

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
(наименование)

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Цифровые процессы и системы автоматизированного машиностроения
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Исследование силовых характеристик при механической обработке изделий из полимеров

Обучающийся

Д.А. Алексеев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный руководитель

к.т.н., доцент В.А. Гуляев

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Содержание

Введение.....	4
1 Теоретические основы исследований силовых характеристик при механической обработке изделий из полимеров.....	6
2 Изучение полимеров.....	18
2.1 Полимеризация.....	19
2.2 Свойства полимеров.....	20
2.3 Сшитые полимеры	20
2.4 Виды полимеров и их свойства.....	21
2.4.1 Углеродно–цепные полимеры.....	22
2.4.2 Полиэтилен (ПЭ).....	22
2.4.3 Полипропилен (ПП).....	25
2.4.4 Полистирол (ПС).....	27
2.4.5 Поливинилхлорид (ПВХ).....	29
2.4.6 Полиакрилонитрил (ПАН).....	30
2.4.7 Полиметилметакрилат (ПММА).....	31
2.4.8 Политетрафторэтилен (ПТФЭ).....	32
2.4.9 Полибутадиен (бутадиеновый каучук, БК).....	34
2.4.10 Целлюлоза.....	35
2.4.11 Полиэфиры.....	36
2.4.12 Полиэтилентерефталат (ПЭТ).....	37
2.4.13 Поликарбонат (ПК).....	39
2.4.14 Полифениленоксид (РРО).....	40
2.4.15 Полисилоксаны (силиконы).....	40
2.5 Применение полимеров.....	43
2.6 Будущее полимеров.....	44
3 Теоретические расчёты фрезерования.....	47
3.1 Эксперимент, проводимый по полученным данным.....	49

4 Исследования зависимости режимов обработки полимеров от инструментальных приборов.....	55
4.1 Исследование.....	56
4.2 Результаты исследования	57
5 Практическая часть фрезерования.....	60
5.1 Подготовительная часть.....	60
5.2 Написание программы.....	62
5.3 Фрезерование детали.....	63
5.4 Фрезерование дополнительной детали.....	65
Заключение.....	69
Список используемой литературы и используемых источников.....	70

Введение

Производство полимеров и их потребление каждый год растёт. До 2019 года темпы роста производства полимеров и их изделий составляли 4% (около 8 млн. тонн). С 2020 по 2021 года наблюдалось падение рынка до 3 % (около 7,4 млн. тонн). Крупнейшими игроками на рынке являются страны азиатского региона на долю которых приходится 54% всего рынка полимеров.

На Российскую Федерацию приходится 4,4% всего рынка производства изделий из полимеров. Внутренний российский рынок характеризуется стабильным ростом. В 2010 году Россия произвела 3,14 млн. тонн, а в 2020 году 5,23 млн. тонн. Это означает, что рынок вырос на 66%. Потребление выросло на 20% с 4,37 млн. тонн до 5,25 млн. тонн.

В 2023 году российская индустрия пластмасс продемонстрировала рост, поставив на рынок почти 9,85 миллиона тонн продукции. Это превысило показатели 2022 года на 3,9%, но всё ещё отстаёт от докризисного 2021 года на 3,3%, который взят за точку отсчета.

Однако за общими цифрами скрывается неоднородная картина. В то время как большинство сегментов показали рост по сравнению с 2022 годом, производство полиамидов продолжает сокращаться. Небольшой спад наблюдается и в сегментах полимеров стирола, полиацеталей, эпоксидных смол и поликарбонатов. Несмотря на то, что в остальных категориях зафиксирован рост от 4% до 7%, до показателей 2021 года им пока далеко.

Среди основных категорий пластмасс, отслеживаемых Росстатом, только производство полимеров этилена превысило показатели 2021 года. В 2023 году было выпущено 3,39 миллиона тонн полиэтилена, что на 1% больше, чем до кризиса. Примечательно, что в отличие от других сегментов, производство полиэтилена росло как в 2022, так и в 2023 году.

Внутренний спрос на полипропилен в России демонстрирует положительную динамику: по предварительным оценкам, потребление

выросло с 1,41 миллиона тонн в 2021 году до 1,52 миллиона тонн в 2023 году, компенсировав спад 2022 года.

Рост потребления подстегнул импорт, в основном за счет закупок специализированных марок полипропилена. Однако объемы импорта пока не достигли докризисного уровня (198 тысяч тонн в 2023 году против 218 тысяч тонн в 2021 году). При этом доля импорта в общем объеме потребления снижается и в 2023 году составила 13%.

Главным поставщиком полипропилена в Россию остается Азербайджан. Китайские производители укрепили свои позиции, потеснив Южную Корею. Туркменистан также нарастил поставки, несмотря на трудности на одном из своих предприятий.

Внутренний спрос на ПВХ в России в 2023 году показал рост по сравнению с предыдущим годом, но не достиг уровня 2021 года. Так, потребление составило 914 тысяч тонн против 968 тысяч тонн в докризисном году.

Наблюдается тенденция к сокращению доли импорта, однако говорить о устойчивом тренде пока рано. Структура импортных поставок ПВХ претерпела значительные изменения.

Учитывая все предоставленные данные, можно заключить, что рынок полимеров быстро развивается, что требует создания новых полимерных соединений и усовершенствования существующих. На механическую обработку приходится 15% всего рынка. Из-за неправильно подобранных режимов и фрез возникают дефекты, трещины и так далее.

Цель данной магистерской работы заключается в изучении механических свойств и характеристик полимерных изделий при их обработке. Для решения данной задачи мною были предприняты следующие действия:

- анализ имеющихся данных по обработке материалом из полимеров;
- график и фото воздействие на материал механического воздействия;
- составление отчёта по полученным данным.

1 Теоретические основы исследований силовых характеристик при механической обработке изделий из полимеров

В данной главе рассматриваются научные статьи, в которых описаны принципы механической обработки полимеров.

В статье, написанной А.С. Янющкиным, Д.А. Рычковым, Д.В. Лобановым, Е.В. Ткаченко и Н.А. Ткаченко под названием «Анализ фрезерования полимерных композитных материалов», рассматриваются результаты исследования качества поверхности после обработки композитов и прочностные испытания режущего инструмента. На начальных этапах исследований инструмент, изготовленный из твердого сплава ТН20, показал низкую стойкость, поэтому в дальнейших исследованиях не использовался. Анализ качества обработки композитных материалов режущим инструментом, снабженным твердыми сплавами, показал, что с увеличением подачи и глубины резания начинается разрушение материала и вырывание волокон укрепителя из-за высокой нагрузки, возникающих при фрезеровании.

Для определения оптимальных режимов резания с учетом работоспособности инструмента проводились прочностные испытания фрез с использованием центрального композиционного ротатбельного планирования второго порядка. Были получены математические зависимости между стойкостью инструмента и подачей на зуб и глубиной резания при максимально допустимой скорости резания [5].

Для оценки влияния различных марок твердых сплавов на стойкость инструмента рассматривались случаи, когда один из факторов оставался постоянным. Инструмент, изготовленный из твердого сплава ВК15, показал низкую работоспособность при обработке материала СТЭФ–1, при этом при определенных режимах стойкость составила всего 10 минут. Инструмент с твердым сплавом ВК8 показал лучший результат, обеспечивая стойкость около 50 минут [6]. Наилучший результат достигается при использовании

инструмента с твердым сплавом ВКЗМ, который обеспечил стойкость в течение 76 минут.

Увеличение подачи и глубины резания приводило к снижению работоспособности инструмента, даже при использовании твердых сплавов ВКЗМ и ВК8 [7].

Рекомендуется устанавливать следующие геометрические характеристики инструмента: передний угол $20\text{--}25^\circ$, задний угол $10\text{--}12^\circ$ и угол заострения $55\text{--}60^\circ$. Подачу на зуб и глубину резания следует устанавливать в пределах $0,15\text{--}0,17$ мм/зуб и $0,5\text{--}0,6$ мм соответственно, при максимально допустимой скорости резания. Рекомендуется также использовать инструмент, изготовленный из твердого сплава ВКЗМ или ВК8.

Результаты этого исследования могут быть полезными для предприятий, занимающихся обработкой композитных материалов, и способствовать расширению области применения таких материалов, повышению производительности и качества продукции [8].

По итогу проведенного опыта можно сделать вывод, что для механической обработки полимеров лучше не использовать фрезы марки ТН20 (твёрдые нелегированные) из-за невысокие стойкости инструмента. Также эксперимент показал, что с увеличением подачи и глубины резания понижается стойкость инструмента, фрезы марки ВК8, ВКЗМ показали наилучшее результаты. Данные расчёты были сделаны без применения современных программ позволяющие сделать математическую модель фрезерования. За основу будут взяты расчёты, представленные выше, но обработка будет сделана на современных программах, специализирующихся на данных расчётах [9].

