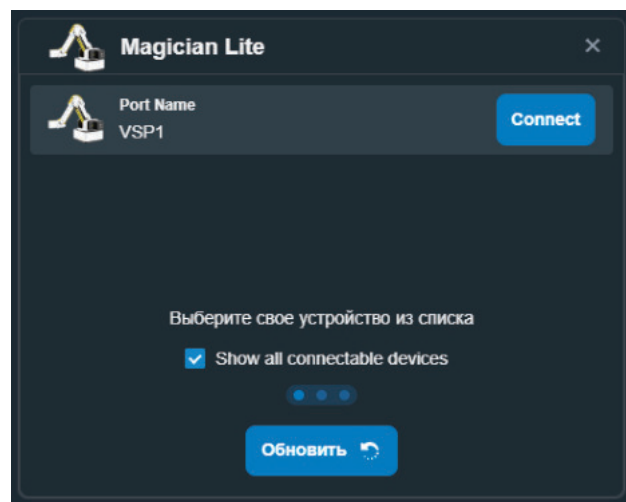
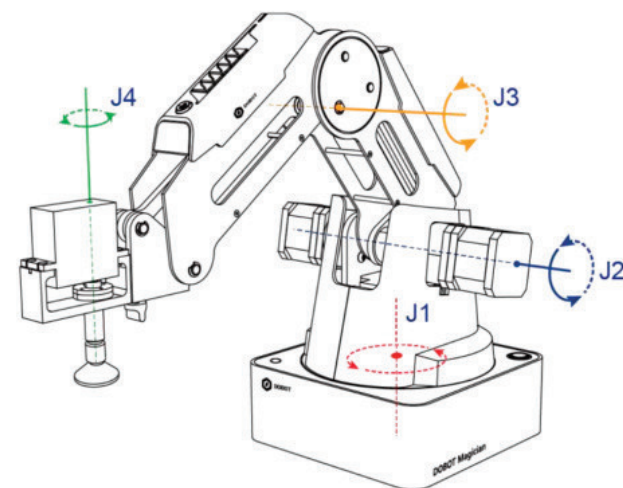
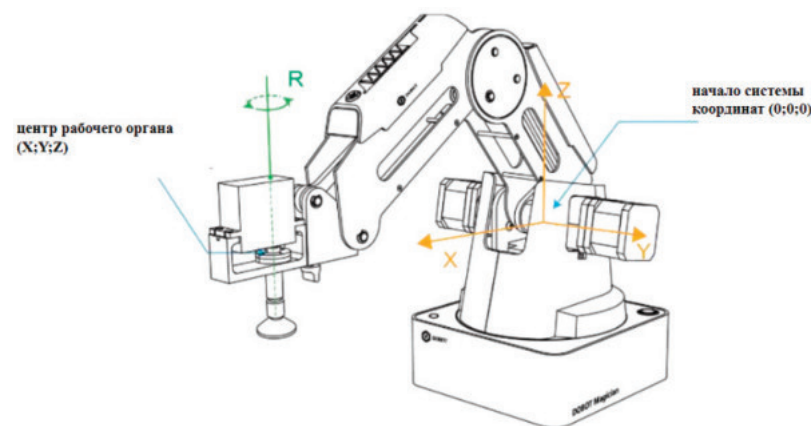


Рисунок 7.2.15 – Меню подключения робота

После подключения появляется возможность управление роботом, как и в DobotStudio, есть кнопки как управления координатами X, Y, Z в неподвижной системе координат, так и управления углами J1, J2, J3 и J4 (рисунок 7.2.16).



а



б

Рисунок 7.2.16 – Система координат робота

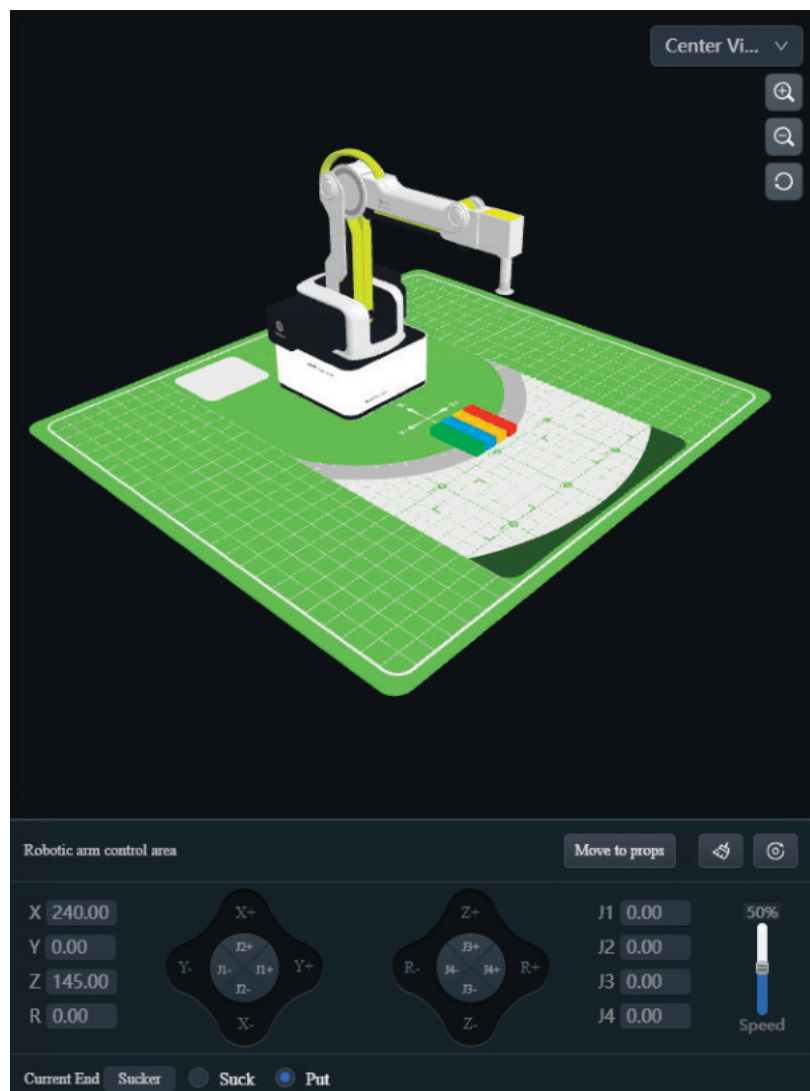


Рисунок 7.2.17 – Панель управления роботом в виртуальной среде

Задания для самопроверки

Задача 7.2.1

Основываясь на материале представленном выше, предлагаем решить прямую задачу кинематики с геометрическими размерами робота-манипулятора Dobot Magican (рисунок 7.2.18). Установить значение углов J3 и J2 с помощью панели управления таким образом, чтобы рабочий орган касался основания стола, на котором находится, и определить расстояние от основания робота до рабочего органа (рисунок 7.2.19). Сравните полученное расстояние со значением, которые получили при отображении информации о положении рабочего органа через координаты.

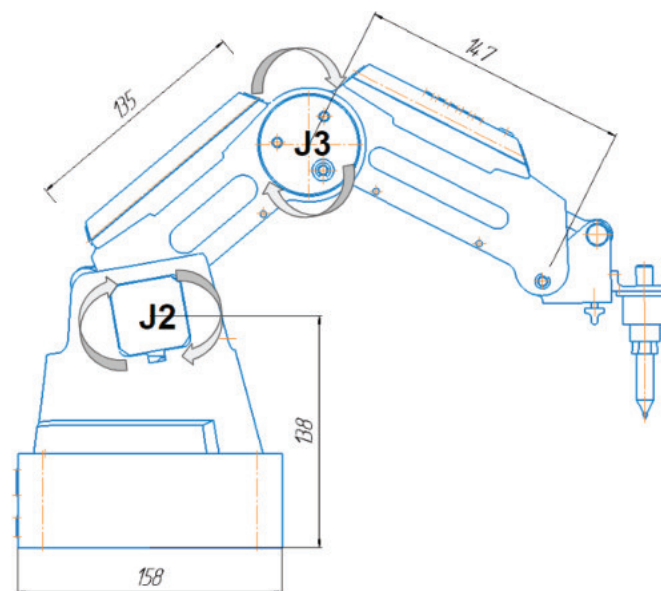


Рисунок 7.2.18 – Геометрические размеры робота-манипулятора Dobot Magican

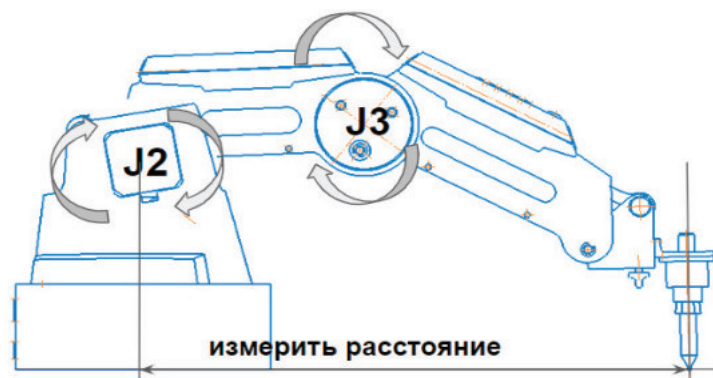


Рисунок 7.2.19 – Практическая задача

Задача 7.2.2

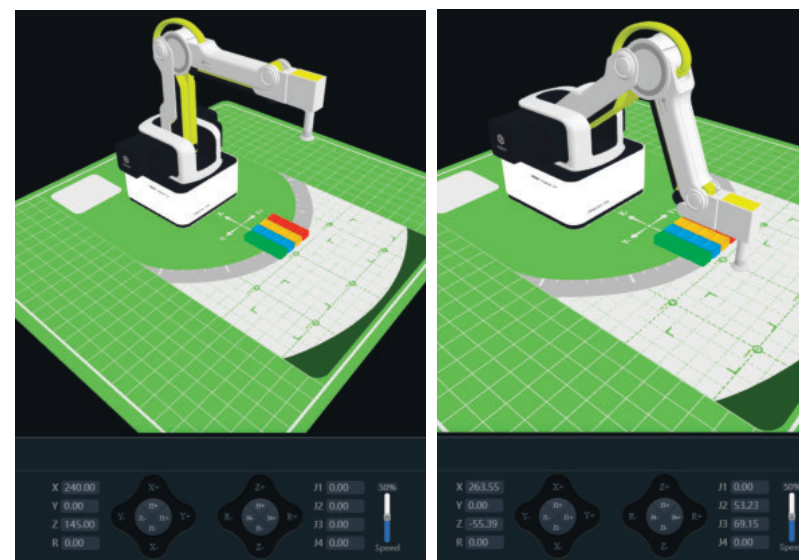
Написать код для робота-манипулятора, благодаря которому рабочий орган переместится из домашней позиции «Home» в точку с координатами в задаче 7.2.1, далее задержится в данной позиции на 2 секунды и вернется обратно в позицию «Home».

Базовый уровень

Используем язык программирования Blockly. Познакомиться с блоками языка Blockly можно в методическом пособии¹. Пример перемещения рабочего органа покажем на виртуальной модели Dobot Magican lite.

Переместим робот-манипулятор из домашней позиции «Home» (рисунок 7.2.20, а) в позицию точки А (рисунок 7.2.20, б). Определяем координаты данной точки в окне управления роботом (рисунок 7.2.21), точка А имеет координаты (263; 0; -55).

¹ Горнов О.А. Программирование манипулятора в среде GOOGLE BLOCKLY: DOBOT MAGICAN: Образовательная инженерная платформа. М.: Экзамен, 2021. 188 с.



а

б

Рисунок 7.2.20 – Позиция «Home» (а), позиция в точке А (б)

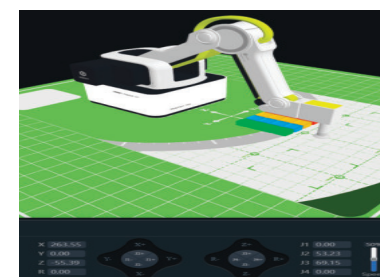


Рисунок 7.2.21 – Определение координаты точки А

Реализация кода будет основана на следующих, представленных в таблице 7.2.1.

Таблица 7.2.1 – Блоки кода языка Blockly

Блок	Описание
	Событие начала выполнения кода
	Указывает скорость всех сервоприводов робота-манипулятора
	Возвращение робота-манипулятора в исходное положение «Домой»
	Переместиться к указанным координатам, используя тип MOV
	Значение паузы перед выполнением следующей команды
	Переместиться к указанным координатам, используя тип движения JUMP

Программа, которая реализует перемещение рабочего органа из позиции «Home» в указанную точку А, представлена на рисунке 7.7.22.

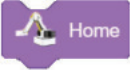
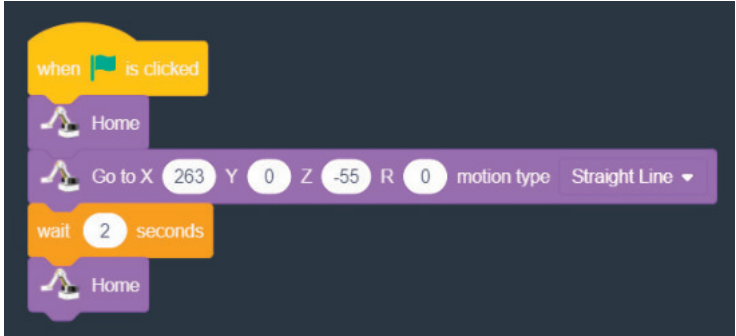
Выполнение кода осуществляется сверху вниз. Для начала выполнения кода вам необходимо нажать кнопку Go  в окне кода. Код начнет выполнение с блока . Далее блок  – возвращение робота-манипулятора в исходное положение «Home». Следующий блок  перемещает робот-манипулятор в указанную позицию точки А с координатами (263; 0; -55). Блок  задерживает выполнение кода на 2 секунды. Далее блок  – возвращение робота-манипулятора в исходное положение «Home».

Рисунок 7.2.22 – Программа задачи 7.2.2 в виртуальной лаборатории



Программа, которая реализует перемещение рабочего органа из позиции «Home» в указанную точку А в среде DobotStudio, представлена на рисунке 7.2.23.

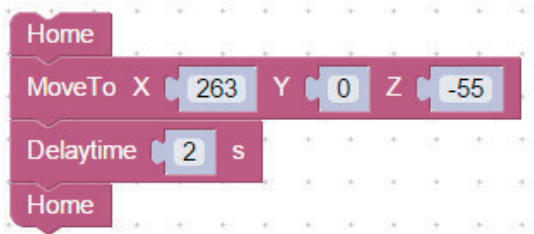


Рисунок 7.2.23 – Программа задачи 7.2.2 в DobotStudio

Продвинутый уровень

Решить задачу 7.2.1, используя язык программирования Python. Познакомиться с программированием на языке Python можно в методическом пособии¹.

Данную программу также можно написать, используя язык Python. Листинг кода программы представлен на листинге программы 7.2.1.

Листинг программы 7.2.1 в DobotStudio

```
1 dType.SetHOMECmdEx(api, 0, 1)
3 dType.SetPTPCmdEx(api, 2, 200, 0, 0, current_pose[3], 1)
4 dType.dSleep(2000)
5 dType.SetHOMECmdEx(api, 0, 1)
```

Описание команд языка Python, представленных в листинге 7.2.1 и 7.2.2, приведено в таблице 7.2.2.

Листинг программы 7.2.2 в виртуальной среде

```
1 from DobotEDU import *
2 m_lite.set_homecmd()
3 m_lite.set_ptpcmd(ptp_mode=0, x=263, y=(0), z=(-55), r=0)
4 m_lite.wait(delay=2)
5 m_lite.set_homecmd()
```

Таблица 7.2.2 – Соответствие команд виртуальной среды и DobotStudio

Виртуальная среда	DobotStudio	Описание
from DobotEDU import *		Подключение библиотеки DobotEDU
m_lite.set_homecmd()	dType.SetHOMECmdEx(api, 0, 1)	Возвращение робота-манипулятора в исходное положение «Home»

¹ Горнов О.А. Программирование манипулятора в среде PYTHON: DOBOT MAGICAN: Образовательная инженерная платформа. М.: Экзамен, 2021. 120 с.; Учебные материалы по робототехнике и программированию // ТЕХНОЛАБ. URL: <https://examen-technolab.ru/education/manuals> (дата обращения: 20.06.2024).

Окончание таблицы 7.2.2

Виртуальная среда	DobotStudio	Описание
m_lite.set_ptpcmd(ptp_mode=0, x=263, y=(0), z=(-55), r=0)	dType.SetPTPCmdEx(api, 2, 200, 0, 0, current_pose[3], 1)	Переместиться к указанным координатам, используя тип MOV
m_lite.wait(delay=2)	dType.dSleep(2000)	Значение паузы перед выполнением следующей команды
m_lite.set_homecmd()	dType.SetHOMECmdEx(api, 0, 1)	Возвращение робота-манипулятора в исходное положение «Home»

Задача 7.2.3

Написать код для робота-манипулятора, благодаря которому рабочий орган переместится из домашней позиции «Home» в точку с координатами А (263; 0; –55), далее задержится в данной позиции на 2 секунды, затем переместится в точку В с координатами (200; 0; –55), далее задержится в данной позиции на 2 секунды и вернется обратно в позицию «Home». Выполните задание с использованием языка Blockly (базовый уровень), языка Python (продвинутый уровень).