В научной статье, написанной в 2015 году под авторством А.Е. Мешкаса и В.В. Ширинкина с названием «Исследование проблем механической обработки современных высокопрочных композиционных материалов, используемых для производства деталей авиационной и ракетно-космической техники», рассматриваются причины появления следующих дефектов при

механической обработке таких материалов: неравномерная шероховатость поверхности, высокая волнистость поверхности образование и сколов на торцах, расслоение волокон и появление ворсистой, образование трещин и царапин, отклонение формы и нарушение взаимного расположения поверхностей [10].

Анализ деформации композиционных материалов показал, что в данных материалах наблюдается:

- анизотропия материала, что приводит к разрушению структуры материала в виде продольных трещин и отделения мелких частиц пыли на передней поверхности инструмента вместо формирования стружки;
- высокая плотность и твёрдость материала, из-за данных характеристик процесс механической обработки становится крайне сложным. Данными характеристиками обладает капролон, при фрезеровании данный полимер быстро нагревается, что в дальнейшем приводит к снижению стойкости инструмента и оплавлению материала, рекомендуемые параметры обработки материала, подача 7500, заглубление 0,2 мм, расстояние между заходами инструмента 5,3 мм (при использовании фрезы 10 мм). Желательно обрабатывать материал не полностью, а по частям давать фрезе и капролону остыть;
- низкая теплопроводность материала способствует несоответствию баланса температуры между фрезой и заготовкой при данных характеристиках [11]. В результате возникает риск окисления или появления налета с образованием коксового слоя и выделения газообразных продуктов в связи с разрушением связующих частей. Это может привести к потемнению поверхности материала, что в различных отраслях является значительным недостатком;
- упругие свойства заготовки, что приводит к повышенному износу фрез.

Так же идёт перечисление основных проблеме изготовления узлов. К данным проблемам можно отнести:

- изготовление дорогостоящей оснасти. Бывают случаи, когда не получается закрепить заготовку для обработки из-за сложности готового изделия, тогда приходится делать под данные задачи специальную оснастку, что в свою очередь увеличивает время изготовления детали и конечную стоимость производимого продукта;
- низкая производительность операции, так она требует высокой квалификации рабочего.

Фрезеровщик должен уметь:

- подобрать правильную заготовку, под правильным подбором заготовки понимается максимальная экономия материала;
- быстро и надёжно закрепить заготовку на станке [12]. При правильном закреплении заготовка не должна колебаться и не должна съезжать при механическом воздействии;
- также огромную роль играет правильное зануление. В некоторых фрезерных станках таких как ROLAND MDX 540s есть специальные приспособления для зануления фрезы, но в большинстве станков приходится вручную занулять фрезы, что бывает занимает много времени. Неправильное зануление может привести к браку готового изделия или поломки фрезы, а также к выходу из строя самого фрезерного станка;
- умение подбирать режимы фрезерования. К данному пункту относится быстрый и правильный подбор режимом под конкретный обрабатываемый материал [13]. Правильные режимы являются ключом к выпуску качественной продукции, лишённой дефектов.

В данной работе были приведены причины деформации композиционных материалов, а также проблемы, которые появляются при

создании узлов [14]. Решения этих вопросов будет раскрыта основной части работы.

Статья для рассмотрения была взята из иностранного журнала MDPI и переведена. Данная статья была написана Бинь Ян, Хунцзянь Ван, Кунькунь Фу и Чонглей Ван.

В настоящей работе была разработана явная конечно–элементная (КЭ) модель для прогнозирования сил резания и морфологии стружки полимеров по истинной кривой «напряжение–деформация». Для моделирования образования режущей стружки использовался двойной процесс разрушения, включающий критерий разрушения при сдвиге и критерий разрушения при текучести, а также учитывающий влияние скорости деформации на основе формулы Джонсона–Кука. Трение между режущим инструментом и образцом было оценено с использованием закона Кулона. Далее, на основе расчетных сил резания и при различных номинальных глубинах резания была произведена оценка вязкости разрушения полимера с применением существующего метода механики. Экспериментально было подтверждено, что прогнозируемая FE–модель соответствует силам резания, морфологии стружки, что подтверждает эффективность данной FE–модели в отражении процесса резания [15]. Кроме того, проведен параметрический анализ для изучения влияния глубины резания, угла наклона ракеля и коэффициента трения на силу резания и образование стружки, который показал, что коэффициент трения среди этих параметров оказывает наибольшее воздействие на силу резания [1].

Ортогональное резание представляет собой один из наиболее распространенных методов обработки материалов. Во время процесса резания материал удаляется с заготовки в виде непрерывной или разорванной стружки для получения заданной формы и чистоты поверхности [16]. Прогнозирование силы резания и морфологии стружки играет важную роль в повышении эффективности процесса резания.

В литературе представлены разные модели для объяснения процесса резания металлов. Например, Мерчант предложил модель сдвига–угла для описания процесса резания с непрерывной стружкой. Ли и другие ученые разработали теорию линии скольжения для объяснения механизма резания. Барри и соавторы провели эксперименты для изучения перехода от непрерывной стружки к образованию пилообразной стружки. В последние десятилетия численные методы стали все более распространенными для изучения сложных механизмов, связанных с ортогональным резанием металла, благодаря их эффективности и низкой стоимости.

Ван и др. представили ФЭ–модель (фиксированные эффекты) для исследования механизма образования мертвой зоны металла при ортогональном резании. Ши и др. исследовали влияние коэффициента трения на процесс резания металла. Чжан и др. исследовали влияние скорости резания, подачи и угла наклона rake на переход морфологии стружки с помощью ФЭ–анализа. Лонг и др. провели ФЭ–анализ для моделирования образования заусенцев на трех типах металлов [17].

Процессы резания полимеров существенно отличаются от традиционной обработки металлов по нескольким аспектам, таким как образование стружки, силы резания и теплопередача. Это объясняется тем, что полимерные материалы обладают значительно более низкой теплопроводностью по сравнению с металлами и многими неорганическими материалами, что может вызывать проблемы с отводом тепла в процессе обработки. Кроме того, характеристики вершины трещины и поведение полимеров в условиях резания существенно различаются от металлических материалов [18]. В последние годы ортогональное микрорезание полимеров привлекло повышенное внимание исследователей.

Например, исследователи Ванг и др. предложили простой метод резки, который позволяет предсказывать силу резания и оценивать вязкость разрушения вязких полимеров, избегая проблем, связанных с образованием трещин. Другие исследователи, включая Яна и его коллег, установили связь

между параметрами процесса обработки, формированием заусенцев и характеристиками режущей стружки через динамический механический анализ и эксперименты по быстрому микрофрезерованию [19].

Обзор современных исследований в этой области показывает, что, хотя повреждения, морфология стружки и силы резания, вызываемые процессом резания полимеров, могут быть предсказаны с высокой точностью, влияние коэффициента трения на силу резания и формирование стружки часто остается мало изученным и сложным для анализа [20].

Хотя для резания металлов были проведены обширные экспериментальные и численные исследования, для микрорезания полимеров с использованием численного метода получены ограниченные результаты. Более того, всего немногие исследования сосредоточены на прогнозировании силы резания в процессе микрорезания полимеров с использованием истинных кривых напряжения–деформация [21]. Основной целью данной работы является разработка полностью связанной модели методом конечных элементов (ФЭ) для моделирования процесса резки, с особым вниманием к учету влияния коэффициента трения [22]. Для моделирования зарождения повреждений используется комбинация разрушения при сдвиге и критерия текучести, а размягчение материала описывается с помощью подхода, основанного на смещении. Эффект скорости деформации рассматривается с помощью формулы Джонсона–Кука [23]. Формула механических ограничений между инструментом и стружкой рассматривается как метод кинематического контакта и представлена законом Кулона. Исследовано влияние угла наклона граблины, глубины резания и трения на силу резания и морфологию стружки. ФЭ–модели подтверждены путем сравнения с экспериментальными данными о силе резания и оптическими измерениями морфологии стружки [24].