Базовый уровень



Рисунок 7.2.24 – Решение задачи 7.2.3 в DobotStudio

Продвинутый уровень

Решение задачи 7.2.3 для продвинутого уровня сложности в DobotStudio представлено в листинге программы 7.2.3, в виртуальной среде см. листинг программы 7.2.4.

Листинг программы 7.2.3 в DobotStudio

```
1 dType.SetHOMECmdEx(api, 0, 1)
2 current_pose = dType.GetPose(api)
3 dType.SetPTPCmdEx(api, 2, 263, 0, (-55), current_pose[3], 1)
4 dType.dSleep(2000)
5 current_pose = dType.GetPose(api)
6 dType.SetPTPCmdEx(api, 2, 263, 100, (-55), current_pose[3], 1)
7 dType.dSleep(2000)
8 dType.SetHOMECmdEx(api, 0, 1)
```

Листинг программы 7.2.4 в виртуальной среде

```
1 from DobotEDU import *
2 m_lite.set_homecmd()
3 m_lite.set_ptpcmd(ptp_mode=0, x=263, y=(0), z=(-55), r=0)
4 m_lite.wait(delay=2)
5 m_lite.set_ptpcmd(ptp_mode=0, x=263, y=(100), z=(-55), r=0)
6 m_lite.wait(delay=2)
7 m_lite.set_homecmd()
```

Контрольные вопросы

Базовый уровень

7.2.1. Какие геометрические размеры имеет робот-манипулятор Dobot Magican?

7.2.2. Что позволяет делать панель управления манипулятором программы DobotStudio?

7.2.3. Какие функции выполняет панель управления манипулятором?

7.2.4. Как подключить робота-манипулятора к компьютеру через USB-кабель?

7.2.5. Что означает значение задержки перед выполнением следующей команды?

Продвинутый уровень

7.2.6. Как активировать подключение к виртуальной лаборатории DobotBlock Lab?

7.2.7. Какие возможности предоставляет виртуальная лаборатория DobotBlock Lab?

7.2.8. Как использовать функцию dType.dSleep() для установки значения паузы перед выполнением следующей команды?

7.2.9. Как применить функцию m_lite.wait() для ожидания выполнения определенной команды?

7.2.10. Как использовать функцию m_lite.set_ptpcmd() для перемещения робота-манипулятора к заданным координатам?

7.3 Программирование и управление роботами

Для программирования и управления роботами используются разные языки программирования, каждый из которых имеет свои особенности и преимущества. Ниже приведены некоторые из них.

Python – простой и популярный язык программирования, часто используется для написания скриптов, управления сенсорами и выполнения алгоритмов машинного обучения. Python поддерживает мощные библиотеки, такие как NumPy, SciPy и TensorFlow, что позволяет быстро разрабатывать и тестировать прототипы.

C++ – мощный язык программирования, обеспечивающий высокую производительность и контроль над ресурсами.

ми. Используется для создания низкоуровневых программ, требующих высокой скорости выполнения и эффективности. C++ также поддерживает объектно-ориентированное программирование.

Java – объектно-ориентированный язык программирования, используемый для разработки приложений, работающих на разных платформах. Применяется для создания сложных систем управления и взаимодействия с различными устройствами.

MATLAB – язык программирования и среда для выполнения математических вычислений, моделирования, симуляции и анализа данных. Используется для разработки алгоритмов управления и обработки сигналов.

ROS (Robot Operating System) – это не язык программирования, а фреймворк, предоставляющий инструменты и библиотеки для разработки программного обеспечения для роботов. ROS поддерживает несколько языков программирования, включая Python и C++, и используется для создания сложных роботизированных систем.

Используемая среда DobotStudio поддерживает несколько языков программирования. Некоторые примеры использования этих языков программирования с DOBOT Studio:

- Google Blockly: создание простых алгоритмов и управление роботом с использованием блоков;
- Python: написание более сложных программ для управления роботом и выполнения различных задач;
- Java (Android): разработка приложений для Android, которые могут управлять роботом и взаимодействовать с ним;
- C/C++/C#: создание программ для управления роботом и выполнения различных задач на разных платформах;
- LabVIEW: визуальное программирование для управления роботом и анализа данных с датчиков;
- Objective-C (iOS, macOS): разработка приложений для iOS и macOS, которые могут управлять роботом и взаимодействовать с ним.

Работа с датчиками Dobot Magician. Возможности робота-манипулятора Dobot Magician можно значительно расширить, используя различные датчики и сенсоры. Это позволит роботу взаимодействовать с внешним миром и выполнять более сложные задачи в рамках автоматизированных процессов.

В комплекте с Dobot Magician представлены разнообразные датчики, такие как датчик цвета, светодиод, кнопка, потенциометр и др. Этот набор предназначен для интеграции с учебным манипулятором Dobot Magician и позволяет улучшить его функциональность, а также дает возможность разрабатывать и изучать учебные проекты с использованием технологий Интернета вещей.

Применение смарт-датчиков открывает новые горизонты для обучения и развития навыков в области робототехники и автоматизации. Студенты и преподаватели смогут создавать разнообразные приложения и решения, основанные на взаимодействии робота с реальным миром, что способствует развитию критического мышления, аналитических способностей и навыков решения проблем.

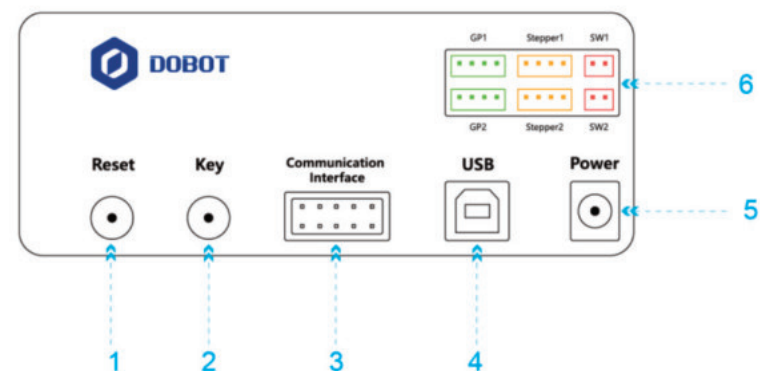


Рисунок 7.3.1 – Панель интерфейсов основания робота-манипулятора

Для расширения функционала в роботе-манипуляторе Dobot Magician предусмотрены разъемы для подключения сенсоров. Интерфейсы Dobot Magician расположены на задней части основания и на плече 2 (рисунок 7.3.1).

На рисунке 7.3.1 показаны интерфейсы задней панели базы, а в таблице 7.3.1 дано описание разъемов.

Таблица 7.3.1 – Описание разъемов

Позиция	Описание
1	Клавиша сброса: сброс программы MCU. Во время сброса светодиодный индикатор на базе горит желтым цветом. Через 5 секунд, если светодиодный индикатор загорится зеленым, это означает, что сброс выполнен успешно
2	Функциональный ключ. Короткое нажатие: запуск автономной программы. Длительное нажатие в течение 2 секунд: запуск процедуры возврата в исходное положение
3	Интерфейс связи/интерфейс UART: подключение к Bluetooth, Wi-Fi и др.
4	Интерфейс USB: подключение к ПК
5	Интерфейс питания: подключение к адаптеру питания
6	Периферийный интерфейс: подключение к воздушному насосу, экструдеру, датчику и другим устройствам. Периферийное оборудование. Подробную информацию о периферийных интерфейсах см. в таблице 7.3.2

Таблице 7.3.2 – Информация о периферийных интерфейсах

Интерфейс	Описание
SW1	Интерфейс питания воздушного насоса; выход 12 В контролируемой мощности
SW2	Вывод 12 В регулируемой мощности
Stepper1	Пользовательский интерфейс для шагового двигателя; разъем для подключения экструдера (режим 3D-печати)
Stepper2	Пользовательский интерфейс для шагового двигателя;
GP1	Сигнальный интерфейс воздушного насоса; интерфейс датчика цвета; интерфейс инфракрасного датчика; общий пользовательский интерфейс
GP2	Общий пользовательский интерфейс

Также на плече робота находятся разъемы для подключения периферийных устройств (рисунок 7.3.2), в таблице 7.3.3 представлена информация о назначении контактов.

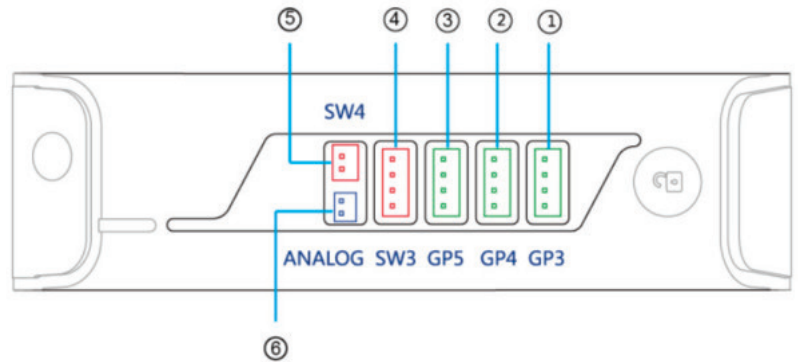


Рисунок 7.3.2 – Разъемы периферийных интерфейсов на плече

Таблица 7.3.3 – Информация о периферийных интерфейсах на плече робота

Интерфейс	Описание
1	GP3, интерфейс рабочего органа; интерфейс сервопривода оси R; определяемый пользователем общий интерфейс
2	GP4, интерфейс автоматического выравнивания, общий пользовательский интерфейс
3	GP5, сигнальный интерфейс лазерной гравировки; определяемый пользователем общий интерфейс
4	SW3, интерфейс экструдера (режим 3D-печати); вывод 12 В регулируемой мощности
5	SW4, интерфейс вентилятора (режим 3D-печати); силовой интерфейс лазерной гравировки; вывод 12 В регулируемой мощности
6	Аналоговый порт, порт подключения термистора (режим 3D-печати)

Практико-ориентированное задание 7.3.

Перемещение объектов роботом Dobot Magician

Разместите компоненты так, как показано на рисунке 7.3.3. Подключение всех компонентов необходимо осуществить согласно рекомендациям, представленным на рисунках 7.3.4 и 7.3.5. Цель данной практической работы – научиться перемещать кубики или игровые элементы с помощью конвейерной ленты и останавливать компоненты при достижении датчика расстояния.

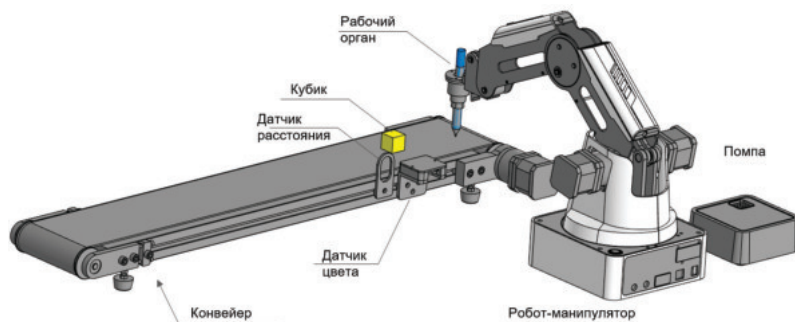


Рисунок 7.3.3 – Размещение компонентов для практического задания 7.2

Сначала составим программу, которая заставит перемещать ленту конвейера (рисунок 7.3.6). Шаговый двигатель конвейерной ленты подключен к разьему STEPPER1, поэтому в программе в ячейке «Motor» указываем STEPPER1. В поле «Speed» вы указываете необходимую скорость для перемещения, в примере указана скорость 50 mm/s. При нажатии на кнопку «Start» конвейер начнет перемещение со скоростью 50 мм/с. Если указать отрицательную скорость, конвейер начнет перемещение в обратную сторону. Для того чтобы остановить вращение конвейера, необходимо в ячейке «Speed» указать 0.

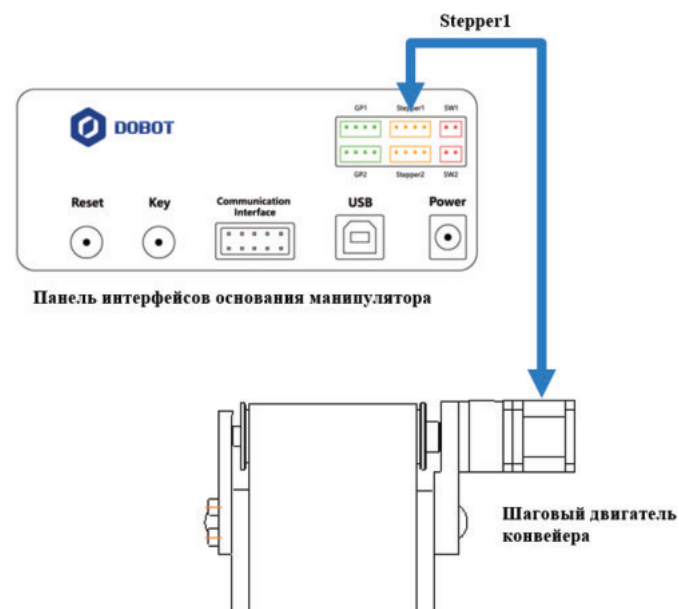


Рисунок 7.3.4 – Схема подключения шагового двигателя конвейерной ленты



Рисунок 7.3.5 – Схема подключения датчика расстояния

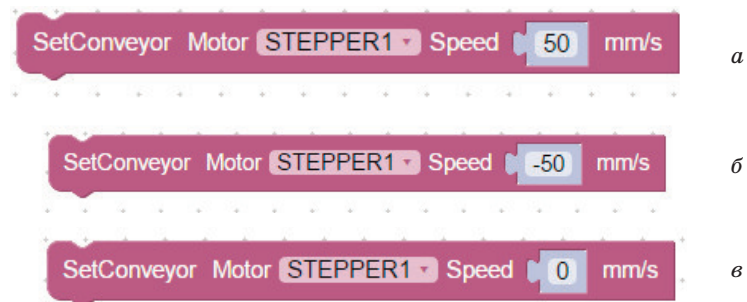


Рисунок 7.3.6 – Программа для движения конвейерной ленты

Теперь научимся считывать сигналы с датчика расстояния. Датчик расстояния присоединен к порту GP2 основания робота манипулятора. Для того чтобы начать принимать сигналы, необходимо активировать датчик, с помощью команды SerPhotoelectricSensor указывать режим On, т.е. включить. Выбираете версию вашего датчика, в нашем случае версия V2, и указываете порт, к которому подключен датчик расстояния GP2 (рисунок 7.3.7).



Рисунок 7.3.7 – Активация датчика расстояния

После активации датчика расстояния с помощью команды GetPhotoelectricSensor, указав при этом порт использования GP2, ждем выполнения команды.



Рисунок 7.3.8 – Получение данных с датчика расстояния

Алгоритм выполнения команды представлен на рисунке 7.3.9. При обнаружении препятствия перед датчиком расстояния команда GetPhotoelectricSensor возвращает 1, при отсутствии объектов – 0.

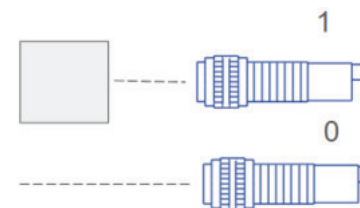


Рисунок 7.3.9 – Алгоритм работы датчика расстояния

Напишем бесконечный цикл, который будет выводит слово «detect», если впереди датчика расстояния есть препятствие, и «not detect», если препятствие будет отсутствовать (рисунок 7.3.10).

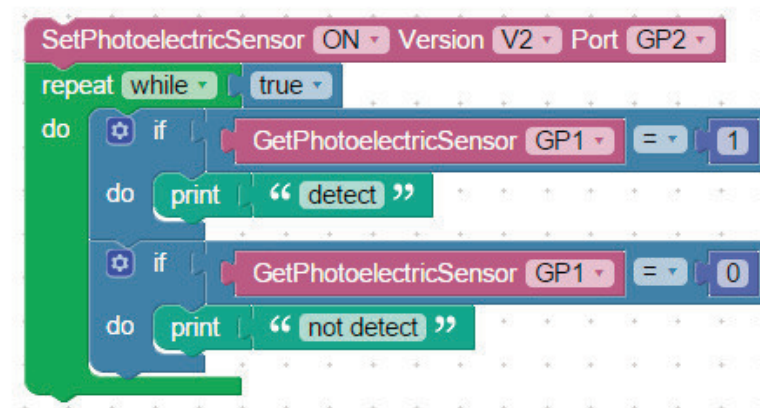


Рисунок 7.3.10 – Программа обнаружения препятствия

Практическое задание 7.4. Управление конвейерной лентой от состояния датчика расстояния

Базовый уровень

Объединим программу детектирования объекта и программу управления конвейерной лентой. Задача будет состоять в следующем: пока датчик расстояния не видит препятствие, конвейер вращается, как только датчик видит препятствие, он останавливается. Программа, реализующая описанный алгоритм, представлена на рисунке 7.3.11. В начале программы выводит сообщение «Robot ready», далее выполняется настройка датчика расстояния, после этого попадаем в бесконечный цикл, в котором происходит проверка: если перед датчиком расстояния есть объект, то выводится сообщение о детектировании объекта (detect) и командой SetConveyor motor stepper1 speed 0 mm/s останавливаем перемещение конвейера, если перед датчиком расстояния не будет объекта, то выводится сообщение «not detect» и далее запускается команда SetConveyor motor stepper1 speed 50 mm/s.

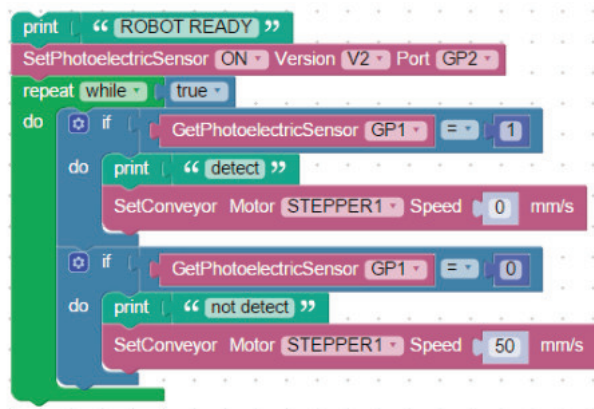


Рисунок 7.3.11 – Программа перемещения объектов

Продвинутый уровень

Программа, разработанная на языке Python, представлена в листинге 7.3.1.

Листинг 7.3.1. Программа управления конвейером

```
1 print('ROBOT READY')
2 STEP_PER_CRICLE = 360.0 / 1.8 * 10.0 * 16.0
3 MM_PER_CRICLE = 3.1415926535898 * 36.0
4 dType.SetInfraredSensor(api, 1, 1, 1)
5 while True:
6     if (dType.GetInfraredSensor(api, 0)[0]) == 1:
7         print('detect')
8         vel = float(0) * STEP_PER_CRICLE / MM_PER_CRICLE
9         dType.SetEMotorEx(api, 0, 0, int(vel), 1)
10    if (dType.GetInfraredSensor(api, 0)[0]) == 0:
11        print('not detect')
12        vel = float(50) * STEP_PER_CRICLE / MM_PER_CRICLE
13        dType.SetEMotorEx(api, 0, 1, int(vel), 1)
```

Работа с инструментами Dobot Magician

Практико-ориентированное задание 7.5. Управление конвейерной лентой от состояния датчика расстояния и датчика цвета

Робот-манипулятор должен выставить цветные кубики в зоне разгрузки в определенной последовательности. Последовательность задается преподавателем перед началом работы, например желтый, красный, зеленый.

В практическом занятии расширим возможности робота манипулятора с использованием датчика цвета, датчика расстояния и конвейерной ленты. Компоновка оборудования представлена на рисунке 7.3.12. Подключение датчика цвета представлено на рисунке 7.3.13.

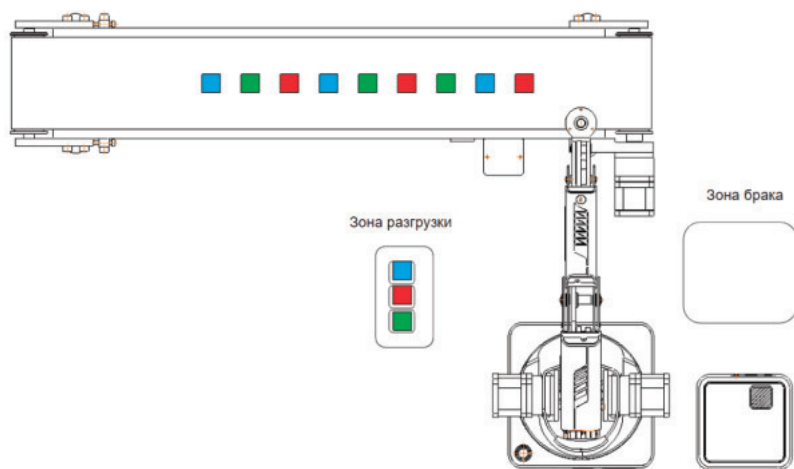


Рисунок 7.3.12 – Расстановка оборудования

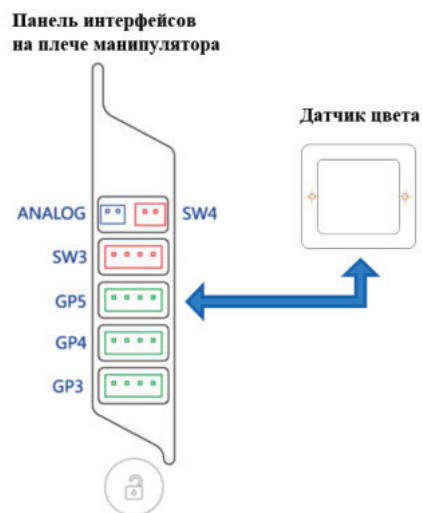


Рисунок 7.3.13 – Схема подключения датчика цвета

Базовый уровень

Составим программу для работы с датчиком цвета (рисунок 7.3.14). Датчик цвета имеет возможность определять основные цвета: красный (Red), зеленый (Green) и синий (Blue). Датчик цвета (RGB) работает по принципу отражения света от поверхности объекта. Он излучает свет красного, зеленого и синего цветов и регистрирует отраженный свет. Каждый цвет имеет свой уникальный код, который датчик преобразует в аналоговый сигнал в диапазоне от 0 до 255. Значение, соответствующее наибольшему из трех, определяет цвет предмета, находящегося перед датчиком. Эффективное расстояние между объектом и датчиком цвета составляет 2–5 мм. Программа, написанная на языке Blockly, представлена на рисунке 7.3.15.



Рисунок 7.3.14 – Датчик цвета

В основном цикле программы вызывается пользовательская функция “collor_sub”, которая возвращает четыре цифры:

- 1 – если датчик идентифицирует красный цвет;
- 2 – если датчик идентифицирует зеленый цвет;
- 3 – если датчик идентифицирует синий цвет;
- 4 – если цвет не идентифицируется как зеленый, синий или красный.

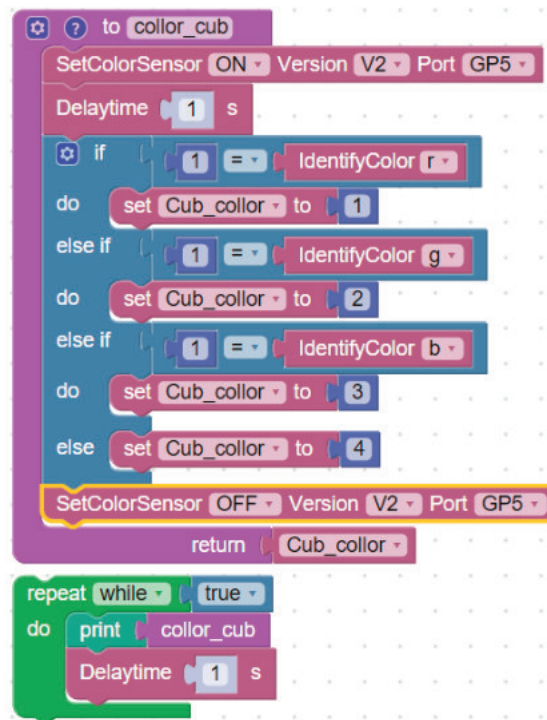


Рисунок 7.3.15 – Программа для определения цвета кубика (Blockly)

При входе в подпрограмму включается датчик цвета с помощью команды SetColorSensor. Устанавливается режим ON – включен, указывается версия сенсора V2 и указывается порт GP5, к которому подключен датчик. Далее делаем небольшую задержку Delaytime на 1 секунду. После этого команда IdentifyColor возвращает 1, если цвет на датчике цвета совпадает с красным, если нет, то 0. При совпадении цвета в переменную Cub_collor записывается цифра 1. Далее проверяется зеленый цвет, и присваивается цифра 2 в переменную Cub_collor. Затем проверяется синий цвет, и присва-

ивается цифра 3 в переменную Cub_collor. Если же ни один цвет не был определен, то в переменную Cub_collor записывается число 4. После этого сенсор отключается. Функция возвращает значение переменной Cub_collor.

Продвинутый уровень

Программа для определения цвета кубика на языке Python представлена в листинге 7.3.2.

Листинг 7.3.2. Программа для определения цвета кубика

```

1  Cub_collor = None
2  def collor_cub():
3      global Cub_collor
4      dType.SetColorSensor(api, 1, 3, 1)
5      dType.dSleep(1000)
6      if 1 == (dType.GetColorSensorEx(api, 0)):
7          Cub_collor = 1
8      elif 1 == (dType.GetColorSensorEx(api, 1)):
9          Cub_collor = 2
10     elif 1 == (dType.GetColorSensorEx(api, 2)):
11         Cub_collor = 3
12     else:
13         Cub_collor = 4
14     dType.SetColorSensor(api, 0, 3, 1)
15     return Cub_collor
16     while True:
17         print(collor_cub())
18         dType.dSleep(1000)
  
```

Протестировав программу с идентификацией цвета, переходим к составлению алгоритма работы программы по заданию. Рассмотрим компоновку оборудования, представленную на рисунке 7.3.16.

1. Вращаем конвейер.
2. При определении датчиком расстояния кубика останавливаем конвейер.
3. Собираем кубик манипулятором (позиция К1).
4. Транспортируем кубик к датчику цвета (позиция К2).
5. Определяем цвет кубика.
6. Если кубик соответствует цвету, указанному в задании и он еще не был установлен, тогда его размещаем в зону разгрузки (позиция К3, К4, К5).
7. Если кубик нужного цвета уже был установлен в зоне разгрузки, тогда кубик скидывается в зону брака (позиция К6).
8. Завершается выполнение работы, когда все три кубика были установлены на свои места в зоне разгрузки.

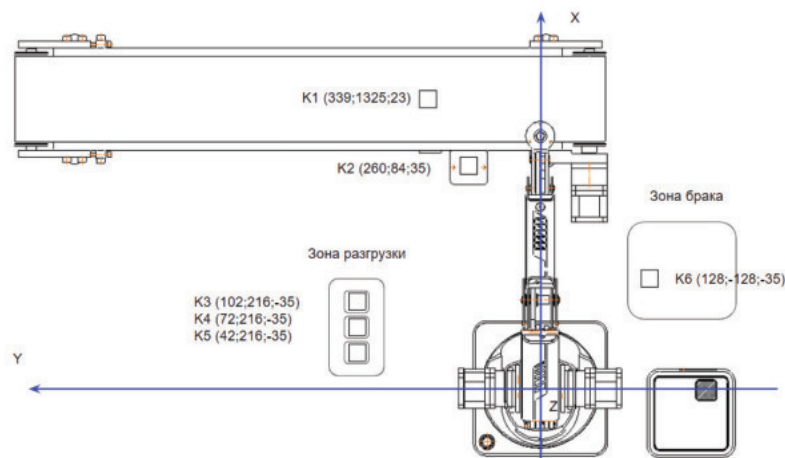


Рисунок 7.3.16 – Система координат

Определить координаты основных точек К1, К2, К3, К4, К5 и К6 возможно с помощью следующего алгоритма.

- 1) Нажмите кнопку разблокировки на плече робота и удерживайте.

- 2) Переместите роботизированную руку в необходимую точку К, а затем отпустите кнопку.

- 3) На панели управления роботом отобразятся координаты искомой точки (рисунок 7.3.17).



Рисунок 7.3.17 – Координаты точки К:
X = 302, Y = 0, Z = -108

Базовый уровень

Программа, работающая по составленному алгоритму, представлена на рисунке 7.3.18.

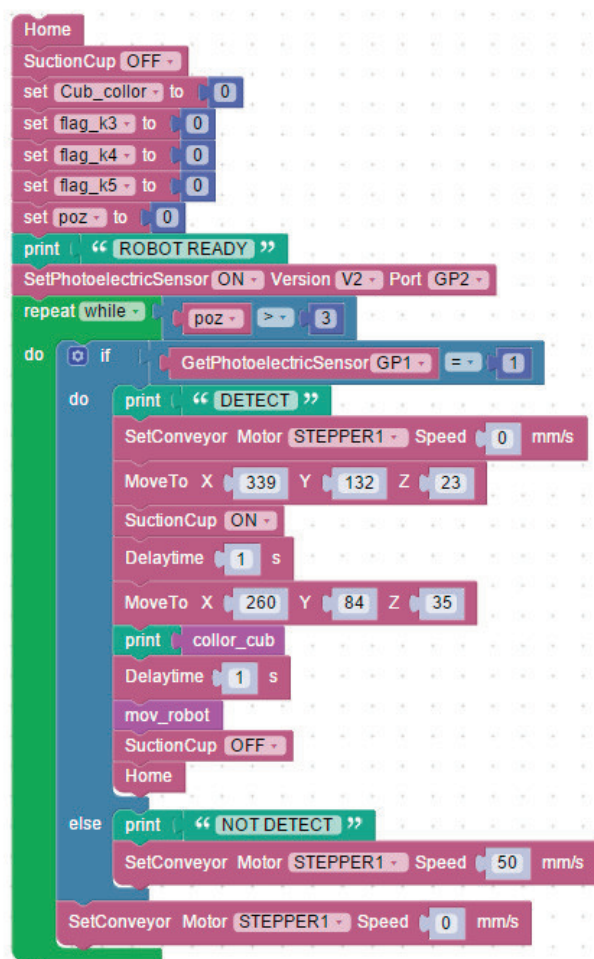


Рисунок 7.3.18 – Программа выполнения практико-ориентированного задания 7.5

В программе используются три глобальные переменные flag_k3, flag_k4 и flag_k5, которые отвечают за занятость позиций в зоне разгрузки, соответственно К3, К4 или К5. Переменная poz отвечает за количество вакантных ячеек. Если есть вакантное место ($poz < 3$) и датчик расстояния не зафиксировал наличие кубика в позиции К1, происходит движение конвейерной ленты. При обнаружении кубика в позиции К1 перемещение конвейерной ленты останавливается и задается позиция для перемещения робота-манипулятора в позицию К1. При достижении заданной позиции происходит включение захвата SuctionCup ON. Осуществляется задержка на 1 секунду, это делается для надежного приклепления объекта. Далее манипулятор перемещает кубик в позицию К2, где запускается подпрограмма collor_cub (см. рисунок 7.3.15). После определения цвета кубика запускается подпрограмма mov_robot (рисунок 7.3.19).

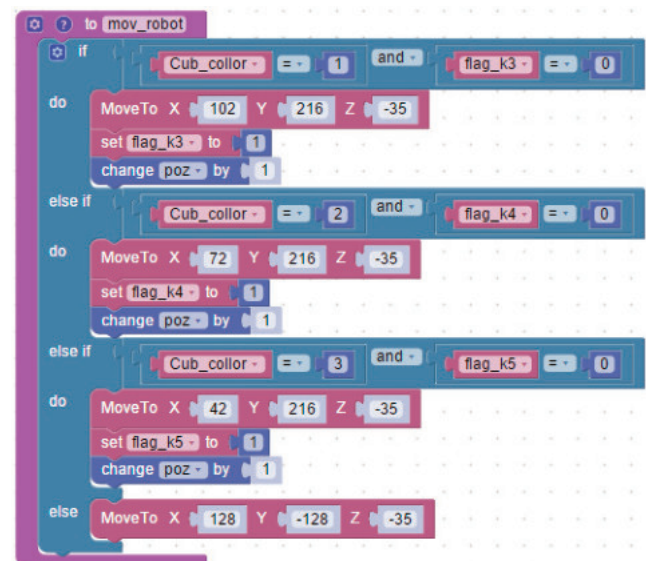


Рисунок 7.3.19 – Подпрограмма mov_robot

В данной подпрограмме проверяется цвет кубика, при наличии вакантной ячейки для данного кубика в зоне разгрузки осуществляется команда перемещения кубика в соответствующую ячейку. После перемещения выставляется флаг о наличии кубика и увеличивается на единицу переменная *roz*. Переменная *roz* отвечает за количество занятых ячеек. В нашем случае позиция К3 предназначена для красного кубика, К4 – для зеленого, К5 – для синего кубика. Если же цвет кубика не соответствует ни одному из перечисленных цветов, кубик отправляется в зону брака. После выполнения перемещения подпрограмма заканчивает работу, и выполнение кода продолжается в основной программе. Далее происходит деактивация зажима/присоски, и робот отправляется в домашнюю позицию. Если все позиции в зоне разгрузки заняты (*roz*>3), программа выходит из основного цикла и отключает вращение конвейерной ленты.

Продвинутый уровень

Реализация программы на языке Python представлена в листинге программы 7.3.3.