Эксперименты по ортогональному резанию проводились на станке с ЧПУ с гидравлической системой питания при комнатной температуре. Для достижения точности позиционирования в пределах ± 100 нанометров был внедрен контроллер с замкнутой обратной связью в станок. Два режущих

инструмента были изготовлены из карбида вольфрама, обладая углом зазора 7° и углом наклона 15° или 30° . Кончик режущего инструмента был острый с радиусом около 5 мкм. Режущий инструмент был установлен на трех-осевой датчик нагрузки, и две силы резания, тангенциальная (ТСР) и радиальная (РСР), измерялись с использованием трехмерного пьезоэлектрического датчика силы с разрешением 0,02 Н, прикрепленного к гидравлическому столу [5]. Положение инструмента контролировалось с помощью калиброванной винтовой резьбы. Образец был закреплен между зажатými стальными пластинами на серво-гидравлической испытательной машине. В данной статье в качестве материала заготовки использовался полиэтилен высокой плотности (ПВП), обработанный в форме призмы с приблизительными размерами $10 \times 10 \times 7$ мм³ и надежно закрепленный на шлифовальном станке с помощью держателя. Во время ортогональной резки скорость резки была установлена на уровне 10 мм/мин, чтобы уменьшить влияние скорости деформации и температурных эффектов. При такой низкой скорости во всех экспериментах по резке наблюдались ровные и стабильные следы нагрузки, что свидетельствует о достижении равновесия в процессе резки [20]. Номинальная глубина резания была установлена с использованием программного управления станком с числовым программным управлением (ЧПУ), а более точные измерения проводились с помощью хроматического датчика расстояния (ХДР), который имел диапазон измерений 0–300 мкм с разрешением 80 нанометров [26].

Если сказать кратко, то данный принцип является отличным с точки зрения сохранения долговечности инструмента так же позволив ускорить процесс обработки поверхности полимера. В данной работе будут приведены расчёты связанные с сохранения долговечности инструмента.

Четвёртая статья для рассмотрения была взята и переведена с аналогичного иностранного ресурса. Авторами данных статей являются Elżbieta Doluk, Анна Рудавская, Józef Kuczmaszewski и Izabela Miturska–Barańska.

В исследовании рассматривалась двухслойная многослойная конструкция из алюминиевого сплава 2024 и полимера, ПАУВ (полимер армированного углеродными волокнами). Эти материалы были выбраны в связи с их частым использованием в аэрокосмической промышленности. Форма и размеры образца показаны на рисунке 1.

ПАУВ состоял из однонаправленного препрега, изготовленного из термопластичной эпоксидной матрицы и армирования 60% в виде высокопрочных углеродных волокон. Композит, использованный в исследовании, был сформирован методом вакуумно-напорной пропитки с использованием автоклава. Материал затвердел при температуре 130 °С под давлением 0,4 МПа в течение 1 ч.

Испытываемая сэндвич–структура была создана путем склеивания материалов с помощью структурного клея, смешанного в соотношении 100:27. Процесс полимеризации проходил в вакуумном мешке под давлением 0,1 МПа при комнатной температуре в течение 24 ч. После этого образцы выдерживались в течение 7 дней в условиях окружающей среды. Процессы полимеризации и выдержки проводились при температуре 23 °С и влажности 35% 2%. Толщина составляет $0,1 \pm 0,02$ мм [27].

В ходе исследования проводилось параллельное фрезерование по окружности короткого края образца. Обработка проводилась на вертикальном обрабатывающем центре. Обработка проводилась с помощью фрезы с обоюдоострым хвостовиком и алмазным лезвием с прямыми зубьями (α равно 45 градусам, s равно 0 градусам и u равно 0 градусам) и диаметром заготовки 12 мм. Материал режущей кромки был выбран благодаря его очень хорошим свойствам. Алмазные инструменты характеризуются высокой стойкостью лезвий и, благодаря своим острым режущим кромкам, обеспечивают высокое качество поверхности после обработки. Геометрия инструмента также влияет на качество поверхности [38]. Для обработки многослойных материалов рекомендуется использовать инструменты с прямым резом. Такая геометрия фрезы теоретически не вызывает отталкивания инструмента от

обрабатываемой детали, что снижает возникновение поверхностных дефектов, включая расслоение и разрыв композитного материала. Большее значение угла наклона режущей кромки приводит к образованию заусенцев и сколов.

В эксперименте изучалось влияние параметров резания (скорость подачи f) и стратегии обработки. Образцы обрабатывались с тремя переменными скоростями подачи: fz равно 0,04мм/зуб, Sz равно 0,08мм/зуб и Sz равно 0,12мм/зуб. Диапазон подач был выбран для определения влияния увеличения подачи на шероховатость поверхности – более высокая скорость подачи повышает эффективность обработки и сокращает время обработки, что является желательным [39]. В процессе обработки также применялись две стратегии обработки: стратегия, фрезерование начиналось со слоя металла; и стратегия, фрезерование начиналось со слоя композита [28].

Обработка проводилась при постоянной глубине резания в 12 мм и постоянной ширине резания в 4 мм. Значение параметра было выбрано таким образом, чтобы обеспечить одновременную резку обоих слоев структуры. Каждый образец обрабатывался три раза – анализируемые результаты представляли собой среднее арифметическое результатов измерений трех образцов. Фрезерование проводилось без использования обрабатывающей жидкости. На рисунке 4 показан план эксперимента. Волокнистые композиты относятся к категории труднообрабатываемых материалов [17]. Наиболее частыми формами повреждения материалов этого типа являются расслоение, вытягивание волокон и растрескивание при деформации. В [18] было показано, что наиболее подходящими параметрами шероховатости поверхности для волокнистых композитов с учетом вышеупомянутых форм повреждения являются R_z (максимальная высота профиля шероховатости поверхности) и R_t (общая высота профиля шероховатости поверхности). Учитывая вышесказанное, в данном исследовании регистрировался параметр RZ [20] и, в связи с наличием металлического слоя, параметр R_a (среднеарифметическая высота). Для топографии поверхности были проведены измерения следующих параметров: Sz (десятибалльная высота

шероховатости поверхности), S_v (максимальная высота вдавливания поверхности), S_p (максимальная высота возвышения поверхности). Минимальное значение параметра шероховатости поверхности R_a , полученное после обработки с использованием стратегии обработки, наблюдалось на поверхности металлического слоя (0,70 мкм) для fz равно 0,04мм/зуб. Максимальное значение параметра R_a для данной стратегии фрезерования (1,67 мкм) наблюдалось на поверхности углепластика при fz равно 0,08мм/зуб. Разница между самым высоким и самым низким значением параметра R_a составила приблизительно 58%. Для стратегии углепластик самые высокие и самые низкие результаты были получены для тех же значений скорости подачи, что и для стратегии: минимальное значение R_a было зарегистрировано на поверхности алюминиевого сплава (0,64 мкм) при fz равно 0,04мм/зуб, а максимальное – на поверхности углепластика (1,29 мкм) при fz равно 0,08мм/зуб. Разница между результатами составила почти 50%. Аналогичная тенденция наблюдалась для обеих стратегий обработки: на поверхностях алюминиевого сплава и углепластика минимальные значения параметра шероховатости поверхности R_a были получены после обработки со скоростью подачи fz равно 0,04мм/зуб, затем, при fz равно 0,08мм/зуб, значения параметра R_a увеличивались (максимальные значения), а при fz равно 0,12мм/зуб – уменьшались.

Анализ влияния стратегии фрезерования показывает, что при скорости подачи fz равно 0,04мм/зуб стратегия привела к уменьшению шероховатости поверхности алюминиевого сплава и увеличению шероховатости поверхности CFRP [40]. При скоростях подачи fz равно 0,08мм/зуб и fz равно 0,12мм/зуб стратегия привела к более низким значениям R_a для обоих материалов.

Минимальное значение параметра шероховатости поверхности R_z (3,17 мкм) после обработки по стратегии было получено на поверхности алюминиевого сплава при fz равно 0,04мм/зуб, а максимальное значение

(5,93 мкм) – на поверхности углепластика при fz равно 0,08мм/зуб. Разница между самым высоким и самым низким значениями параметра Rz составила около 47%. Результаты измерения параметра Rz для стратегии были аналогичны результатам, полученным для параметра R_a : для обоих материалов, образующих сэндвич, самые низкие значения параметра Rz наблюдались после фрезерования с наименьшим значением скорости подачи, затем при скорости подачи fz равно 0,08мм/зуб параметр Rz достиг максимальных значений, которые уменьшились при fz равно 0,12мм/зуб.

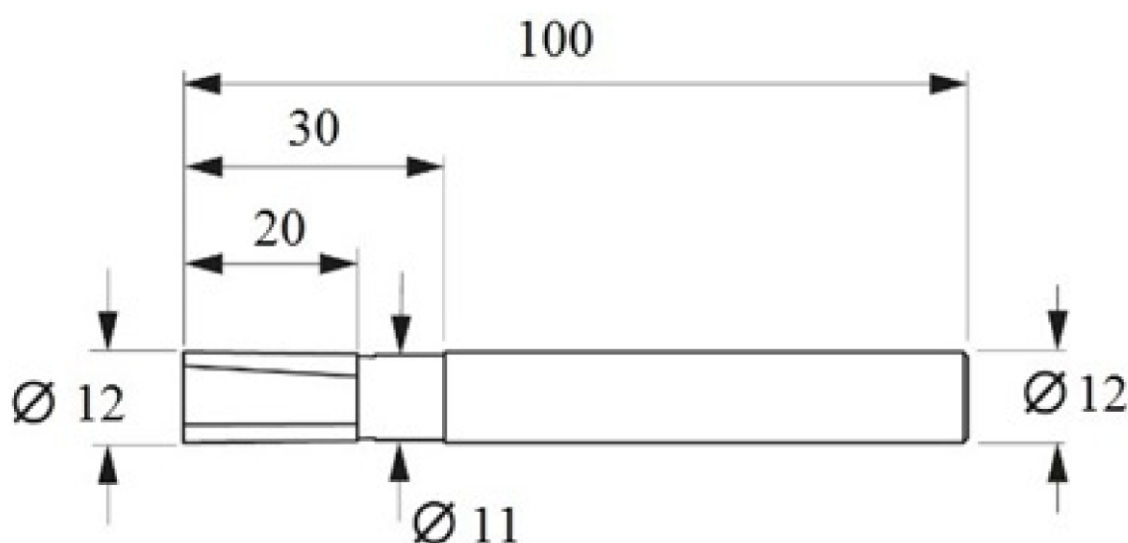


Рисунок 1 – Форма и размеры образца

В завершении хотелось бы сказать, что данная статья будет полезной из-за определения влияние подачи и стратегии обработки на шероховатость и рельеф поверхности, что в будущем поможет правильно их определять.

2 Изучение полимеров

Полимеры – это материалы, которые состоят из повторяющихся длинных цепочек молекул. Они обладают уникальными характеристиками, которые определяются способом и типом соединения молекул. Некоторые полимеры гибкие и эластичные, как резина и полиэстер, в то время как другие – крепкие и твердые, например, эпоксидные смолы и стекло [29].

Полимеры имеют отношение к практически всем аспектам современного общества [41]. Скорее всего, в течение последних пяти минут большинство людей имели дело хотя бы с одним продуктом, содержащим полимеры – от бутылок для воды до гаджетов и автомобильных шин.

Часто термин «полимер» ассоциируется с синтетическими пластиками, но стоит помнить, что также существуют природные полимеры. Согласно информации, из «Британники», резина и древесина являются примерами природных полимеров, состоящих из углеводорода изопрена.

Белки представляют собой природные полимеры, состоящие из аминокислот, а нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК), изображенные на рисунке 2, являются полимерами нуклеотидов – сложных молекул, состоящих, например, из азотсодержащих оснований, сахаров и фосфорной кислоты.

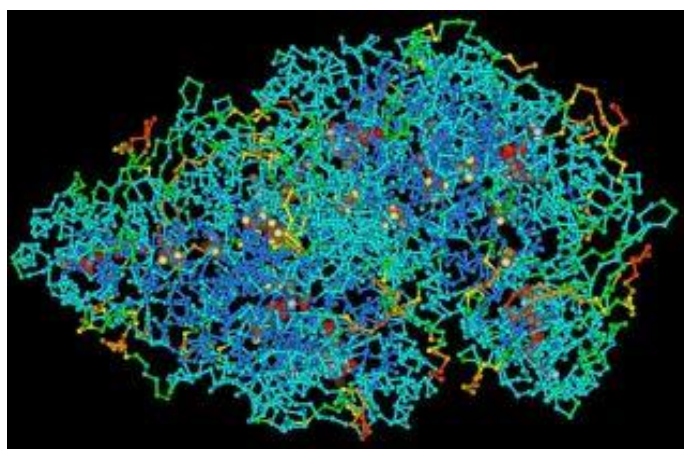


Рисунок 2 – Химическая структура полипептида – длинной цепочки аминокислот, образующей макромолекулу белка

Герман Штаудингер, профессор органической химии в Университете прикладных наук в Цюрихе, считается отцом современной науки о полимерах. Его исследования в 1920–х годах положили начало современным методам работы с природными и синтетическими полимерами [42]. Он ввел в науку два ключевых термина, которые стали основой для понимания полимеров: «полимеризация» и «макромолекулы», согласно Американскому химическому обществу (АХО). В 1953 году его заслуги были признаны Нобелевской премией по химии «за его вклад в область макромолекулярной химии».

2.1 Полимеризация

Полимеризация – это процесс образования синтетических полимеров, при котором небольшие молекулы, называемые мономерами, объединяются в цепи, удерживаемые вместе ковалентными химическими связями. Существуют две основные формы полимеризации: полимеризация со ступенчатым ростом и полимеризация с цепным ростом. Основное различие между ними заключается в том, что при полимеризации с ростом цепи молекулы мономера добавляются к цепи по одной молекуле за раз. При ступенчатой полимеризации несколько молекул мономера соединяются непосредственно друг с другом [30].

Если бы вы могли посмотреть на полимерную цепь вблизи, вы бы увидели, что визуальная структура и физические свойства молекулы цепи имитируют физические свойства полимера. Например, если полимерная цепь состоит из плотно скрученных связей между мономерами, которые трудно разорвать, то полимер, скорее всего, будет прочным и жестким [43]. С другой стороны, если полимерная цепь состоит из молекул с растяжимыми характеристиками, полимер, вероятно, будет обладать гибкими свойствами.

2.2 Свойства полимеров

В зависимости от желаемого применения, полимеры могут быть точно настроены для использования определенных преимущественных свойств. К ним относятся:

Отражающая способность: Некоторые полимеры используются для производства отражающей пленки, которая применяется в различных технологиях, связанных со светом.

Устойчивость к ударам: Прочные пластики, способные выдерживать грубое обращение, идеально подходят для изготовления багажа, защитных чехлов, автомобильных бамперов и так далее [31].

Хрупкость: Некоторые виды полистирола твердые и хрупкие и легко деформируются при нагревании.

Прозрачность: Прозрачные полимеры, включая полимерную глину, часто используются в декоративно–прикладном искусстве.

Пластичность: в отличие от хрупких полимеров, вязкие полимеры можно деформировать, не разваливая на части. Такие металлы, как золото, алюминий и сталь, известны своей пластичностью. Вязкие полимеры, хотя и не такие прочные, как другие полимеры, полезны для многих целей.

Эластичность: Натуральные и синтетические каучуки обладают эластичными свойствами, что делает их идеальными для автомобильных шин и других подобных изделий.

2.3 Сшитые полимеры

Большинство полимеров, обычно называемых пластмассами или термопластами, состоят из цепочек молекул, которые можно разрывать и соединять заново. Наиболее распространенные пластмассы можно сгибать в новые формы под воздействием тепла. Они также могут быть переработаны. Например, пластиковые бутылки из–под газировки могут быть переплавлены

и повторно использованы для изготовления различных изделий – от новых бутылок из-под газировки до ковров и флисовых курток [32].

Наоборот, полимеры, соединенные с помощью швов, не могут восстановиться после разрыва соединения между молекулами. Именно поэтому такие полимеры обычно отличаются особыми свойствами, например, повышенной прочностью, жесткостью, теплостойкостью и твердостью.

В композитных изделиях (полимер, армированный волокнами) чаще всего используются сшитые полимеры, которые называются смолой или термореактивной смолой. Наиболее распространенными полимерами, используемыми в композитах, являются полиэстер, виниловый эфир и эпоксидная смола.

2.4 Виды полимеров и их применение

К распространенным полимерам относятся:

- полипропилен (ПП): Ковры, обивка;
- полиэтилен низкой плотности (ПЭНП). Пакеты для бакалеи;
- полиэтилен высокой плотности (ПЭВП). Бутылки для моющих средств, игрушки;
- поли(винилхлорид) (ПВХ). Трубопроводы, настилы;
- полистирол (PS). Игрушки, пенопласт;
- политетрафторэтилен PTFE, тефлон). Сковороды с антипригарным покрытием, электроизоляция;
- поли(метилметакрилат) (PMMA, Lucite, Plexiglas). Защитные экраны, световые люки.

Ниже будет подробно описан каждый полимер.

2.4.1 Углеродно-цепные полимеры

Наиболее важными промышленными полимерами (например, практически все товарные пластмассы) являются полимеризованные олефины. Олефины – это углеводороды (соединения, содержащие водород [H] и углерод [C]), молекулы которых содержат пару атомов углерода, соединенных двойной связью. Чаще всего их получают из природного газа или из низкомолекулярных компонентов нефти, к ним относятся этилен, пропилен и бутен (бутилен).