Листинг программы 7.3.3

```

1  from numbers import Number
2  Cub_collor = None
3  flag_k3 = None
4  flag_k4 = None
5  flag_k5 = None
6  poz = None
7  def collor_cub():
8      global Cub_collor
9      dType.SetColorSensor(api, 1, 3, 1)
10     dType.dSleep(1000)
11     if 1 == (dType.GetColorSensorEx(api, 0)):
12         Cub_collor = 1
```

```

1  from numbers import Number
13 elif 1 == (dType.GetColorSensorEx(api, 1)):
14     Cub_collor = 2
15 elif 1 == (dType.GetColorSensorEx(api, 2)):
16     Cub_collor = 3
17 else:
18     Cub_collor = 4
19 dType.SetColorSensor(api, 0, 3, 1)
20 return Cub_collor
21 def mov_robot():
22     global flag_k3, Cub_collor, poz, flag_k4, flag_k5
23     if Cub_collor == 1 and flag_k3 == 0:
24         current_pose = dType.GetPose(api)
25         dType.SetPTPCmdEx(api, 2, 102, 216, (-35), current_pose[3], 1)
26         flag_k3 = 1
27         poz = (poz if isinstance(poz, Number) else 0) + 1
28     elif Cub_collor == 2 and flag_k4 == 0:
29         current_pose = dType.GetPose(api)
30         dType.SetPTPCmdEx(api, 2, 72, 216, (-35), current_pose[3], 1)
31         flag_k4 = 1
32         poz = (poz if isinstance(poz, Number) else 0) + 1
33     elif Cub_collor == 3 and flag_k5 == 0:
34         current_pose = dType.GetPose(api)
35         dType.SetPTPCmdEx(api, 2, 42, 216, (-35), current_pose[3], 1)
36         flag_k5 = 1
37         poz = (poz if isinstance(poz, Number) else 0) + 1
38     else:
39         current_pose = dType.GetPose(api)
40         dType.SetPTPCmdEx(api, 2, 128, (-128), (-35), current_pose[3], 1)
```

```

1  from numbers import Number
41 dType.SetHOMECmdEx(api, 0, 1)
42 dType.SetEndEffectorSuctionCupEx(api, 0, 1)
43 Cub_collor = 0
44 flag_k3 = 0
45 flag_k4 = 0
46 flag_k5 = 0
47 poz = 0
48 print('ROBOT READY')
49 dType.SetInfraredSensor(api, 1, 1, 1)
50 while poz < 3:
51 if (dType.GetInfraredSensor(api, 0)[0]) == 1:
52 print('DETECT')
53 STEP_PER_CRICLE = 360.0 / 1.8 * 10.0 * 16.0
54 MM_PER_CRICLE = 3.1415926535898 * 36.0
55 vel = float(0) * STEP_PER_CRICLE / MM_PER_CRICLE
56 dType.SetEMotorEx(api, 0, 0, int(vel), 1)
57 current_pose = dType.GetPose(api)
58 dType.SetPTPCmdEx(api, 2, 339, 132, 23, current_pose[3], 1)
59 dType.SetEndEffectorSuctionCupEx(api, 1, 1)
60 dType.dSleep(1000)
61 current_pose = dType.GetPose(api)
62 dType.SetPTPCmdEx(api, 2, 260, 84, 35, current_pose[3], 1)
63 print(collor_cub())
64 dType.dSleep(1000)
65 mov_robot()
66 dType.SetEndEffectorSuctionCupEx(api, 0, 1)
67 dType.SetHOMECmdEx(api, 0, 1)
68 else:

```

```

1  from numbers import Number
69 print('NOT DETECT')
70 STEP_PER_CRICLE = 360.0 / 1.8 * 10.0 * 16.0
71 MM_PER_CRICLE = 3.1415926535898 * 36.0
72 vel = float(50) * STEP_PER_CRICLE / MM_PER_CRICLE
73 dType.SetEMotorEx(api, 0, 1, int(vel), 1)
74 STEP_PER_CRICLE = 360.0 / 1.8 * 10.0 * 16.0
75 MM_PER_CRICLE = 3.1415926535898 * 36.0
76 vel = float(0) * STEP_PER_CRICLE / MM_PER_CRICLE
77 dType.SetEMotorEx(api, 0, 0, int(vel), 1)

```

Контрольные вопросы

Базовый уровень

7.3.1. Какие основные цвета может определить датчик цвета?

7.3.2. Как работает датчик цвета?

7.3.3. Что такое эффективное расстояние между объектом и датчиком цвета?

7.3.4. Какой алгоритм используется для определения цвета кубика?

7.3.5. Какие действия выполняются, когда кубик соответствует цвету, указанному в задании?

7.3.6. Что происходит, когда кубик не соответствует ни одному из перечисленных цветов?

7.3.7. Как определяется занятость позиций в зоне разгрузки?

7.3.8. Что делает переменная poz?

7.3.9. Как завершается выполнение программы?

Продвинутый уровень

7.3.10. Как определить координаты основных точек K1, K2, K3, K4, K5 и K6?

7.3.11. Какие задачи решает робот-манипулятор в данном задании?

7.3.12. Как подключен датчик цвета к роботу-манипулятору?

7.3.13. Каков принцип работы датчика цвета?

7.3.14. Что делает команда SetColorSensor в программе?

7.3.15. Как определяется цвет кубика в программе?

7.3.16. Как программа определяет, что кубик не был определен?

7.3.17. Что делает команда SetHOMECmdEx в программе?

7.3.18. Как программа определяет, что кубик нужно отправить в зону брака?

7.3.19. Как программа определяет, что все три кубика были установлены на свои места в зоне разгрузки?

7.3.20. Как программа управляет движением конвейерной ленты?

Кейс 7.1. Маркировка элементов на конвейерной ленте с использованием Dobot Magician

На высокотехнологичном производстве, где все процессы автоматизированы, возникает необходимость в определении цвета товаров, упакованных в коробки красного, зеленого и синего цвета. Однако, вместо того чтобы полагаться на человеческий глаз, было решено использовать робота-манипулятора Dobot Magician для выполнения этой задачи.

Необходимо оснастить робота специальными датчиками, способными определять цвет коробок. Как только коробка попадает на конвейер, робот должен определить ее цвет. Затем в зависимости от цвета и очередности наклеить на коробку соответствующую этикетку: № 1 для первой коробки, № 2 для второй коробки и № 3 для третьей коробки. Коробки поступают на производство в разном порядке.

После этого коробки автоматически перемещаются в соответствующие зоны разгрузки. Красные коробки отправляются в зону разгрузки красного цвета, зеленые – в зеленого, а синие – в синего. Это позволит быстро и эффективно распределить товары по складам или магазинам, минимизировать время ожидания и ошибки при сортировке.

Таким образом, благодаря использованию робота-манипулятора и автоматизации процесса производство станет более точным, быстрым и эффективным, обеспечивая высокий уровень качества продукции и удовлетворенность клиентов.

Этикетки представлены на рисунке 7.3.20. Расположение оборудования представлено на рисунке 7.3.21.



Рисунок 7.3.20 – Этикетки для коробок

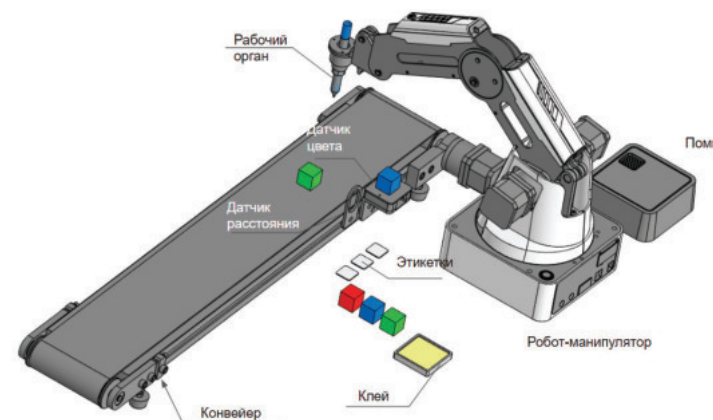


Рисунок 7.3.21 – Примерное расположение оборудования

Глава 8. Особенности промышленного производства

Авторы: Мясков А.В., д-р экон. наук, проф., директор Горного института Университета МИСИС, руководитель стратегического проекта «Технологии устойчивого развития» Программы «Приоритет 2030»; Филичкина В.А., канд. хим. наук, доц., заведующий кафедрой сертификации и аналитического контроля Университета МИСИС; Карфидов А.О., заведующий кафедрой инжиниринга технологического оборудования Университета МИСИС

8.1 Способы масштабирования под серийное производство

Изобрели свой первый прототип, протестировали и хотите запустить его в серийное производство. Что дальше?

Дальше нужно понимать, что технологии и материалы, которые удобны для применения в макетировании, не совсем подходят для дешевого и эффективного серийного производства. Технологии, применяемые в макетировании, 3D-печать, лазерная резка пластика или металла, литье в силиконовую форму хорошо подходят для одиночного производства. Эти технологии не требуют затрат на оснастку, и с их применением можно сразу сделать новую деталь. Но представьте, что нужно за час напечатать тысячу деталей. Привычными технологиями это сделать не получится – не успеть по времени. Это означает, что в серийном производстве материалы и производственные технологии отличаются от макетных.

Для наглядности представим таблицу 8.1.1 сопоставления технологий, обеспечивающих масштабирование под серийное производство.

Материалы и конструктивные элементы при масштабировании под серийное производство. При 3D-печати пластиковых деталей (технологии FDM) используется пластик,

собранный в прутке на катушке. Этот пластик нагревается и выдавливается, формируя конечную деталь. От нагрева и остывания могут происходить деформации детали, а конечная деталь может иметь значительные пустоты в зависимости от заполнения.

Таблица 8.1.1 – Сопоставление технологий

Технология	При единичном производстве	При серийном производстве
Изготовление пластиковой детали	3D-печать	Литье на термопластавтомате
	Литье в силикон	Литье на термопластавтомате
Изготовление плоских листовых деталей (металл)	Лазерная резка/раскрой на портальном станке с ЧПУ	Вырубка
Изготовление объемных листовых деталей (металл)	Лазерная резка, гибка и сварка	Вырубка и штамповка
Изготовление листовых деталей (резина)	Лазерная резка/3D-печать	Вырубка/литье на пресс-форме
Объемная/габаритная пластиковая деталь	Выклейка	Формовка
Токарная деталь (тело вращения)	Токарная обработка	Токарный станок с ЧПУ с автоподачей
Фрезерованная деталь	Фрезерная/ЧПУ-обработка	Литье заготовки + ЧПУ-обработка

Разъемность формы детали не регламентируется – не имеет значения, какая у детали геометрия, 3D-принтер с высокой долей вероятности сможет ее напечатать. Конструктивные элементы, например защелки, толщина стенок при 3D-печати, как правило, неважны и не регламентируются, т.е. могут быть нарисованы в 3D по-разному, технология все изготовит. Но при последующем тиражировании и переходе на серийные промышленные технологии вопрос материала, защелок, разъемности, прочих элементов формы может встать очень остро и даже критически, так как от этих

факторов будут зависеть стоимость и срок изготовления оснастки, а также скорость и стоимость производства всех последующих деталей. Скорость производства при 3D-печати – 1 деталь в 4 часа.

При мелком серийном производстве пластиковых деталей, как правило, используют литье в силиконовую форму. Такая форма может обеспечить порядка 10–20 отливок. При этом, как правило, используют двухкомпонентный пластик. Двухкомпонентный пластик – это два разных вещества в жидкой форме, когда эти вещества перемешивают, получается новое вещество, твердое. В связи с тем, что материал на данном этапе отличается от 3D-печати, он может иначе деформироваться под действием температуры. Это означает, что конечную деталь можно изгибать под действием остужения и она может иметь другие отклонения, а мелкие конструктивные элементы, например защелки, которые упруго деформируются, могут вести себя иначе. Скорость производства при литье в силикон – 1 деталь за 30–60 минут.

При серийном производстве используются пресс-формы и термопластавтоматы.

Скорость производства при литье на термопластавтомате – 1 деталь за 30 секунд. Пресс-формы при этом стоят очень дорого – несколько миллионов рублей, и требуют обязательного учета и проработки требований разъемности, равномерности, заделок, точного подбора материала и режима охлаждения. Изготовление пресс-формы может занимать от 1 до 4 месяцев. Как правило, деталь, которая легко печатается на 3D-принтере, не подходит по ряду параметров для литья в пресс-форму. Основные сравнительные параметры производства пластиковых деталей можно увидеть в таблице 8.1.2.

Разъемность формы. В отличие от 3D-печати, при литье в силикон деталь отливается в замкнутом объеме литейной формы. Далее из формы эту деталь нужно достать, при этом не повредить форму и деталь. Для этого деталь не должна иметь вогнутых внутрь элементов.

Таблица 8.1.2 – Производство пластиковых деталей

Способ	Скорость производства	Стоимость детали	Стоимость оснастки	Примечания
3D-печать	1 деталь в 4 часа	1000 руб. за 1 штуку	Нет	
Литье в силикон	1 деталь за 30–60 минут	500 руб. за 1 штуку	Силикон – 1 тыс. руб. за 1 кг, ресурс – до 20–50 отливок	
Литье в пресс-форму	1 деталь за 30 секунд	25 руб. за 1 штуку	1–5 млн руб. за пресс-форму, ресурс – 50–500 тыс. отливок до ремонта	Важны разъемность, равномерность, материал, режим охлаждения, длительное производство оснастки

В мелкосерийном и серийном производстве детали должны быть разъемной формы (рисунок 8.1.1). Неразъемная форма возможна лишь для тех случаев, когда это исключительно необходимо по конструктивному решению (например, обеспечение прочности, создание места крепления) или требованиям промышленного дизайна (в случае, если деталь наружной формы). При этом деталь неразъемной формы может быть значительно дороже в оснастке и производстве (оснастка и деталь могут быть в 2–3 раза дороже).

Защелки. Защелки пластиковых корпусных деталей, которые хорошо срабатывают, если деталь изготовлена методом 3D-печати, могут оказаться менее прочными и даже вообще не сработать при изготовлении этой же детали при литье в силиконовую форму или на термопластавтомате. Защелки и прочие мелкие конструктивные элементы должны дорабатываться и адаптироваться под технологию производства. На рисунке 8.1.2 показан пример защелки, аналогичной крышке пульта батарейного отсека у телевизора.

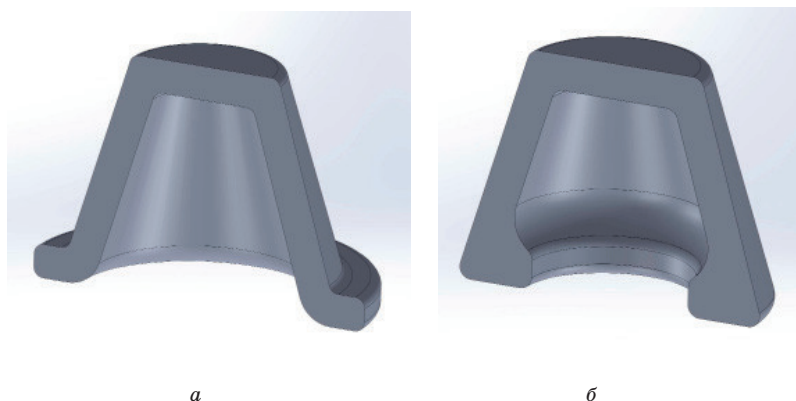


Рисунок 8.1.1 – Разъемная (а)
и неразъемная (б) детали

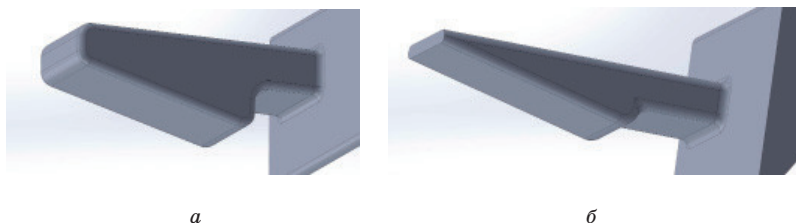


Рисунок 8.1.2 – Сравнение защелок:
а – при 3D-печати/литье в силикон;
б – при серийном литье на термопластавтомате

При 3D-печати и литье в силикон защелки приходится делать толще, крупнее и с отгибом/зацеплением на больший размер, чем при серийном литье. Это необходимо для обеспечения прочности самой защелки, а также для учета зазоров деталей при малой точности. При литье на термопластавтомате точность деталей выше, зазоры меньше и можно делать тонкие крепкие элементы.

Толщина стенок детали, равнотолщинность. При 3D-печати стенки пластиковой детали могут быть разной толщины, с точки зрения техпроцесса печати толщина элементов имеет минимальное значение в сравнении с литьем в силиконовую форму и в металлическую пресс-форму. При литье в силиконовую форму рекомендуется избегать сильных перепадов толщин детали (например, переход из 8 мм в 3 мм может не протечь/не пролиться до конца, а при застывании и отверждении это место может быть изогнуто). При литье в пресс-форму рекомендуется, чтобы толщина всех стенок детали была равной, а в конструктивных элементах типа ребер жесткости перепад толщины не должен быть более 30–50 % от основной (например, если толщина стенки 2 мм, перепады могут быть от 1,5 до 2,5–3,0 мм). Постоянство толщины необходимо, чтобы форма легче проливалась, было меньше брака и меньше визуальных дефектов – усадки, непроливов, когда с внешней стороны видны вмятины, которые образуются в местах толстых ребер и прочих утолщений.