Молекулы олефинов обычно представлены химической формулой $2 = CHR$, где R представляет собой атом или подвесную молекулярную группу различного состава. Как повторяющаяся единица полимерной молекулы, их химическая структура может быть представлена так как изображено на рисунке 3.

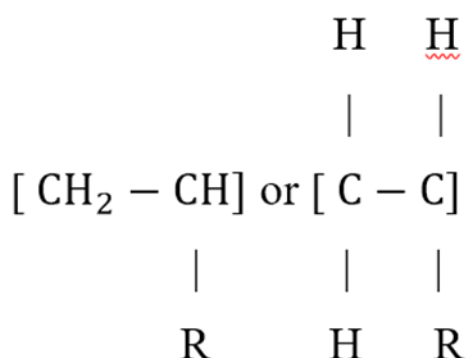


Рисунок 3 – Молекулярная структура олефинов

Состав и структура определяют, какие из огромного количества возможных свойств будет проявлять полимер.

2.4.2 Полиэтилен (ПЭ)

Этилен, обычно получаемый путем крекинга этанового газа, является основой для самого большого класса пластмасс – полиэтиленов. Мономер

этилена $2 = CH_2$; в качестве повторяющейся единицы полиэтилена он имеет следующую химическую структуру рисунок 4.

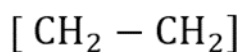


Рисунок 4 – Молекулярная структура полиэтилена

В 1899 году немецкий химик Ганс фон Пехманн наблюдал образование белого осадка при саморазложении диазометана в эфире. В 1900 году немецкие химики Ойген Бамбергер и Фридрих Чирнер идентифицировали это соединение как полиметилен, полимер, практически идентичный полиэтилену. В 1935 году британские химики Эрик Фосетт и Реджинальд Гибсон получили воскообразный, твердый полиэтилен, пытаясь провести реакцию этилена с бензальдегидом при высоком давлении. Поскольку продукт не имел большого потенциального применения, разработка шла медленно. В результате первый промышленный полиэтилен – на самом деле неравномерно разветвленный ПЭВД – был получен только в 1939 году компанией Имперская химическая промышленность (ИХМ). Впервые он был использован во время Второй мировой войны в качестве изолятора для радиолокационных кабелей.

В 1930 году Карл Шипп Марвел, американский химик, работавший консультантом в компании. Э.И. дю Пон де Немур и компания, открыл продукт высокой плотности, но компания не смогла распознать потенциал материала. В 1963 году Карл Циглер из Института исследования угля имени кайзера Вильгельма (ныне имени Макса Планка) в Мюльхайме–на–Руре, Германия, получил Нобелевскую премию по химии за изобретение линейного ПЭВП, который Циглер фактически произвел вместе с Эрхардом

Хольцкампом в 1953 году, катализируя реакцию при низком давлении металлоорганическим соединением, известным в дальнейшем как катализатор Циглера. Используя различные катализаторы и методы полимеризации, ученые впоследствии получили ПЭ с различными свойствами и структурой. Например, LLDPE был представлен компанией Филлипс Петролеум Компани в 1968 году.

Полиэтилен высокой плотности (ПЭВД) производится путем обработки газообразного этилена при экстремально высоком давлении (до 350 мегапаскалей, или 50 000 фунтов на квадратный дюйм) и высокой температуре (до 350 °C, или 660 °F) в присутствии пероксидных инициаторов. В результате этих процессов образуется полимер с характерной структурой, включающей длинные и короткие ветви. В результате ПЭВД лишь частично кристаллизуется, что позволяет получить материал с высокой гибкостью. Его основное применение – упаковочная пленка, мешки для мусора и бакалеи, сельскохозяйственная мульча, изоляция проводов и кабелей, бутылки для выдавливания, игрушки и товары для дома.

Некоторые ПЭВД подвергаются реакции с хлором (Cl) или с хлором и диоксидом серы (2), чтобы ввести хлор или хлорсульфонильные группы вдоль полимерных цепей. В результате такой модификации получается хлорированный полиэтилен (ХП) или хлорсульфонированный полиэтилен (ХП) – практически некристаллический и эластичный материал. В процессе, подобном вулканизации, сшивание молекул может осуществляться через хлор– или хлорсульфонильные группы, превращая материал в резиновое твердое вещество. Поскольку их основные полимерные цепи насыщены, эластомеры обладают высокой устойчивостью к окислению и воздействию озона, а содержание хлора придает им некоторую огнестойкость и устойчивость к набуханию под воздействием углеводородных масел. Они в основном используются для изготовления шлангов, ремней, термостойких уплотнений и тканей с покрытием.

Полученная структура имеет линейную основу, но короткие равномерные ветви, которые, как и более длинные ветви ХП, не позволяют полимерным цепям плотно прилегать друг к другу. Основными преимуществами являются менее энергоемкие условия полимеризации и возможность изменения свойств полимера путем варьирования типа и количества сомономера (мономера, сополимеризованного с этиленом [25]). В целом, ПЭНП имеет схожие свойства с ПЭВП и конкурирует на тех же рынках.

Производство полиэтилена низкой плотности (ПЭНД) выполняется при низких температурах и давлениях, используя катализаторы, такие как Циглера–Натта, металлоцены или активированный оксид хрома (также известный как катализатор Филлипса). В отсутствие ветвлений в полимерных цепях, молекулы полиэтилена тесно упакованы друг к другу, что создает прочный и высококристаллический материал с высокой прочностью и умеренной жесткостью. Используется для изготовления выдувных бутылок для молока и бытовых средств очистки, а также для литья под давлением емкостей, крышек для бутылок, корпусов приборов и игрушек.

Эти полимеры могут быть сплетены в волокна и вытянуты, или растянуты, в высококристаллическое состояние, что обеспечивает высокую жесткость и прочность на разрыв, во много раз превышающую прочность стали. Из этих волокон ткут пуленепробиваемые жилеты.

2.4.3 Полипропилен (ПП)

Эта высококристаллическая термопластичная смола образуется путем полимеризации пропилена ($CH_2 = CHCH_3$), газообразного соединения, получаемого при термическом крекинге этана, пропана, бутана или лигроиновой фракции нефти. Повторяющаяся единица полимера имеет следующую структуру, рисунок 5.

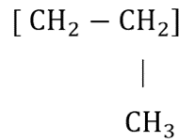


Рисунок 5 – Молекулярная структура полипропилена

Только изотактическая форма полипропилена продается в значительных количествах. (В изотактическом полипропилене все метильные [СН]группы расположены вдоль одной стороны полимерной цепи). Он производится при низких температурах и давлении с использованием катализаторов Циглера–Натта.

Полипропилен обладает некоторыми свойствами полиэтилена, но он более жесткий, имеет более высокую температуру плавления и немного более чувствителен к окислению. Значительная часть идет на производство волокон, где он является основным компонентом тканей для домашней мебели, таких как обивка и ковры для внутренних и наружных помещений. Многочисленные промышленные конечные применения существуют и для полипропиленового волокна, включая веревку и кордаж, одноразовые нетканые материалы для подгузников и медицинского применения, а также нетканые материалы для стабилизации и укрепления грунта в строительстве и при укладке дорог. Однако из-за очень низкие поглощения влаги, ограниченной способности к окрашиванию и низкой температуры размягчения (важный фактор при глажении одежды) полипропилен не является важным волокном для производства одежды.

В качестве пластика полипропилен используется для выдувного формования бутылок для пищевых продуктов, шампуней и других бытовых жидкостей. Из него также отливают под давлением многие изделия, такие как корпуса бытовой техники, контейнеры для посудомоечных машин, игрушки,

корпуса автомобильных аккумуляторов и уличная мебель. При многократном изгибе тонкого участка формованного полипропилена образуется молекулярная структура, способная выдерживать значительные дополнительные изгибы без разрушения. Эта усталостная прочность привела к созданию полипропиленовых коробок и других контейнеров с самозавинчивающимися крышками.

Изотактический полипропилен считается открытым в 1954 году итальянским химиком Джулио Натта и его ассистентом Паоло Чини, при сотрудничестве с компанией «Montecatini» (в настоящее время Montedison SpA). Они использовали катализаторы, аналогичные тем, которые были недавно разработаны Карлом Циглером для синтеза полиэтилена. За это вклад Натта был удостоен Нобелевской премии по химии в 1963 году, разделяя ее с Циглером. Коммерческое производство полипропилена компаниями «Hercules Incorporated», «Montecatini» и немецкой «Farbwerke Hoechst AG» началось в 1957 году. С начала 1980-х годов производство и потребление значительно возросли благодаря изобретению более эффективных систем катализаторов компанией «Montedison» и японской «Mitsui & Co. Ltd».

2.4.4 Полистирол (ПС)

Эта жесткая, относительно хрупкая термопластичная смола полимеризуется из стирола (СНС). Стирол, также известный как фенилэтилен, получают путем реакции этилена с бензолом в присутствии хлорида алюминия с получением этилбензола, который затем дегидрогенизируется с получением прозрачного, жидкого стирола. Мономер стирола полимеризуется с использованием свободно-радикальных инициаторов преимущественно в объемных и суспензионных процессах, хотя также применяются растворные и эмульсионные методы. Структура повторяющейся единицы полимера может быть представлена как на рисунке 6.

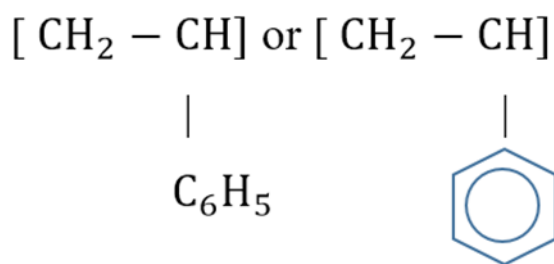


Рисунок 6 – Молекулярная структура полистирола

Наличие подвесных фенильных (C₆H₅) групп является ключевым фактором, определяющим свойства полистирола. Эти большие кольцеобразные группы не дают полимерным цепям упаковываться в плотные кристаллические структуры, поэтому твердый полистирол прозрачен. Кроме того, фенильные кольца ограничивают вращение цепей вокруг углерод–углеродных связей, что придает полимеру отмеченную жесткость.

Полимеризация стирола известна с 1839 года, когда немецкий фармацевт Эдуард Симон сообщил о его превращении в твердый стирол, позже переименованный в метастирол. Уже в 1930 году полимер не нашел коммерческого применения из-за хрупкости и крейзинга (минутного растрескивания), которые были вызваны примесями, приводящими к сшиванию полимерных цепей. К 1937 году Роберт Драйсбах и другие сотрудники физической лаборатории компании «Dow Chemical Company» очистили мономер и разработали пилотный процесс получения полимера, который к 1938 году стал производиться в промышленных масштабах.

Узнайте о причинах, по которым пенополистирол (полистирол) не перерабатывается так часто, как это могло бы быть из вспененного полистирола, делают изоляцию, упаковку и пищевые контейнеры, такие как стаканчики для напитков, яичные коробки, одноразовые тарелки и подносы. Продукция из твердого полистирола включает в себя литые под давлением пищевые принадлежности, держатели для аудиокассет и футляры для

упаковки компакт-дисков. Многие продукты питания упаковываются в прозрачные лотки из полистирола вакуумной формовки, благодаря высокой газопроницаемости и хорошей пропускаемости водяного пара.

Более половины всего производимого полистирола смешивается с 5–10% полибутадиена для снижения хрупкости и повышения ударной прочности. Эта смесь продается как высокоударный полистирол.

2.4.5 Поливинилхлорид (ПВХ)

Занимая второе место после полиэтилена по объему производства и потребления, ПВХ производится методом объемной, растворной, суспензионной и эмульсионной полимеризации мономера винилхлорида с использованием свободно радикальных инициаторов. Винилхлорид ($CH_2 = CHCl$) чаще всего получают путем реакции этилена с кислородом и хлористым водородом на медном катализаторе. Это канцерогенный газ, при работе с которым необходимо соблюдать специальные защитные процедуры. Химическая структура полимера, как повторяющейся единицы, представлено на рисунке 7.

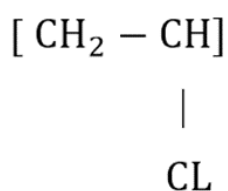


Рисунок 7 – Молекулярная структура поливинилхлорида

Повторяющиеся единицы имеют линейное расположение в гомополимере, показанное на рисунке 7.

Первоначально поливинилхлорид (ПВХ) был создан немецким химиком Ойгеном Бауманном в 1872 году, но только в 1913 году этот материал был официально запатентован. Фридрих Генрих Август Клатте использовал

солнечный свет для активации процесса полимеризации винилхлорида. Тем не менее, из-за его жесткости коммерческий интерес к ПВХ был ограничен. В 1926 году Уолдо Лонсбери Семон, работая в компании «B.F. Goodrich Company», случайно создал пластифицированный ПВХ в процессе дегидрогалогенирования. Это придавало новому материалу гибкость и химическую инертность, что послужило основой его коммерческого успеха. Еще одним способом получения гибкого ПВХ была сополимеризация. В 1930 году компания «Union Carbide» разработала сополимер винилхлорида и винилацетата, который стал стандартным материалом для производства долгоиграющих грампластинок.

Чистый поливинилхлорид (ПВХ) находит широкое применение в строительстве благодаря своей жесткости и низкой воспламеняемости. Он используется для производства труб, кабелей, сайдинга, оконных рам и дверных коробок. В сочетании с пластификатором (иногда в концентрации до 50 процентов) он знаком потребителям как напольная плитка, садовый шланг, обивка из искусственной кожи и занавески для душа.

2.4.6 Полиакрилонитрил (ПАН)

Акрилонитрил ($\text{CH}_2=\text{CHCN}$), соединение, получаемое в результате реакции пропилена с аммиаком (NH_3) и кислородом в присутствии катализаторов, полимеризуется в полиакрилонитрил суспензионным методом с использованием свободно-радикальных инициаторов. Структура повторяющейся единицы полимера, представлена на рисунке 8.

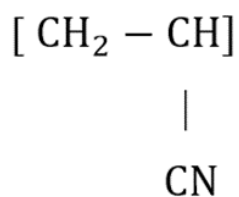


Рисунок 8 – Молекулярная структура полиакрилонитрила

Большая часть полученного полимера используется в акриловых волокнах, которые определяются как волокна, содержащие 85% или более ПАН. Поскольку ПАН трудно растворяется в органических растворителях и очень устойчив к окрашиванию, производится очень мало волокон, содержащих только ПАН. С другой стороны, сополимер, содержащий ПАН и 2 – 7% винилового сомомера, такого как винилацетат, может быть легко спряден в волокна, которые достаточно мягкие для проникновения красителей. Акриловые волокна мягкие и гибкие, из них получается легкая и пышная пряжа. Такие свойства очень похожи на свойства шерсти, поэтому акриловые волокна чаще всего используются в одежде и коврах в качестве замены шерсти, например, в вязаных изделиях, таких как свитера и носки. Акриловые волокна продаются дешевле натуральных волокон, они обладают лучшей светостойкостью, устойчивостью к плесени и нападению моли. Акриловые волокна также используются в качестве прекурсоров для производства углеродных и графитовых волокон, в качестве замены асбеста в цементе, а также в промышленных фильтрах и сепараторах батарей.

Акрилы, модифицированные галогенсодержащими сомомерами, такими как винилхлорид или винилиденхлорид, классифицируются как модакрилы. (По определению, модакрилы содержат более 35 – 85% ПАН). Хлор придает волокну заметную огнестойкость – преимущество, которое делает модакрилы востребованными для таких изделий, как детская одежда для сна, одеяла, тенты и палатки. Однако они не так широко используются, как простые акрилы, из-за их более высокой стоимости и некоторой чувствительности к теплу (например, при глажке).

2.4.7 Полиметилметакрилат (ПММА)

Метилметакрилат полимеризуется объемным или суспензионным методом с использованием свободно-радикальных инициаторов. В качестве полимерной повторяющейся единицы его структура, представленная на рисунке 9.

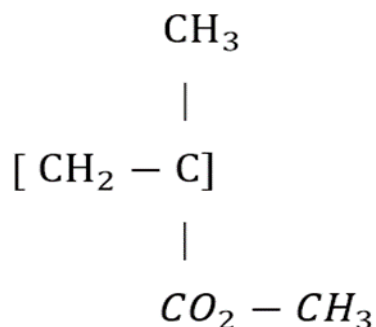


Рисунок 9 – Молекулярная структура полиметилметакрилата

Присутствие метильных (CH₃) групп препятствует плотной кристаллической упаковке полимерных цепей и их свободному вращению вокруг углерод–углеродных связей. В результате ПММА является прозрачным и жестким пластиком. Поскольку он сохраняет эти свойства в течение многих лет под воздействием ультрафиолетового излучения и погодных условий, ПММА является идеальной заменой стеклу. Наиболее успешным применением является использование ПММА в рекламно-информационных указателях с внутренней подсветкой. ПММА также используется в куполообразных световых люках, ограждениях бассейнов, навесах самолетов, приборных панелях и светящихся потолках. Для этих целей пластик продается в виде листов, которые подвергаются механической обработке или термоформовке, но он также отливается под давлением в фары и задние фонари и крышки осветительных приборов.