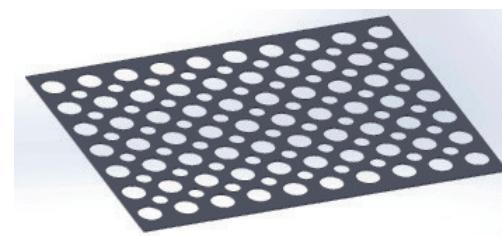


Рисунок 8.1.3 – Пример детали
из листового металла

Изготовление плоских листовых деталей (металл). При единичном производстве листовые детали, как правило, вырезают или лазером, или из листа/плиты на раскроечном фрезерном станке. При серийном производстве для более быстрого и дешевого производства тех же деталей используют

вырубку и штамповку. Вырубка позволяет с применением прессы обрабатывать деталь сразу по всей площади прессы/штампа. Пример – листовая деталь, имеющая несколько отверстий (рисунок 8.1.3).

В случае изготовления данной детали лазерной резкой не требуются затраты на оснастку, однако лазеру предстоит пройти последовательно через все контуры и вырезать каждое отверстие по отдельности. Чертеж детали показан на рисунке 8.1.4.

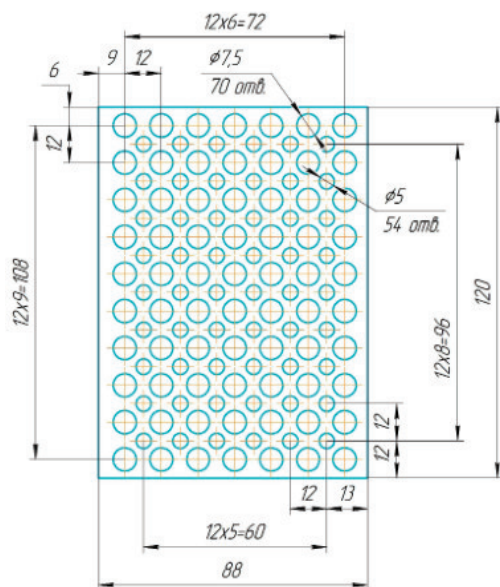


Рисунок 8.1.4 – Чертеж листовой детали
с отверстиями

При этом вырезании деталь будет значительно нагреваться и может деформироваться под действием нагрева от лазера. Время изготовления детали может составлять порядка 1–2 мин. При этом стоимость производства будет оце-

ниваться по суммарной длине пути, по которому предстоит пройти лазеру при резке. При одиночном и мелкосерийном изготовлении такие детали можно вырезать лазером, при производстве тиражами от 1 тыс. штук изготовление детали более целесообразно на штампе. В таком случае можно будет за один удар штампом делать одну деталь за 3–5 секунд. При этом деталь будет менее подвержена деформациям из-за точечного нагрева, как при лазерной резке (таблица 8.1.3). Торцы деталей как при лазерной резке, так и при вырубке могут иметь загибы, для которых потребуется дополнительная обработка.

Таблица 8.1.3 – Сравнение лазерной резки и вырубки штампом

Способ	Скорость изготовления	Оснастка	Стоимость детали	Примечание
Лазерная резка	1–2 мин на 1 деталь	Не требуется	300–400 руб.	Деталь точно нагревается и деформируется от нагрева
Вырубка штампом	3–5 секунд на 1 деталь	Проектирование и изготовление штампа	30–40 руб.	Деталь вырубается сразу

Изготовление листовых деталей (резина и пластик).

Изготовление листовых деталей из пластика и резины в целом аналогично процессу из металла. Резиновые и пластиковые детали в штучном производстве также могут вырезаться лазером. При этом некоторые материалы при резке на лазере могут выделять токсичные вещества, а торцы могут покрываться слоем копоти и нагара. В таких случаях пластиковые детали режут на станке с ЧПУ. При серийном производстве пластиковые и резиновые детали можно вырубать штампом, а можно отливать на пресс-форме, общие соотношения по скорости производства и стоимости будут аналогичными.

Изготовление объемных листовых деталей (металл).

При мелкосерийном производстве в связи с тем, что стои-

мость изготовления штампа может окупиться только на тираже от тысячи и более изделий, объемные листовые детали, как правило, делают путем раскроя и последующей гибки и сварки. При этом сварку стараются применять в минимальном количестве. Чем больше длина сварных элементов, тем дороже и дольше деталь в изготовлении (рисунок 8.1.5).

Примеры сварной детали и штамповочной представлены на рисунке 8.1.5.

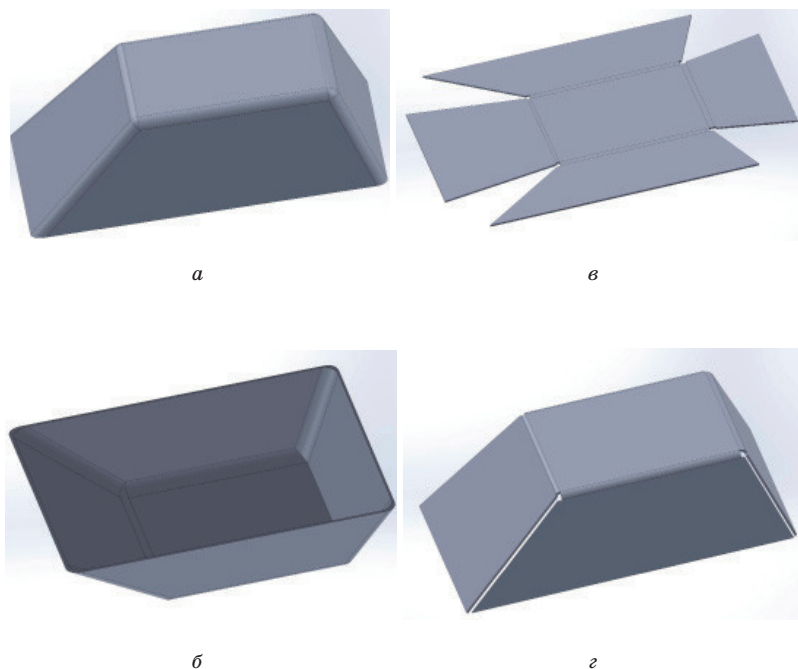


Рисунок 8.1.5 – Сравнение геометрии детали при серийной штамповке (а, б) и лазерной резке, гибке и сварке (в, г): а – штампованная деталь, вид сверху; б – штампованная деталь, вид снизу; в – раскрой листовой детали до гибки; г – вид детали после гибки до сварки

Объемная/габаритная пластиковая деталь. В штучном производстве, если нужно получить крупную (от 1 м и более) деталь сложной формы, как правило, используют технологию выклейки. В таком случае делается модель под будущий слепок, поверх которого выкладывается специальная ткань и пропитывается смолой. Конечная деталь получается прочной, держит форму без усадки, однако данный процесс очень трудоемкий. В серийном производстве подобные детали по возможности делают с помощью формовки. В данном случае листовый материал нагревают и прижимают к форме. В таком случае скорость производства получается на порядок больше и стоимость изготовления деталей получается значительно ниже.

Токарная деталь (тело вращения). При серийном производстве стараются применять высокоавтоматизированные станки – с автоматической подачей материала, автоматической сменой инструмента и отрезанием. В таком случае станок может без участия человека непрерывно изготавливать детали.

Фрезерованная деталь. При серийном производстве стремятся использовать автоматизированные станки с автосменой инструмента, с групповой обработкой сразу нескольких деталей в серии, в связи с тем, что стоимость механической обработки весьма высока, стараются, где возможно, заменить литьем и свести механическую обработку к минимуму.

8.2 Экология и управление качеством

8.2.1 Экология

Разрабатывая любое проектное решение, инженер должен оценивать воздействие его продукта на окружающую среду, социальные последствия внедрения продукта и жизненный цикл его разработки. Сейчас важным аспектом в инженерном мире стало понятие «устойчивое развитие».

Устойчивое развитие – это модель развития человеческой цивилизации, базирующаяся на необходимости

соблюдать баланс между решением социальных и экономических проблем и сохранением природной среды. Если говорить более понятными терминами, то это тип экономического развития, при котором исполнение потребностей настоящего времени осуществляется без ущерба для будущих поколений.

Устойчивое развитие базируется на трех составляющих (рисунок 8.2.1).



Рисунок 8.2.1 – Составляющие устойчивого развития

1. Экономический рост: стабильное развитие экономики с созданием условий и факторов для повышения качества жизни населения при обеспечении экологического баланса в окружающей среде.

2. Социальная ответственность: повышение уровня благосостояния людей и обеспечение социальной справедливости.

3. Экологическое равновесие: обеспечение целостности биологических и физических природных систем.

Рассматривая историю промышленности, можно увидеть ключевые моменты, которые стали важными ступеньками на пути человечества к осознанию важности устойчивого развития, рассмотрим некоторые из них.

1972 г. – Конференция ООН по проблемам окружающей среды в Стокгольме, данное мероприятие считается точкой отсчета международной системы охраны окружающей среды.

1992 г. – «Повестка дня на XXI век», учреждается Комиссия ООН по устойчивому развитию.

1997 г. – Киотская конференция в Японии, на которой развитые страны договорились о конкретных целях по сокращению выбросов парниковых газов. В результате было принято международное соглашение по климату – Киотский протокол.

2000 г. – Саммит тысячелетия в Нью-Йорке, на котором мировые лидеры согласовали Цели развития тысячелетия.

2009 г. – Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) выпускает документ, под названием «Глобальный “зеленый” новый курс».

2015 г. – Саммит ООН по устойчивому развитию, в сентябре была принята Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года, в основе которой лежат 17 Целей устойчивого развития.

С 2015 года проходит большое количество конференций и саммитов, которые структурируют работу в области устойчивого развития, а также способствуют реализации целей устойчивого развития (ЦУР). На рисунке 8.2.2 представлены ЦУР, каждая из целей включает подцели, а также проекты, направленные на ее реализацию.

Одной из важнейших целей, которая ориентирована на будущее, является цель № 13 – Меры по борьбе с изменением климата, рассмотрим ее подробнее. С 1850 до 2019 г. температура поверхности Земли выросла на 1,2 °C (в том числе с середины XX века – на 0,8 °C). Причина повышения темпе-

ратуры Земли – усиление парникового эффекта земной атмосферы за счет увеличения концентрации парниковых газов. Для предотвращения повышения температуры на планете в 2015 году было заключено Парижское соглашение и сформулированы цели по достижению углеродной нейтральности.



Рисунок 8.2.2 – Цели устойчивого развития

Парижское соглашение – рамочное соглашение, содействующее координации усилий стран по адаптации к изменениям климата и низкоуглеродному развитию.

Углеродная нейтральность – это концепция, предполагающая достижение баланса между антропогенными выбросами парниковых газов в атмосферу и их поглощением. Для достижения углеродной нейтральности странам необходимо сокращать выбросы парниковых газов, в том числе посредством декарбонизации производства и перехода на другие энергоресурсы.

Крупные компании и государственные организации ежегодно проводят множество мероприятий, направленных на реализацию ЦУР, и публикуют отчеты по устойчивому развитию, иногда на нескольких языках, чтобы каждый человек в свободном доступе мог увидеть их вклад в общую цель.

Рассмотрим более подробно **экологические факторы** устойчивого развития. Для начала дадим определение понятию.

Экология – наука о взаимоотношениях живых существ между собой и с окружающей их средой. Таким образом, любое негативное воздействие на окружающую среду вызывает дальнейшие трудности в развитии различных биологических видов.

Основные экологические загрязнения можно разделить на несколько групп, к примеру, по источнику:

- химическое загрязнение – попадание чужеродных веществ в почву, воздух и воду;
- физическое загрязнение – изменение физических параметров среды;
- биологическое загрязнение – попадание в экосистемы нехарактерных для них видов организмов и продуктов их жизнедеятельности.

По масштабам воздействия:

- локальное загрязнение – загрязнение небольшой территории;
- региональное загрязнение – охватывает большие территории;
- глобальное загрязнение – охватывает всю Землю или большую ее часть.

Очень часто в документах и отчетах структурируют загрязнения по зонам:

- загрязнение воды;
- загрязнение почвы;
- загрязнение атмосферы.

В случае инженерных решений больше говорят о воздействии на окружающую среду самого производства и отходов, которые остаются после всех процессов, рассмотрим основные понятия.

Обращение с отходами – деятельность по сбору, накоплению, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов.

Размещение отходов – хранение и захоронение отходов.

Хранение отходов – складирование отходов в специализированных объектах сроком более чем 11 месяцев в целях утилизации, обезвреживания, захоронения.

Захоронение отходов – изоляция отходов, не подлежащих дальнейшей утилизации, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду.

Утилизация отходов – использование отходов для производства товаров (продукции), включая повторное применение отходов, в том числе повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация), а также использование твердых коммунальных отходов в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов) после извлечения из них полезных компонентов на объектах обработки.

Твердые коммунальные отходы – отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд.

Объекты захоронения отходов – предоставленные в пользование в установленном порядке участки недр, подземные сооружения для захоронения отходов I–V классов опасности.

На территории Российской Федерации действует кодификация, согласно которой все утильсырье разделяют на группы для дальнейшей безопасной утилизации. Согласно правовому документу, мусор сортируют по ряду признаков на различные категории (таблица 8.2.2).

Таблица 8.2.1 – Классификация отходов в зависимости от степени негативного воздействия на окружающую среду

Класс опасности	Наименование	Примеры
I класс	Чрезвычайно опасные отходы	Трансформаторы, ртутные лампы, градусники
II класс	Высокоопасные отходы	Аккумуляторы свинцовые, кабель медно-жильный, батарейки
III класс	Умеренно опасные отходы	Провод медный, автомобильные масла
IV класс	Малоопасные отходы	Строительный мусор, покрышки отработанные, опилки
V класс	Практически не опасные отходы	Пищевые отходы, крупногабаритный мусор, отходы от уборки лечебно-воспитательных учреждений

Таблица 8.2.2 – Классификация отходов

По агрегатному состоянию	По происхождению	По возможности повторного применения
Газообразные Жидкие Твердые Сыпучие Гелеобразные Смешанные	Органические Химические Минеральные Коммунальные	Перерабатываются во вторичное сырье Возвратные могут использоваться по другому назначению Безвозвратные подлежат уничтожению или захоронению

Определение опасности мусора и отходов. Процедура классификации уровня угрозы отходов определяет по нормам СанПин 2.1.7.1386-03. На основании полученных данных по двум показателям выдается паспорт. Определение проводят экспериментально или по специально выведенной расчетной формуле. Если есть достоверная информация о количестве вредных элементов в общей массе мусора, то влияние каждого из них рассчитывают по простому примеру:

$$K = \frac{C}{W},$$

где C – масса вредоносных элементов, мг;
 W – 1 кг мусора.

Затем все опасные вещества суммируют, результат расчета сравнивают с табличными данными.

Возможности предотвращения экологического воздействия на окружающую среду, можно разделить на несколько главных блоков:

- разработка и введение экологических стандартов;
- переход на альтернативные источники энергии;
- эффективное расходование природных ресурсов;
- сохранение ареалов обитания зверей, птиц и растений;
- экологическое образование.

Таким образом, можно сделать заключение, что любая инженерной идея и дальнейшая ее реализация, должны учитывать принципы устойчивого развития, которые позволят в дальнейшем улучшить экологический баланс на нашей планете и позволят сформировать гармонично развивающуюся экономику и индустрию.

8.2.2 Управление качеством

Качество продукции оценивают по результатам измерений различных характеристик этой продукции (так называемых показателей качества). Значения показателей качества получают чаще всего в результате измерений различных характеристик продукции. Принципиально важным является то, чтобы значения одинаковых показателей качества, измеренные в разных местах, были близки друг к другу. Это достигается в результате обеспечения единства измерений. Именно решением этой задачи и занимается метрология – наука об измерениях и обеспечении их единства.

Развитие метрологии шло параллельно развитию человеческого общества, прежде всего торговли, промышлен-

ности и социальных отношений. Метрология как область практической деятельности зародилась в древности.

Для примера рассмотрим **этапы развития метрологии в России.**

XVI–XVII вв. – изданы «Торговая книга», «Книга сошного письма».

1736 г. – создана Комиссия мер и весов.

1835 г. – созданы «нормальные меры» (эталонны).

1840 г. – создана Метрическая система мер во Франции.

1842 г. – издано «Положение о мерах и весах» и создано «Депо образцовых мер и весов».

1892 г. – Д.И. Менделеев назначен ученым-хранителем Депо образцовых мер и весов, преобразованное позже в Главную палату мер и весов.

1782 г. – начало надзора в горном, военном, морском, железнодорожном и почтовом деле.

1918 г. – издан Декрет «О введении Международной метрической системы мер и весов».

1983 г. – принято постановление № 273 «Об обеспечении единства измерений в стране».

1993 г. – введен Закон РФ «Об обеспечении единства измерений». Утратил силу.

2008 г. – принят Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (далее – № 102-ФЗ).

Таким образом, метрология постепенно сформировалась как наука (включая теоретическую и практическую метрологию) и как своеобразная область административного права (законодательная метрология). Именно такое сочетание совместных усилий ученых, инженеров и юристов обеспечивает на национальном уровне решение главной задачи метрологии – обеспечение единства измерений.

Единство измерений достигается созданием национальной системы метрологической прослеживаемости, в частности, к единицам международной системы СИ. *Это означает, например, что результат измерения длины свя-*

зан с первичным эталоном длины, воспроизводящим единицу СИ – метр.

Важная область метрологии – оценка качества результата измерений. Это достигается установлением так называемых точностных характеристик: погрешности измерений, неопределенности измерений и т.д.