2.4.8 Политетрафторэтилен (ПТФЭ)

ПТФЭ был открыт случайно в 1938 году химиком компании DuPont Роем Планкеттом, который обнаружил, что баллон газообразного тетрафторэтилена (CF₂ = CF₂) полимеризовался в белый порошок. Во время Второй мировой войны он применялся в качестве антикоррозийного покрытия для защиты металлического оборудования, используемого в производстве

радиоактивных материалов. Компания DuPont выпустила свою посуду с антипригарным покрытием Teflon под торговой маркой в 1960 году.

ПТФЭ изготавливается из газообразного мономера тетрафторэтилена с использованием методов суспензии или раствора под высоким давлением в присутствии свободно-радикальных инициаторов. По структуре полимер похож на полиэтилен, состоящий из углеродной цепи с двумя атомами фтора, связанными с каждым углеродом, представлено на рисунке 10.

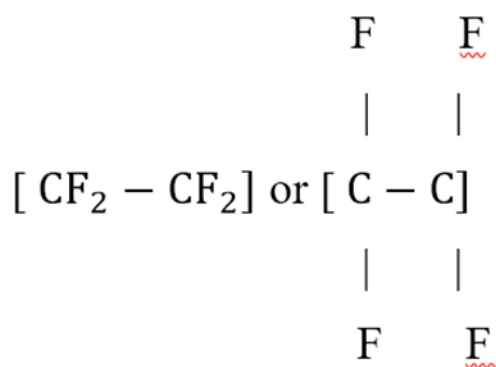


Рисунок 10 – Молекулярная структура политетрафторэтилена

Атомы фтора окружают углеродную цепь как оболочка, образуя химически инертный и относительно плотный продукт с очень прочными связями углерод–фтор. Полимер инертен к большинству химических веществ, не плавится при температуре ниже 300° C (575° F) и имеет очень низкий коэффициент трения. Эти свойства позволяют использовать его для втулок и подшипников, не требующих смазки, в качестве вкладышей для оборудования, используемого при хранении и транспортировке сильных кислот и органических растворителей, в качестве электроизоляции при высоких температурах, а также в привычном применении в качестве поверхности для приготовления пищи, не требующей использования жиров или масел.

Изготовление изделий из ПТФЭ затруднено, поскольку материал плохо течет даже при повышенных температурах. Одним из успешных методов является компрессионное формование тонких порошков в присутствии летучих смазочных веществ. Для покрытия металлических варочных поверхностей используются водные дисперсии мелких частиц.

2.4.9 Полибутадиен (бутадиеновый каучук, БК)

Бутадиен ($CH_2 = CH - CH = CH_2$) производится путем дегидрогенизации бутена или бутана или путем крекинга нефтяных дистиллятов. Он полимеризуется в полибутадиен растворным методом с использованием анионных инициаторов или инициаторов Циглера–Натта. Как и другие диеновые полимеры, полибутадиен является изомерным – он может быть получен с более чем одной молекулярной структурой. Распространенной эластомерной структурой является полибутадиен, повторяющаяся единица которого имеет следующую структуру, рисунок 11.

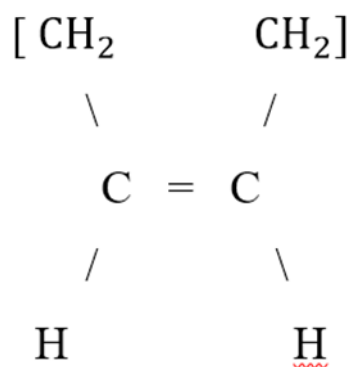


Рисунок 11 – Молекулярная структура полибутадиена

Молекулярная структура полибутадиена в качестве повторяющейся единицы в полимере.

Две другие структуры – это «боковые виниловые» изомеры.

Полибутадиен может быть произведен с высоким содержанием изомера 95% или с смешанным составом, включающим только 35%, 55% транс и 10% «бокового винила». У этих двух видов полимеров совершенно разные свойства. Оба они обладают более высокой упругостью по сравнению с другими эластомерами, однако упругость смешанного изомерного полимера немного ниже. Кроме того, смешанный полимер никогда не кристаллизуется, поэтому изделия, изготовленные из него без армирующих наполнителей, таких как технический углерод, обычно обладают низкой прочностью и хрупкостью. Оба материала демонстрируют хорошую стойкость к истиранию. Большая часть производимого полибутадиена смешивается с натуральным каучуком (полиизопреном) или со стирол–бутадиеновым каучуком для повышения упругости и снижения сопротивления качению. Более половины всего объема использования приходится на шины; другие области применения – обувь, изоляция проводов и кабелей и конвейерные ленты.

2.4.10 Целлюлоза

Целлюлоза ($C_6H_7O_2[OH]$) – это встречающийся в природе полимер, состоящий из повторяющихся единиц глюкозы. В своем естественном состоянии (известном как нативная целлюлоза) она уже давно используется в качестве коммерческого волокна – как в хлопке, льне, конопле, капоке, сизале, джуте и рами. Древесина, состоящая из целлюлозы в сочетании со сложным сетевым полимером под названием лигнин, является распространенным строительным материалом. Бумага также производится из целлюлозы. Хотя это линейный полимер, целлюлоза является терморезистивным материалом, то есть она образует постоянные, связанные структуры, которые не могут быть ослаблены под воздействием тепла или растворителей без химического разложения. Ее терморезистивное поведение обусловлено сильными дипольными притяжениями, существующими между молекулами целлюлозы, что придает ей свойства, аналогичные свойствам взаимосвязанных сетевых полимеров.

В 19 веке были разработаны методы химического отделения древесной целлюлозы от лигнина и последующей регенерации целлюлозы до ее первоначального состава для использования в качестве волокна (вискоза) и пластика (целлофан). Эфирные и эфирные производные целлюлозы также были разработаны и использованы в качестве волокон и пластмасс. Наиболее важными соединениями были нитрат целлюлозы (нитроцеллюлоза, из которой делают целлулоид) и ацетат целлюлозы (ранее известный как ацетат вискозы, а теперь просто как ацетат). Оба этих химических производных были основаны на структуре целлюлозы. На рисунке 12 представлена молекулярная структура целлюлозы.

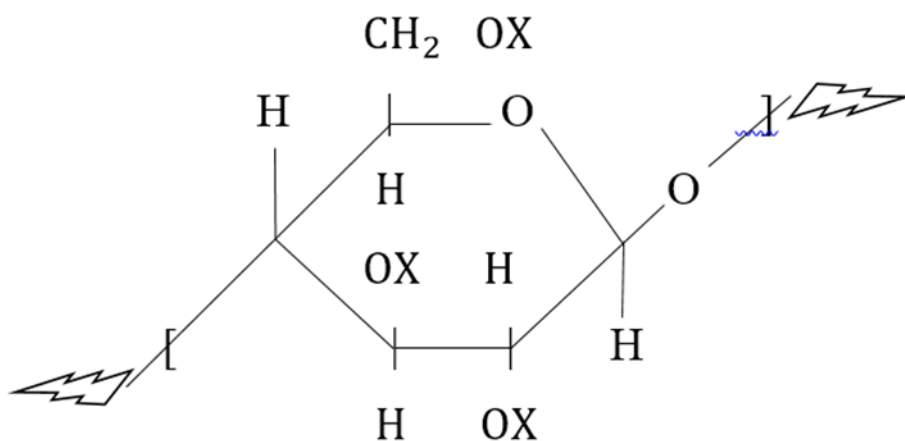


Рисунок 12 – Молекулярная структура целлюлозы

Молекулярная структура целлюлозы в качестве повторяющейся единицы в полимере.

2.4.11 Полиэфиры

Полиэфиры – это полимеры, полученные в результате реакции конденсации между мономерами, в которой связь между молекулами происходит через образование сложноэфирных групп. Эфиры, которые почти во всех случаях связывают органический спирт с карбоновой кислотой, имеют общую структуру, представленную на рисунке 13.

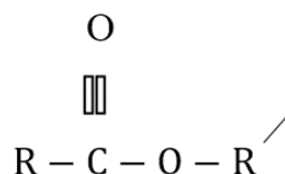


Рисунок 13 – Молекулярная структура полиэфира

На рисунке 13, представлена химическая формула. Где R и R' – любые органические сочетающие группы. К основным промышленным полиэфирам относятся полиэтилентерефталат, поликарбонат, разлагаемые полиэфиры, алкиды и ненасыщенные полиэфиры.