Образно говоря, метрология – это мост, соединяющий наши идеальные представления об окружающем мире с реальностью. Метрология обеспечивает качество этой связи и является важнейшей научно-технической дисциплиной.

Предлагаем рассмотреть следующие вопросы в рамках трех тем, презентации по которым приведены в литературе¹ в Приложении в электронном виде.

Основные понятия метрологии. Метрология – наука и область практической деятельности. Первые измерения. Единицы величин в разных странах и в России. Роль Д.И. Менделеева.

Что мы измеряем? Свойство и величина. Реальные и идеальные величины. Измерение и оценивание. Размер и значение величины. Единица измерения и числовое значение величины. Средства измерений. Результат измерений и точность измерений. Показатели точности. Шкалы измерений: шкала наименований, шкала порядка, шкала разностей (интервалов), шкала отношений, абсолютные шкалы.

Обеспечение единства измерений. Единство измерений, метрологическая прослеживаемость. Калибровка средств измерений. Эталоны единиц величин. Поверка и калибровка. Передача размеров единиц от эталонов к рабочим СИ.

Международная система единиц СИ. Основные и производные величины. Уравнения связи между величинами. Международная система единиц СИ. Почему значения физических постоянных стали точными?

¹ Презентационный материал: «Метрология» // НИТУ МИСИС URL: <https://misis.ru/applicants/school-leavers/pre-university-training/homestudy-school/videoteka/> (дата обращения: 24.12.2024).

Эталоны основных и производных единиц. Образование производных единиц в системе единиц. Размерность величины. Кратные и дольные единицы СИ. Относительные единицы. Внесистемные единицы.

Обработка результатов измерений. Измеренное значение величины и результат измерений. Опорное, действительное, истинное и принятое значения величины.

Погрешности результата измерений и средств измерений. Случайные и систематические погрешности. Правила округления результата измерений. Случайная величина, функция распределения случайной величины. Генеральная совокупность. Понятие о выборочном методе.

Неопределенность измерений. Национальные стандарты РФ в области неопределенности измерений. Стандартная, суммарная стандартная и расширенная неопределенность измерения. Оценивание неопределенностей по типу А и по типу В. Бюджет неопределенности. Совместное использование понятий «погрешность» и «неопределенность».

Контрольные вопросы

8.1. В каких случаях лучше применение 3D-печати и в каких – литья пластика на термопластавтомате?

8.2. Назовите цели устойчивого развития.

8.3. Что такое углеродная нейтральность?

8.4. Назовите основные экологические загрязнения по источнику.

8.5. Что такое международная система единиц?

а) система, основанная на подмножестве семи основных величин: длины, массы, времени, электрического тока, термодинамической температуры, количества вещества, силы света, принятая Генеральной конференцией по мерам и весам;

б) система, основанная на подмножестве семи основных величин: длины, массы, времени, электрического тока, термодинамической температуры, количества вещества, силы света, а уравнения связи для производных единиц

представляют собой физические законы, принятая Генеральной конференцией по мерам и весам;

в) система единиц, основанная на Международной системе величин, вместе с наименованиями и обозначениями, а также набором приставок и их наименованиями, и обозначениями вместе с правилами их применения, принятая Генеральной конференцией по мерам и весам;

г) система единиц, основанная на подмножестве семи основных величин: длины, массы, времени, электрического тока, термодинамической температуры, количества вещества, силы света, производные единицы которой представляют собой произведение основных единиц, возведенных в степень, с коэффициентом пропорциональности, равным единице, принятая Генеральной конференцией по мерам и весам.

8.6. Что такое эталон, предназначенный для передачи единицы величины или шкалы измерений средствам измерений?

- а) рабочий эталон;
- б) эталон сравнения;
- в) специальный эталон;
- г) вторичный эталон.

8.7. Какие из перечисленных единиц допущены к применению без ограничения срока наравне с единицами СИ?

- а) фут (длина);
- б) час (время);
- в) баррель (объем);
- г) килограмм-сила (сила);
- д) гектар (площадь);
- е) литр (объем).

Задачи для самопроверки

Задача 8.1

Вы сделали макет нового изделия на 3D-принтере, вырезали металлические части лазером и согнули на листогибе. Все работает. Какие технологии производства будете применять, если получите заказ:

- а) на 10 устройств, срок поставки 3 мес.;
- б) на 1000 устройств, срок поставки 4 мес.;
- в) на 10 000 устройств, срок поставки 6 мес.

Задача 8.2

Площадь суши земного шара составляет 149 939,063133 тыс. кв. км. Каждый год общая площадь пустынь расширяется на 7 млн га. Подсчитайте, за сколько времени половина территории нашей планеты превратилась бы в пустыню, если бы человек не проводил мероприятия по борьбе с опустыниванием земель, учитывая, что на данный момент, по данным ЮНЕСКО и ФАО, к категории типичных пустынь относится 23 % суши. Сделайте выводы об экологических последствиях опустынивания.

Эти задачи по метрологии помогут школьникам развить навыки обработки данных и анализа результатов измерений!

Задача 8.3. Запись результата измерений и число значащих цифр

После обработки данных вычисленное значение результата измерений некоторой величины составило 0,002751. Рассчитанное значение границы погрешности составило 0,000445. Записать результат измерений в соответствии с правилами согласования числа значащих цифр и правилами округления.

Задача 8.4. Погрешность и неопределенность

Относительная стандартная неопределенность величины, полученной как среднее арифметическое по результатам измерений, равна 0,8 %. Найти доверительные границы относительной случайной погрешности величины, считая, что результаты измерений подчиняются нормальному распределению. Доверительная вероятность 0,99.

Задача 8.5. Погрешность и неопределенность

В результате девяти измерений расстояния получен результат $(22,0 \pm 0,5)$ м с доверительной вероятностью $P =$

= 0,95. Найти стандартную неопределенность отдельных результатов измерений, если известно, что они подчиняются нормальному распределению.

Кейс 8.1

Подумайте, какие изменения в конструкции прибора, например компьютерной мышки в части корпуса, могут применяться, если вы проектируете ее с нуля и у вас есть в доступе только 3D-принтер. Опишите, какие способы крепления деталей доступны и применимы, как вы будете решать вопрос меньшей точности и нестабильности деталей. Нарисуйте эскиз корпуса в сечении. Как вы обеспечите нажатие кнопок на концевые датчики с учетом меньшей точности размеров деталей при 3D-печати?

Кейс 8.2. Мониторинг качества объектов окружающей среды

Эта кейсовая задача поможет учащимся понять важность метрологии в оценке состояния окружающей среды и развить навыки практической работы с данными.

Ожидаемые результаты:

- учащиеся научатся проводить измерения и анализировать данные;
- разовьют навыки работы с научным оборудованием;
- получат опыт в разработке рекомендаций на основе собранных данных;
- научатся представлять свои результаты и аргументировать свои предложения.

Школьники под руководством своих учителей могут выбрать задачу, которая интересна, актуальна и для решения которой имеется соответствующее оборудование.

В качестве примера рассмотрим следующую задачу.

Тема: оценка качества воздуха в районе школы.

Введение. Ваша школа расположена в районе с высокой плотностью транспорта и промышленными предприятиями. В последнее время учащиеся и их родители на-

чали беспокоиться о качестве воздуха, которым они дышат. Ваша задача – провести мониторинг качества воздуха в окрестностях школы и предложить рекомендации по улучшению ситуации.

Задача

1. Определите параметры для измерения: какие показатели качества воздуха вы будете измерять (например, уровень загрязняющих веществ: диоксид азота (NO₂), угарный газ (CO), твердые частицы (PM₁₀, PM_{2.5}) и др.)?

2. Выбор оборудования:

- какое оборудование вам необходимо для измерения этих параметров (например, портативные газоанализаторы, фильтры для сбора твердых частиц и др.);
- каковы основные характеристики этого оборудования (точность, диапазон измерений, стоимость)?

3. Планирование мониторинга:

- какую методику вы выберете для сбора данных (например, точечные замеры в разные часы дня, анализ данных за определенный период);
- где будут расположены точки замеров (например, у входа в школу, вблизи дороги, в парке)?

4. Сбор данных: проведите измерения в течение одной недели. Запишите полученные данные и проанализируйте их.

5. Анализ результатов:

- сравните полученные данные с нормативами качества воздуха, установленными в вашей стране или регионе;
- какие превышения норм были зафиксированы; в какие дни и в какое время?

6. Рекомендации: на основе полученных данных предложите меры по улучшению качества воздуха в районе школы. Это могут быть предложения по уменьшению автомобильного трафика, озеленению территории или проведению информационных кампаний среди жителей.

7. Презентация результатов: подготовьте презентацию для учителей и родителей, в которой представьте ваши результаты, их анализ и рекомендации. Используйте графики и таблицы для наглядности.

Дополнительные материалы, которые можно использовать:

- стандарты, регламентирующие основные требования к качеству воздуха;
- методические рекомендации по проведению мониторинга;
- примеры успешных проектов по улучшению качества окружающей среды.

Библиографический список

- 1 Александр А.Л. Физика без формул. – М.: Аванта, 2017.
- 2 Альшиц И.Я., Благов Б.Н. Проектирование деталей из пластмасс. – М.: Машиностроение, 1977. – 214 с.
- 3 Баженов С.Л. Механика и технология композиционных материалов. – Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект», 2014. – 328 с.
- 4 Белов В.Д., Пикунов М.В., Тен Э.Б. и др. Литейное производство: учебник / под ред. В.Д. Белова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2015. – 478 с.
- 5 Богомолова С.А., Муравьева И.В. Метрология и измерительная техника. Технические требования к средствам измерений. Электронный учебник. – М.: Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2019. – 172 с.
- 6 Вахнина С.В. Физика. – М.: Эксмо, 2024.
- 7 Витковец В. RDWorks – Руководство пользователя. – СПб.: CNC Prom, 2021. – 150 с.
- 8 Воробьева Г.Н., Муравьева И.В. Метрология, стандартизация, сертификация. Электронный учебник. – М.: Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2019. – 278 с.;
- 9 Галимов Э.Р., Абдуллин А.Л. Современные конструкционные материалы для машиностроения: учеб. пособие. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2020. – 268 с.
- 10 Гарифуллин Ф.А., Кузнецов В.Г., Еремина М.М. История материаловедения. Древний мир. – Казань: КНИТУ, 2022. – 84 с.
- 11 Герасимов А. А. Самоучитель КОМПАС-3D v19. – М.: Изд-во НГТУ, 2021. – 624 с.
- 12 Герасимов А.А. Самоучитель КОМПАС-3D v19. – СПб.: БХВ-Петербург, 2021. – 624 с.
- 13 Глебов И.Т. Учимся работать на фрезерном станке с ЧПУ. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. – 115 с.
- 14 Голенков В.А., Яковлев С.П., Головин С.А., Яковлев С.С., Кухарь В.Д. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2009. – 442 с.

15 Горнов О.А. Программирование манипулятора в среде GOOGLE BLOCKLY: DOBOT MAGICAN: Образовательная инженерная платформа. – М.: Экзамен, 2021. – 188 с.

16 Горнов О.А. Программирование манипулятора в среде PYTHON: DOBOT MAGICAN: Образовательная инженерная платформа. – М.: Экзамен, 2021. – 120 с.

17 ГОСТ 8.736–84. ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.

18 Гужов В.И. Методы измерения 3D-профиля объектов контактные, триангуляционные системы и методы структурированного освещения. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2015. – 82 с.

19 Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.

20 Золотухин П.И. Теория обработки металлов давлением: учеб. пособие для СПО. – 2-е изд. – Липецк, Саратов: Липецкий государственный технический университет, Профобразование, 2020. – 198 с.

21 Инструкция по программе для лазерного станка Ruida RDWorks 8 (LaserWork). – М.: Издательство НГТУ, 2021. – 150 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://rdworks.ru/wa-data/public/site/d/doc/RDWORKS-ru.pdf?ysclid=m53u9z3wq6414959825>

22 Кербер М.Л. и др. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.

23 Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия: учебник для техникумов. – М.: Металлургия, 1991. – 432 с.

24 Киреев В.В. Высокомолекулярные соединения. – М.: Высш. шк., 1992.

25 Либенсон Г.А. Специальность: порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1987. – 80 с.

26 Липина А.В. Зеленая экономика: метод. указания. – М., 2020.

27 Липина С.А., Кудряшова Е.В., Агапова Е.В. и др. Зеленая экономика: управление развитием. Стратегия и тактика. – Архангельск: САФУ, 2022.

28 Митрофанова С.А., Муравьева И.В. Метрологическое обеспечение производства металлургической продукции: учеб. пособие. Электронный учебник. – М.: Изд. Дом ННТУ «МИСиС», 2022. – 149 с.

29 Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. – СПб.: Научные основы и технология, 2013. – 720 с.

30 Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. СПб.: Научные основы и технология, 2010. – 822 с.

31 Никитина Е.Н. Защита окружающей среды. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2017.

32 Новиков И.И. Теория термической обработки металлов: учебник. – 2-е изд. – М.: Металлургия, 1974. – 400 с.

33 Основы теории резания материалов: учебное пособие / Н.А. Можин, В.А. Аврелькин, Е.А. Федулов. – Иваново: ИВГПУ, 2018. – 84 с.

34 Палачев В.А., Титов А.Ю., Мухамедова А.А., Герасимов С.П. Технология художественного и прецизионного литья : учеб. пособие. – М.: Изд. Дом ННТУ «МИСиС», 2019. – 150 с.

35 Положение о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации (в редакции постановлений Правительства Российской Федерации от 15.08.2015 № 847, от 09.03.2022 № 323).

36 Попова И.А. Физика удобно и понятно. Справочник ЭКСМО. Наглядный школьный курс. – М.: Эксмо, 2022.

37 Презентационный материал: «Метрология» // ННТУ МИСИС. – URL: <https://misis.ru/applicants/school-leavers/pre-university-training/homestudy-school/videoteka/> (дата обращения: 24.12.2024).

38 Резание материалов. Режущий инструмент в 2 ч. Ч. 1: учебник для вузов / С.Н. Григорьев [и др.]; под общ. ред. Н.А. Чемборисова. – М.: Юрайт, 2024. – 263 с. – (Выс-

шее образование). – ISBN 978-5-534-00115-0. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/536157>.

39 РМГ 29-2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

40 Савич В.В., Оглезнева С.А. Порошковая металлургия: современное состояние и перспективы развития: монография. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2021. – 695 с.

41 Сапунов С.В. Материаловедение: учеб. пособие для СПО. – 4-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2023. – 208 с.

42 Саямов Ю.Н. Устойчивое развитие и глобализация: учеб.-метод. пособие. – М., 2021.

43 Сергеев А.Г. Метрология: учебник и практикум для среднего профессионального образования. – 4-е изд. – М.: Юрайт, 2024. – 391 с.

44 Смирнов В.С. Сборник задач по обработке металлов давлением. – М.: Металлургия, 1973. – 191 с.

45 Солдатов В.Г. Конструкционные стали: учеб. пособие для вузов. – СПб.: Лань, 2024. – 184 с.

46 Солнцев Ю.П., Борзенко Е.И., Вологжанина С.А. Материаловедение. Применение и выбор материалов: учеб. пособие. – СПб.: Химиздат, 2020. – 200 с.

47 Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение: учебник для вузов. – 7-е изд. – СПб.: Химиздат, 2020. – 784 с.

48 Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.

49 Тагер А.А. Физико-химия полимеров. – 4-е изд. – М.: Научный мир, 2007.

50 Тенденции в развитии геометрического ядра C3D Modeler // Isicad URL: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16373 (дата обращения: 15.10.2024).

51 Теория резания. Резание материалов Методические рекомендации к лабораторным работам для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машинострои-

тельного производства» и 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» дневной и заочной форм обучения. Рекомендовано к изданию учебно-методическим отделом Белорусско-Российского университета / сост. С.А. Сухоцкий; И.А. Тарадейко. – Могилев, 2023.

52 Технология обработки на токарных станках: учеб. пособие для среднего профессионального образования / Д.Г. Мирошин, Э.Э. Агаева; под общ. ред. И.Н. Тихонова. – М.: Юрайт, 2024. – 314 с. – (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-14667-7. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/544220> (дата обращения: 15.10.2024). 1314 с.

53 Учебное пособие. Технология обработки металлов резанием // URL: https://xn---2100-ywvexrk3ag0c.xn--plai/uploadedFiles/files/Training_Handbook_RUS_2-compressed.pdf.pdf (дата обращения: 15.10.2024).

54 Учебные материалы по робототехнике и программированию // ТЕХНОЛАБ. – URL: <https://examen-technolab.ru/education/manuals> (дата обращения: 20.06.2024).

55 Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об отходах производства и потребления».

56 Филонович С.Р. Лучи, волны, кванты: Краткая история оптических исследований: от тайн зрения до квантовой механики и нелинейной оптики. Изд. 2, стереотип. – М.: URSS, 2025.

57 Чагина А.В., Большаков В.П. 3D-моделирование в КОМПАС-3D версий v17 и выше: учеб. пособие для вузов. – СПб.: Питер, 2021. – 256 с.

58 Чиченев Н.А., Карфидов А.О. Определение параметров ступенчатой гибки тонколистового металла // Черные металлы. – 2024. – № 1. – С. 17–20.

59 Энциклопедия Нодов – справочник по Blender, 15 с.

60 Blender Eevee Rendering engine. – Хирако Сан, 2018. – 77 с.

61 Christopher Kuhn Blender 3D incredible machine. – 2017. – 399 p.

62 Christopher Kuhn Blender 3D Incredible Machines. – 2016. – 24 p.

63 Fundamentals of CNC Machining // URL: https://haastech.tamu.edu/wp-content/uploads/sites/5/2016/05/Autodesk_CNCBOOK.pdf (дата обращения: 15.10.2024).

64 <https://nsportal.ru/npo-spo/metallurgiya-mashinostroenie-i-materialoobrabotka/library/2021/12/13/prakticheskaya-rabota>

65 <https://nsportal.ru/npo-spo/metallurgiya-mashinostroenie-i-materialoobrabotka/library/2016/06/24/tehnika-bezopasnosti>

66 Increasing of Accuracy of Definition of Coordinates in Robotic Vision / V.I. Guzhov, S.P. Ilinykh, A.R. Vagizov, R.A. Kuznetsov // ROCEEDINGS RFBR and DST Sponsored «The 2nd Russian-Indian Joint Workshop on Computational Intelligence and Modern Heuristics in Automation and Robotics». – September, 2011. – № 10–13. – P. 184–187.

67 Processing. Видеоуроки // AlexGyver Technologies V2.0. – URL: <https://alexgyver.ru/lessons/processing/> (дата обращения: 19.06.2024).

68 Sato K. Range imaging based on moving pattern light and spatio-temporal matched filter // IEEE International Conference on Image Processing. – 1996. – № 1. – P. 33–36.

Ответы

Раздел 1.1

1.1.1. Ответ: огонь, ветер, воду.

1.1.2. Ответ: оно позволило увеличивать урожай, опливать дома и снабжать их водой, производить различные изделия, которые нужны людям.

1.1.3. Ответ: человечество старалось облегчить такие тяжелые виды работ, как разработка грунта, подъем предметов и др.

Раздел 1.2

1.2.1. Ответ: специалист в вопросах конструирования производства и эксплуатации машин, механизмов, технических систем и устройств.

1.2.2. Ответ: наличие научного обоснования любого применяемого способа или приема; использование измерений и расчетов для обеспечения требуемых параметров и свойств изделия; масштабируемость, т.е. возможность переноса технологии на объекты большего и меньшего размеров, производительности, в смежные области и т.п.

1.2.3. Ответ: математические формулы – это математические модели процессов, которые позволяют прогнозировать поведение инженерной системы в новых условиях, а потом определять, какие нагрузки она должна будет выдерживать.

1.2.4. Ответ: опираться в первую очередь на энергетические показатели системы, учитывая, какую полезную мощность должна развивать система и какие потери энергии будут в системе при применении тех или иных технических решений; пользоваться расчетами на этапе разработки конструкции для определения конструктивных параметров механизма или системы, учитывая внешние и внутренние нагрузки; при производстве выбирать и применять технологии упрочнения и снижения износа

деталей, не требующие увеличения их массы; в процессе эксплуатации проверять и обслуживать технику в соответствии с технической документацией и требованиями производителя и не допускать работы техники с перегрузкой и неисправностями.

Раздел 1.3

1.3.1. Ответ: технологическим маршрутом называют последовательность обработки исходного материала (металл, пластик и пр.), в результате которой из заготовки получается готовая деталь.

1.3.2. Ответ: субтрактивные и аддитивные технологии.

1.3.3. Ответ: слишком маленькая скорость резания испортит поверхность детали, слишком большая испортит инструмент.

1.3.4. Ответ: отжиг, отпуск, нормализация, закалка.

1.3.5. Ответ: деформирование материала изделия в результате неравномерного нагрева и остывания.

Раздел 1.4

1.4.1. Ответ: 3D-печать, лазерное спекание, послойное наплавление.

1.4.2. Ответ: пластик, металл, керамику, биоматериалы.

1.4.3. Ответ: ABS, PLA, нейлон, PC, армированный волокнами нейлон, ULTEM.

Задача 1.4.1

Базовый уровень

Фотополимеризация в ванночке – химическая реакция, которая происходит под воздействием света определенной длины волны.

SLA: Stereolithography – засвечивание одним или несколькими точечными лазерами нужных участков смолы.

DLP: Direct Light Processing – светодиодная проекция засвечивает весь слой целиком с последующим перемещением по оси Z .

CDLP: Continuous DLP – светодиодная проекция с постоянным перемещением по оси Z .

Экструзия материала – выдавливание материала из сопла на платформу печати.

FDM: Fused Deposition Modeling – послойное наплавление нитей термопластика.

Продвинутый уровень

Струйная 3D-печать – керамические изделия, модели для литейной промышленности.

Селективное лазерное спекание (SLS) – прочные пластиковые и металлические детали для промышленного применения.

Цифровая светодиодная проекция (DLP) – небольшие пластиковые изделия со сложной геометрией, ювелирные украшения.

Стереолитография (SLA) – высокоточные медицинские имплантаты, ювелирные изделия, прототипы.

Послойное наплавление (FDM) – пластиковые бытовые товары, игрушки, архитектурные макеты.

Лазерное спекание порошковых материалов – металлические детали для авиакосмической и автомобильной промышленности.

Раздел 3.1

3.1.1. Ответ: б.

3.1.2. Ответ: б.

3.1.3. Ответ: б.

3.1.4. Ответ: в.

3.1.5. Ответ: а.

3.1.6. Ответ: в.

3.1.7. Ответ: б.

3.1.8. Ответ: а.

3.1.9. Ответ: б.

3.1.10. Ответ: б.

Раздел 3.2

Задача 3.2.5. Ответ: $V_{\phi} = 100$ м/мин.

Задача 3.2.6. Ответ: $n_{\text{ст}} = 4500$ об/мин.

Тест. Техника безопасности

1. Ответ: г.
2. Ответ: б.
3. Ответ: а.
4. Ответ: б.
5. Ответ: в.

Задача 3.2.4. Решение

Базовый уровень

Все величины в расчете следует подставлять в системе СИ. Для лучшего понимания механизма расчета в размерностях использована несистемная единица «оборот» – [об].

Сначала найдем частоты вращения заготовки, соответствующие скорости резания.

Для диаметра точения 40 мм:

$$n_1 = \frac{v_1}{\pi d_1} = 15,9 \text{ об/с},$$

где v_1 – скорость резания;

d_1 – диаметр точения первой цилиндрической поверхности.

Для диаметра точения 90 мм:

$$n_2 = \frac{v_1}{\pi d_2} = 7,1 \text{ об/с},$$

где d_2 – диаметр точения второй цилиндрической поверхности.

Чистое время точения поверхности определяется длиной точения, величиной подачи резца и частотой вращения заготовки:

$$t_1 = \frac{l_1}{h_p n_1} = 20,9 \text{ с},$$

где l_1 – длина точения первой цилиндрической поверхности;

h_p – подача резца.

$$t_2 = \frac{l_2}{h_p n_2} = 141,4 \text{ с},$$

где l_2 – длина точения второй цилиндрической поверхности.

Чистое время точения двух поверхностей без учета маневровых перемещений инструмента составит

$$t = t_1 + t_2 = 162,3 \text{ с}.$$

Продвинутый уровень

Расчет затрат времени на черновое и чистовое точение в варианте повышенной сложности выполняется по тем же самым формулам, однако следует учесть, что в первый проход резец снимает не весь припуск на обработку, а только его часть. Поэтому длины точения первой и второй цилиндрических поверхностей на этапе чернового точения будут 39,5 и 120,5 мм соответственно, а диаметры точения – 41 и 91 мм соответственно. На этапе чистового точения длина первого участка берется с учетом отведения резца и составляет 43 мм. Все остальные размеры такие же, как в первом варианте расчета. Кроме того, по условию задачи добавляется подрезка торца при переходе от первого диаметра ко второму и возврат резца в исходную точку для выполнения операции чистового точения.

Частота вращения заготовки:

- для диаметра точения 41 мм:

$$n_{1ч} = \frac{v_1}{\pi d_{1ч}} = 15,5 \text{ об/с},$$

где v_1 – скорость чернового резания;

$d_{1ч}$ – диаметр чернового точения первой цилиндрической поверхности;

- для диаметра точения 91 мм:

$$n_{2ч} = \frac{v_1}{\pi d_{2ч}} = 6,9 \text{ об/с},$$

где $d_{2ч}$ – диаметр чернового точения второй цилиндрической поверхности;

- средняя при подрезке торца:

$$n_{тч} = \frac{2v_1}{\pi(d_{2ч} + d_{1ч})} = 9,7 \text{ об/с} .$$

Время чернового точения первой цилиндрической поверхности:

$$t_{1ч} = \frac{l_{1ч}}{h_{рч} \cdot n_{1ч}} = 21,2 \text{ с} ,$$

где $l_{1ч}$ – длина чернового точения первой цилиндрической поверхности;

$h_{рч}$ – подача резца при черновом точении.

Время чернового точения второй цилиндрической поверхности:

$$t_{2ч} = \frac{l_{2ч}}{h_{рч} \cdot n_{2ч}} = 143,5 \text{ с} ,$$

где $l_{2ч}$ – длина чернового точения второй цилиндрической поверхности.

Время черновой подрезки торца:

$$t_{тч} = \frac{(d_{2ч} - d_{1ч})}{2h_{рч} \cdot n_{2ч}} = 21,6 \text{ с} .$$

Чистое время чернового точения:

$$t_{ч} = t_{1ч} + t_{2ч} + t_{тч} = 186,3 \text{ с} .$$

Возврат резца происходит в следующем порядке: резец отводится от второй поверхности детали на 3 мм, дальше резец перемещается вправо до точки, находящейся на 3 мм дальше правого торца, во избежание столкновения резца и детали, и дальше подводится к первой поверхности для чистового точения диаметра 40 мм:

$$t_{м} = \frac{3 + l_{1ф} + l_{2ф} + \frac{(d_{2ф} - d_{1ф})}{2} + 3}{v_{м}} = 4,9 \text{ с} ,$$

где $l_{1ф}$ – длина чистового точения первой цилиндрической поверхности;

$l_{2ф}$ – длина чистового точения второй цилиндрической поверхности;

$d_{1ф}$ – диаметр чистового точения первой цилиндрической поверхности;

$d_{2ф}$ – диаметр чистового точения второй цилиндрической поверхности;

$v_{м}$ – скорость маневрового перемещения резца.

После возврата резца выполняется чистовая (финишная) обработка поверхности детали.

Частота вращения заготовки:

- для диаметра точения 40 мм:

$$n_{1ф} = \frac{v_2}{\pi d_{1ф}} = 21,2 \text{ об/с} ,$$

где v_2 – скорость чистового резания;

$d_{1ф}$ – диаметр чистового точения первой цилиндрической поверхности;

- для диаметра точения 90 мм:

$$n_{2ф} = \frac{v_2}{\pi d_{2ф}} = 9,4 \text{ об/с} ,$$

где $d_{2ф}$ – диаметр чернового точения второй цилиндрической поверхности;

- средняя при подрезке торца:

$$n_{тф} = \frac{2v_2}{\pi(d_{2ф} + d_{1ф})} = 13,1 \text{ об/с} ,$$

Время чистового точения первой цилиндрической поверхности:

$$t_{1ф} = \frac{l_{1ф}}{h_{рф} \cdot n_{1ф}} = 25,3 \text{ с} ,$$

где $l_{1ч}$ – длина чистового точения первой цилиндрической поверхности;

$h_{рч}$ – подача резца при чистовом точении.

Время чистового точения второй цилиндрической поверхности:

$$t_{2\phi} = \frac{l_{2\phi}}{h_{\text{рф}} \cdot n_{2\phi}} = 159,0 \text{ с},$$

где $l_{2\phi}$ – длина чернового точения второй цилиндрической поверхности.

Время черновой подрезки торца:

$$t_{\text{тф}} = \frac{(d_{2\phi} - d_{1\phi})}{2h_{\text{рф}} \cdot n_{2\phi}} = 23,9 \text{ с}.$$

Чистое время чернового точения:

$$t_{\phi} = t_{1\phi} + t_{2\phi} + t_{\text{тф}} = 208,2 \text{ с}.$$

Просуммировав время трех операций, получаем ответ:

$$T = t_{\text{ч}} + t_{\text{м}} + t_{\phi} = 399,4 \text{ с}.$$

Раздел 3.3

С одним вариантом ответа

С двумя вариантами ответов

3.3.1. Ответ: б.

3.3.6. Ответ: а, д.

3.3.2. Ответ: б.

3.3.7. Ответ: а, б.

3.3.3. Ответ: в.

3.3.8. Ответ: а, в.

3.3.4. Ответ: б.

3.3.9. Ответ: б, г.

3.3.5. Ответ: б.

3.3.10. Ответ: а, б.

Раздел 4.1

Базовый уровень

4.1.1. Ответ: литые детали получили широкое распространение в аэрокосмической отрасли, автомобилестроении, железнодорожном транспорте, атомной энергетике, судостроении, станкостроении, электронике и др.

4.1.2. Ответ: основным отличием литья от других способов формообразования, таких как резанье, сварка,

спекание и деформация, является возможность получения изделий необходимой конфигурации с заданным уровнем свойств при минимальной затрате материалов, т.е. непосредственно из расплава.

4.1.3. Ответ: 0,5 мм.

4.1.4. Ответ: отливки могут изготавливаться практически из любых металлов и сплавов.

4.1.5. Ответ: САПР, моделирование процессов заполнения формы и затвердевания отливок, 3D-печать моделей и литейных форм, станки с ЧПУ, лазерная и оптическая оцифровки и др.

4.1.6. Ответ: большинство цифровых технологий при производстве отливок используются на стадии подготовки производства или при изготовлении прототипа, т.е. масштабной модели изделия, пригодной для различных испытаний.

4.1.7. Ответ: лазерную или оптическую оцифровку часто применяют для контроля качества отливок при оценке соответствия геометрии и толщины стенок отливки с чертежом или трехмерной моделью, а также для обратного инжиниринга.

Продвинутый уровень

4.1.8. Ответ: сначала с помощью оптического или лазерного сканера получают трехмерную модель отливки. Затем в программном обеспечении накладывают полученную модель на модель детали, которая была спроектирована при разработке технологического процесса литья. Программа проводит цветовую градацию (распределяет цвета в зависимости от величины отклонения) и окрашивает стенки модели отливки в соответствии с ней, позволяя наглядно видеть отклонения и их величину.

4.1.9. Ответ: за счет связей, которые возникают в результате взаимодействия песка, синтетической смолы и отвердителя. В результате такого взаимодействия между отдельными песчинками происходит образование прочных полимерных связей, которые позволяют песку удерживать форму.

4.1.10. Ответ: на станках с ЧПУ.

4.1.11. Ответ: при производстве большого количества литых деталей стоимость изготовления традиционными методами в пересчете на каждую изготовленную отливку в разы ниже, чем такого же количества литых деталей, изготовленного с использованием 3D-печати.

4.1.12. Ответ: внутренние каналы в отливках изготавливают при помощи стержней, которые устанавливаются в литейную форму при ее изготовлении (см. рисунок 4.1.4, а).

Раздел 4.2

Базовый уровень

4.2.1. Ответ: прокатка, волочение, прессование, ковка и штамповка.

4.2.2. Ответ: для придания слитку после выплавки или заготовки необходимой формы и размеров, а также для улучшения свойств слитка.

4.2.3. Ответ: штамповка металла – это процесс деформирования заготовки давлением с помощью специального инструмента – штампа.

4.2.4. Ответ: поперечно-винтовая прокатка, волочение, прессование.

4.2.5. Ответ: высадкой.

4.2.6. Ответ: прессование, формовка.

4.2.7. Ответ: чеканка.

Продвинутый уровень

4.2.8. Ответ: отжиг для снятия напряжений.

4.2.9. Ответ: прокатка применяется перед ковкой, волочением и штамповкой.

4.2.10. Ответ: в процессе прямого прессования металл вытесняется в направлении движения пуансона, а при обратном металл движется навстречу движению.

Раздел 4.3

Базовый уровень

4.3.1. Ответ: б.

4.3.2. Ответ: в.

4.3.3. Ответ: г.

4.3.4. Ответ: б.

Продвинутый уровень

4.3.5. Ответ: а.

4.3.6. Ответ: б.

4.3.7. Ответ: б.

4.3.8. Ответ: а.

Раздел 5.1

5.1.1. Ответ: а.

5.1.2. Ответ: г.

5.1.3. Ответ: б.

Раздел 5.2

Базовый уровень

5.2.1. Ответ: а.

5.2.2. Ответ: г.

Продвинутый уровень

5.2.3. Ответ: б.

5.2.4. Ответ: три.

Раздел 5.3

Базовый уровень

5.3.1. Ответ: различие в зонной структуре, что ведет к различной проводимости.

5.3.2. Ответ: электроны и дырки.

5.3.3. Ответ: можно использовать рисунок 5.3.4. Наличием запрещенной зоны у полупроводника с размером до 3 эВ, у металла нет запрещенной зоны, у диэлектрика она очень большая, много больше 3 эВ.

5.3.4. Ответ: процесс добавления примеси в материал.

5.3.5. Ответ: p -тип и n -тип.

Продвинутый уровень

5.3.6. Ответ: n -тип.

5.3.7. Ответ: p -тип.

5.3.8. Ответ: проводимость самого проводника без примесей проявляется при высоких температурах, много больше комнатной.

5.3.9. Ответ: для каждого твердого тела существует определенный дискретный набор спектральных линий, характерных для данного материала, на основе этого были разработаны современные методы исследования материалов.

Раздел 7.1

Базовый уровень

Задача 7.1.1. Ответ: $XD = 171$; $YD = 339$.

Задача 7.1.2. Ответ: $XD = 184$; $YD = 403$.

Продвинутый уровень

Задача 7.1.3. Ответ: $XB = 204$; $YB = 467$.

Задача 7.1.4. Ответ: $XB = 314$; $YB = 403$.

Базовый уровень

7.1.1. Ответ: прямая задача кинематики (ПЗК) – это расчет положения и ориентации рабочего органа манипулятора (инструмента, схвата) согласно его конфигурации. В ПЗК необходимо знать длину звеньев и углы поворота каждого звена для определения положения всех элементов манипулятора.

7.1.2. Ответ: манипуляторы с плоско-параллельной кинематикой имеют такую особенность: их рабочий инструмент движется в одной вертикальной плоскости, а все звенья перемещаются параллельно этой плоскости.

7.1.3. Ответ: основные части манипулятора Dobot Magician:

1) основание;

2) плечо 1;

3) плечо 2;

4) рабочий инструмент.

Все эти части соединены между собой с помощью сервоприводов, что обеспечивает большой объем рабочей зоны манипулятора.

7.1.4. Ответ: свяжем координаты точки D с углом отклонения от оси X и Y неподвижной системы координат и длиной плеча $l1$:

$$DX = l1 \times \cos(a1);$$

$$DY = l1 \times \sin(a1).$$

7.1.5. Ответ: положения плеч $l1$ и $l2$ в программе изменяются через положения ручек A и B или параметрическое задание через текстовые поля. При изменении положения ручек или внесении информации в текстовом поле меняются соответствующие переменные $ugolZ1$ и $ugolZ2$ соответственно.

Продвинутый уровень

7.1.6. Ответ:

$$BX = DX + BX(x101y1) = l1 \times \cos(a1) + l2 \times \cos(a1 + a2);$$

$$BY = DY + BY(x101y1) = l1 \times \sin(a1) + l2 \times \sin(a1 + a2).$$

7.1.7. Ответ: библиотека controlP5 для Processing – это графический интерфейс пользователя (GUI). Она содержит контроллеры, такие как слайдеры, кнопки, переключатели и текстовые поля, которые можно легко добавить в скетч Processing. Установка и использование библиотеки требуют распаковки скачанного архива и помещения извлеченной папки controlP5 в папку libraries проекта.

7.1.8. Ответ: длины плеч задаются с помощью текстового окна PLECHO1 и PLECHO2. При этом внесение данных в соответствующие поля ведет к изменению значения переменных $Lz1$ и $Lz2$.

7.1.9. Ответ: цель разработки программы для визуализации решения прямой задачи кинематики – облегчить понимание технического состояния элементов кинематики.

Раздел 7.2

Базовый уровень

7.2.1. Ответ: плечо 1 имеет размеры 135 мм. Плечо 2 имеет размеры 147 мм. Высота подъема над поверхностью оси J2 – 138 мм.

7.2.2. Ответ: панель управления позволяет изменять координаты рабочего органа и изменять углы плеч робота.

7.2.3. Ответ: панель управления позволяет изменять координаты рабочего органа, нажимая на соответствующие кнопки панели X+, Y+, Z+ для увеличения координаты или X-, Y-, Z- для уменьшения соответствующих координат. Кроме этого, есть возможность управления плечами робота через установку углов плеч робота (соединений) J1, J2, J3 и J4.

7.2.4. Ответ: необходимо подключить адаптер питания к основанию робота, включить питание кнопкой, расположенной на основании. Дождаться короткого звукового сигнала. Подключить робота к компьютеру с помощью USB-кабеля. В главном окне программы DobotStudio нажмите кнопку «Connect», которая расположена в верхнем углу экрана.

7.2.5. Ответ: значение задержки перед выполнением следующей команды означает время, которое проходит между выполнением одной команды и началом выполнения следующей. Задержка возникает из-за необходимости дождаться завершения предыдущих этапов.

Продвинутый уровень

7.2.6. Ответ: для активации подключения к виртуальной лаборатории DobotBlock Lab выполните следующие шаги:

- запустите виртуальную машину лаборатории;

- в области виртуальной реальности нажмите кнопку «Подключить робота виртуально»;

- в выпавшем контекстном меню необходимо нажать на кнопку «Connect».

7.2.7. Ответ: виртуальная лаборатория DobotBlock Lab предоставляет возможности для изучения робототехники и программирования. Она включает программное обеспечение, аппаратные компоненты и онлайн-ресурсы для создания и тестирования роботов. С помощью этой лаборатории можно изучать основы робототехники, программирования на языках Python и Scratch, а также разрабатывать собственные проекты роботов.

7.2.8. Ответ: если при выполнении кода команды вам требуется сделать задержку, необходимо прописать функцию `dType.dSleep()`, внутри которой в миллисекундах указывается время задержки. Например если вам необходимо осуществить задержку в 2 секунды, то необходимо прописать `dType.dSleep(2000)`.

7.2.9. Ответ: если при выполнении кода команды вам необходимо сделать задержку, необходимо прописать функцию `m_lite.wait()`, внутри которой в секундах указывается время задержки. Например если вам необходимо осуществить задержку в 2 секунды, то необходимо прописать `m_lite.wait(delay=2)`.

7.2.10. Ответ: если при выполнении кода команды вам необходимо выполнить перемещение робота-манипулятора, то необходимо прописать

```
m_lite.set_ptpcmd(ptp_mode=0, x=263,  
y=(100), z=(-55), r=0),
```

где `ptp_mode=0` – режим перемещения;

`x=263, y=(100), z=(-55)` – координаты, куда необходимо переместить рабочий орган;

`r=0` – угол поворота рабочего органа.

Раздел 7.3

Базовый уровень

7.3.1. Ответ: основные цвета, которые может определить датчик цвета: красный, зеленый и синий.

7.3.2. Ответ: датчик цвета работает по принципу отражения света от поверхности объекта. Он излучает свет красного, зеленого и синего цветов и регистрирует отраженный свет.

7.3.3. Ответ: эффективное расстояние между объектом и датчиком цвета составляет 2–5 мм.

7.3.4. Ответ: алгоритм определения цвета кубика включает использование команды `IdentifyColor`, которая возвращает 1, если цвет на датчике цвета совпадает с красным, если нет, то 0.

7.3.5. Ответ: когда кубик соответствует цвету, указанному в задании, он размещается в зоне разгрузки.

7.3.6. Ответ: если кубик не соответствует ни одному из перечисленных цветов, он отправляется в зону брака.

7.3.7. Ответ: занятость позиций в зоне разгрузки определяется с помощью флагов `flag_k3`, `flag_k4` и `flag_k5`.

7.3.8. Ответ: переменная `roz` отвечает за количество занятых ячеек в зоне разгрузки.

7.3.9. Ответ: выполнение программы завершается, когда все три кубика установлены на свои места в зоне разгрузки.

Продвинутый уровень

7.3.10. Ответ:

Нажать кнопку разблокировки на плече робота и удерживать ее.

Переместить роботизированную руку в нужную точку К, а затем отпустить кнопку.

На панели управления роботом отобразятся координаты искомой точки.

7.3.11. Ответ: робот-манипулятор решает задачу выставления цветных кубиков в зоне разгрузки в определенной последовательности.

7.3.12. Ответ: датчик цвета подключен к порту GP5.

7.3.13. Ответ: датчик цвета работает по принципу отражения света от поверхности объекта. Он излучает свет красного, зеленого и синего цветов и регистрирует отраженный свет.

7.3.14. Ответ: команда `SetColorSensor` включает датчик цвета.

7.3.15. Ответ: цвет кубика определяется с помощью команды `IdentifyColor`, которая возвращает 1, если цвет на датчике цвета совпадает с красным, если нет, то 0.

7.3.16. Ответ: если ни один цвет не был определен, в переменную `Cub_collor` записывается число 4.

7.3.17. Ответ: команда `SetHOMECmdEx` устанавливает домашнюю позицию для робота-манипулятора.

7.3.18. Ответ: если цвет кубика не соответствует цвету, указанному в задании, и он уже установлен в зоне разгрузки, кубик отправляется в зону брака.

7.3.19. Ответ: когда переменная `roz` становится больше 3, программа понимает, что все позиции в зоне разгрузки заняты.

7.3.20. Ответ: программа управляет движением конвейерной ленты с помощью команды `SetEMotorEx`, которая регулирует скорость мотора.

Глава 8

8.1. Ответ: 3D-печать приоритетней при быстром прототипировании и малом тираже, литье на термопластавтомате приоритетней при высоких тиражах производства и необходимости быстро произвести детали за малое количество времени с высокой точностью.

8.2. Ответ: цели устойчивого развития:

1) повсеместная ликвидация нищеты во всех ее формах;

2) ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания, содействие устойчивому развитию сельского хозяйства;

3) обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте;

4) обеспечение всеохватного и справедливого качественного образования и поощрение возможности обучения на протяжении всей жизни для всех;

5) обеспечение гендерного равенства и расширение прав и возможностей всех женщин и девочек;

6) обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех;

7) обеспечение доступа к недорогостоящим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех;

8) содействие неуклонному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех;

9) создание прочной инфраструктуры, содействие обеспечению всеохватной и устойчивой индустриализации и внедрению инноваций;

10) снижение уровня неравенства внутри стран и между ними;

11) обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и устойчивости городов и населенных пунктов;

12) обеспечение рациональных моделей потребления и производства;

13) принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями;

14) сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития;

15) защита, восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное управление лесами, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биологического разнообразия;

16) содействие построению миролюбивых и открытых обществ в интересах устойчивого развития, обеспечение доступа к правосудию для всех и создание эффективных, подотчетных и основанных на широком участии учреждений на всех уровнях;

17) укрепление средств достижения устойчивого развития и активизация работы механизмов глобального партнерства в интересах устойчивого развития.

8.3. Ответ: углеродная нейтральность – это концепция, предполагающая достижение баланса между антропогенными выбросами парниковых газов в атмосферу и их поглощением.

8.4. Ответ: основные экологические загрязнения по источнику и их различия:

- химическое загрязнение – попадание чужеродных веществ в почву, воздух и воду;

- физическое загрязнение – изменение физических параметров среды;

- биологическое загрязнение – попадание в экосистемы нехарактерных для них видов организмов и продуктов их жизнедеятельности.

8.5. Ответ: в.

8.6. Ответ: а.

8.7. Ответ: б, д, е.

Задача 8.1

а – 10 устройств, срок поставки 3 мес. – те же технологии, что и в макете – 3D-печать и лазер.

б – 1000 устройств, срок поставки 4 мес.; производство пластика – или печать, или термопласт, производство листового металла – или лазерная резка, или штамповка.

в – 10 000 устройств, срок поставки 6 мес. – пластик – преимущественно термопласт, металл – преимущественно штамповка.

Задача 8.2

Проведем необходимые расчеты, чтобы определить, за сколько времени половина территории Земли превратилась бы в пустыню, если бы не проводились мероприятия по борьбе с опустыниванием.

Общая площадь суши земного шара составляет 149 939,063133 тыс. кв. км. Переведем это значение в гектары:

$$149\,939\,063,133 \text{ тыс. кв. км} = 149\,939\,063\,133 \text{ кв. км} \times 10^4 = 1\,499\,390\,631\,330\,000 \text{ га.}$$

Площадь, составляющая половину суши:

$$\text{Половина площади суши} = 1\,499\,390\,631\,330\,000 / 2 = 749\,695\,315\,665\,000 \text{ га.}$$

Текущая площадь пустынь: 23 % от общей площади суши:

$$\text{Площадь пустынь} = 0,23 \times 1\,499\,390\,631\,330\,000 \approx 344\,732\,228\,000\,000 \text{ га.}$$

Необходимая площадь для превращения в пустыню. Для того чтобы половина суши превратилась в пустыню, необходимо, чтобы площадь пустынь достигла 749 695 315 665 000 га. Таким образом, площадь, которую нужно превратить в пустыню:

$$\begin{aligned} \text{Необходимая площадь для роста пустынь} &= \\ &= 749\,695\,315\,665\,000 \text{ га} - 344\,732\,228\,000\,000 \text{ га} \approx \\ &\approx 404\,963\,087\,665\,000 \text{ га.} \end{aligned}$$

Расширение пустынь: площадь пустынь расширяется на 7 млн га в год.

Время, необходимое для превращения половины суши в пустыню. Теперь рассчитаем, сколько лет потребуются, чтобы площадь пустынь достигла необходимой площади:

$$\begin{aligned} t &= \text{Расширение пустынь в год} : \\ &: \text{Необходимая площадь для роста пустынь} = \\ &= 404\,963\,087\,665\,000 \text{ га} / 7 \times 10^6 \text{ га/год} = 57\,709 \text{ лет.} \end{aligned}$$

Таким образом, согласно проведенным расчетам потребуется примерно 57 709 лет, чтобы половина суши Земли превратилась в пустыню, если бы не проводились меры по борьбе с опустыниванием.

Выводы об экологических последствиях опустынивания.

1. Потеря биоразнообразия: увеличение площадей пустынных территорий приводит к уничтожению экосистем, угрожая выживанию многих видов.

2. Опустынивание может вызвать миграцию населения, что приведет к социальным и экономическим проблемам в регионах, принимающих мигрантов.

3. Сокращение пахотных земель из-за опустынивания может привести к нехватке продовольствия, увеличивая зависимость от импорта.

4. Опустынивание может усугубить изменение климата, поскольку сокращение растительности снижает способность Земли поглощать углекислый газ.

5. Увеличение пустынных территорий может негативно сказаться на экономике стран, зависящих от сельского хозяйства.

Задача 8.3

Границы погрешности, поскольку первая значащая цифра 4, указываются с одной значащей цифрой, с учетом правил округления эта величина будет 0,0005. Таким образом, результат измерений следует округлить и указать с четырьмя знаками после запятой, а именно 0,0028.

Задача 8.4

Относительная стандартная неопределенность величины:

$$u = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}}. \quad (1)$$

Доверительные границы относительной погрешности этой величины:

$$\varepsilon = \frac{S_{\bar{x}} t_{0,99;5}}{\bar{x}} = u t_{0,99;5}, \quad (2)$$

где $t_{0,99;5} = 4,032$ – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности 0,99;

$n - 1 = 6 - 1 = 5$ степеней свободы (табличные данные).

Подставляя данные в (2), получаем

$$\varepsilon = 0,8 \% \cdot 4,032 \approx 3,2 \%$$

Задача 8.5

Доверительные границы выражаются соотношением

$$\varepsilon = S_{\bar{x}} t_{P,n-1}, \quad (1)$$

где $S_{\bar{x}}$ – среднее квадратическое отклонение среднего арифметического;

$t_{P,n-1}$ – коэффициент Стьюдента (табличные данные) для доверительной вероятности P и числа степеней свободы $n - 1$; n – число измерений, в данном случае $t_{P,n-1} = t_{0,95;8} = 2,365$.

Стандартная неопределенность для отдельных результатов измерений – это среднее квадратическое отклонение отдельных результатов измерений S_x , которое связано со средним квадратическим отклонением среднего арифметического $S_{\bar{x}}$ соотношением

$$u = S_x = \sqrt{n} \cdot S_{\bar{x}}. \quad (2)$$

Выражая $S_{\bar{x}}$ из (1) и подставляя в (2), получаем

$$u = \sqrt{n} \frac{\varepsilon}{t_{P,n-1}}. \quad (3)$$

Подставляя числовые данные в (3), получаем

$$u = \sqrt{9} \frac{0,5}{2,365} \approx 0,63 \text{ м.}$$

Учебное издание

Баранова Александра Павловна
Герасимова Алла Александровна
Гостева Екатерина Александровна
Губанов Сергей Геннадьевич
Давыдкин Максим Николаевич
Емельянов Иван Андреевич
Карфидов Алексей Олегович
Ли Элина Валерьевна
Лопатин Владимир Юрьевич
Морозова Ирина Георгиевна
Мясков Александр Викторович
Степашкин Андрей Александрович
Титов Андрей Юрьевич
Филичкина Вера Александровна
Харитонов Николай Дмитриевич

ТЕХНОЛОГИЯ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Учебное пособие

Технический редактор *Т.В. Суханова*
Корректор *В.В. Демидова*
Верстальщик *Ю.Б. Пашкова*

Подписано в печать 15.12.24 Уч.-изд. л. 26,5

Формат 60 × 90¹/₁₆

Университет науки и технологий МИСИС,
119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1

Издательский Дом НИТУ МИСИС,
119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 2А
Тел. 8 (495) 638-44-06

Отпечатано в типографии
Издательского Дома НИТУ МИСИС,
119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4А
Тел. 8 (495) 638-44-16, 8 (495) 638-44-43