2.4.12 Полиэтилентерефталат (ПЭТ)

ПЭТ производится путем ступенчатой полимеризации этиленгликоля и терефталевой кислоты. Большие бензольные кольца, присутствующие в повторяющихся единицах, придают полимеру заметную прочность и жесткость, особенно в случае, если молекулы полимера упорядоченно ориентированы друг относительно друга через вытягивание (растяжение).

В этой полукристаллической форме, представленной на рисунке 14 ПЭТФ превращается в высокопрочное текстильное волокно, продаваемое под такими торговыми марками, как «Dacron» и «Terylene».

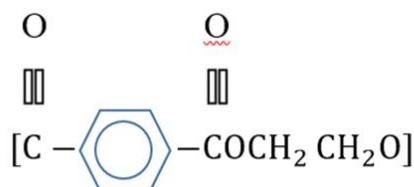


Рисунок 14 – Молекулярная структура полиэтилентерефталата

Благодаря жесткости волокон ПЭТ, ткани приобретают высокую устойчивость к деформации, что особенно ценится при сминании. Чтобы еще более усилить свойства тканей из вискозы, шерсти, хлопка и других волокон, часто используют смесь с волокнами ПЭТ. Благодаря этому ткани получают возможность быстро восстанавливаться после сминания и имеют лучшую устойчивость в целом.

Из ПЭТ также делают волокнистый наполнитель для утепленной одежды, мебели и подушек. В виде очень тонких нитей он используется в производстве искусственного шелка, а в виде нитей большого диаметра – в производстве ковров. Среди промышленных применений ПЭТ – нити для автомобильных шин, конвейерные и приводные ремни, арматура для пожарных и садовых шлангов, ремни безопасности (в этой области он в значительной степени заменил нейлон), нетканые материалы для стабилизации дренажных канав, водопропускных труб и железнодорожного полотна, а также нетканые материалы для использования в качестве подгузников и одноразовой медицинской одежды. ПЭТ является самым важным из искусственных волокон по весу и стоимости.

При несколько более высоком молекулярном весе из ПЭТ получают высокопрочный пластик, который можно формовать всеми обычными методами, применяемыми для других термопластов. Лента для записи и магнитная пленка производятся путем экструзии пленки ПЭТ (часто продается под торговыми марками «Mylar» и «Melinex»). Расплавленный полиэтилентерефталат (ПЭТ) может быть формован выдувным способом в прозрачные контейнеры с высокой прочностью и жесткостью, обладающие также отличной газо- и жидко-степроницаемостью. Такой тип ПЭТ широко применяется для изготовления бутылок для газированных напитков и банок для пищевых продуктов, требующих низких температур обработки. Кроме того, ПЭТ является одним из наиболее легко перерабатываемых пластиков. ПЭТ был впервые создан Дж. Рексом Уинфилдом и Джеймсом Т. Диксоном в Англии, в рамках исследования фталевой кислоты, которое началось в 1940

году в Ассоциации печатников бязи. Материал, получивший название терилен, не был открыт военными ограничениями, и его производство началось только в 1954 году. В это же время, компания DuPont самостоятельно разработала процесс получения терефталевой кислоты, и в 1953 году начала производство дакрона.

2.4.13 Поликарбонат (ПК)

ПК, продаваемый под торговыми марками «Lexan» и «Merlon», является особым типом полиэфира, используемого в качестве инженерного пластика. Он обладает исключительной жесткостью, в основном благодаря тому, что в полиэфирную цепь включено больше ароматических колец (представлен на рисунке 15):

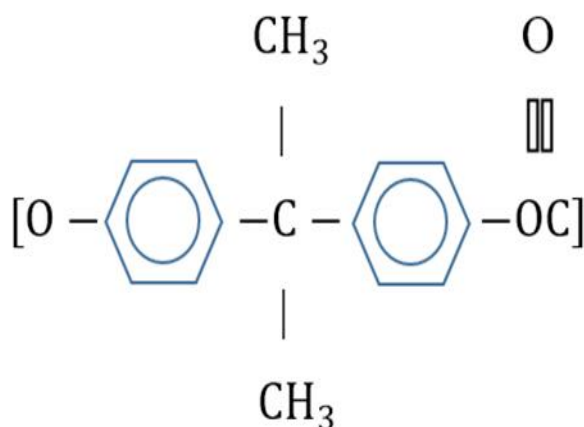


Рисунок 15 – Молекулярная структура поликарбоната

Эта структура получается в результате реакции бисфенола А, ароматического производного бензола, с фосгеном, высокореакционным и токсичным газом.

Поликарбонат отличается высокой прозрачностью и ударопрочностью, превосходящей многие другие материалы. Его можно изготавливать различными способами, включая литье под давлением, выдувное формование и экструзию. Благодаря этим свойствам, поликарбонат применяется для

создания больших емкостей для хранения воды, надежных окон, защитных экранов и шлемов. Он является предпочтительным пластиком для литья под давлением компакт-дисков.

2.4.14 Полифениленоксид (PPO)

PPO получают путем окислительного присоединения мономера фениленоксида, рисунок 16.

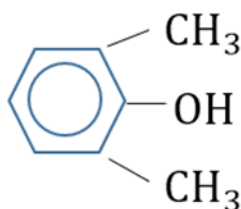


Рисунок 16 – Молекулярная структура

С использованием кислорода и катализатора на основе меди. Полимер смешивается с полистиролом для получения высокопрочного, влагостойкого инженерного пластика, продаваемого компанией General Electric Co. под торговым названием Noryl. Он используется в телекоммуникационном и компьютерном оборудовании, автомобильных деталях, приборах, трубах и клапанах.

2.4.15 Полисилоксаны (силиконы)

Полисилоксаны – это полимеры, основа которых состоит из чередующихся атомов кремния и кислорода. Хотя к атомам кремния присоединены органические заместители, отсутствие углерода в основах цепей превращает полисилоксаны в необычные «неорганические» полимеры. Полиолефины могут существовать в различных формах, включая эластомеры, смазки, смолы, жидкости и клеи. Их выдающаяся инертность, устойчивость к

воде и окислению, а также способность сохранять стабильность при высоких и низких температурах, способствовали их широкому применению в коммерческих целях.

Силоксаны были впервые охарактеризованы как макромолекулы английским химиком Фредериком Стэнли Киппингом в 1927 году. Поскольку Киппинг считал, что структура повторяющейся единицы по сути является структурой кетона (то есть полимерные цепи образованы атомами кремния, к которым атомы кислорода присоединены двойными связями), он неправильно назвал их силиконами, и это название сохранилось до сих пор. В 1943 году Юджин Джордж Рочоу в лаборатории «General Electric Company» в Скенектади, штат Нью-Йорк, США, получил силиконы путем гидролиза диалкилдиметоксисилана – кольцевой процесс, который он запатентовал в 1945 году и который остается основой современных методов полимеризации.

Наиболее распространенный силоксановый полимер, полидиметилсилоксан, образуется, когда атомы хлора мономера, дихлордиметилсилана ($CL_2Si[CH_3]$), заменяются гидроксильными (ОН) группами в результате гидролиза. Образующееся в результате нестабильное соединение, силанол ($CL_2Si[CH_3]$), конденсируется ступенчато, образуя полимер, с одновременной потерей воды. Также образуются некоторые циклические продукты, которые очищаются дистилляцией и превращаются в полисилоксан путем кольцевой полимеризации. Повторяющаяся единица полидиметилсилоксана имеет следующую структуру, представленного на рисунке 17 силоксанового полимера, полидиметилсилоксана.

Молекулы силоксана свободно вращаются вокруг связи Si–O, поэтому даже при наличии виниловых, метиловых или фенильных групп, присоединенных к атомам кремния, молекула обладает высокой гибкостью. Кроме того, связь Si–O обладает высокой термостойкостью и не подвергается воздействию кислорода или озона. В результате силиконовые каучуки очень стабильны, имеют самую низкую температуру стеклования и самую высокую проницаемость для газов среди всех эластомеров. С другой стороны, связь Si–

О подвержена гидролизу и воздействию кислот и щелочей, а вулканизаты резины относительно слабые и легко набухают под воздействием углеводородных масел.

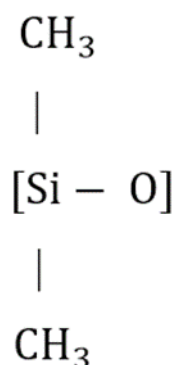


Рисунок 17 – Молекулярная структура

Невулканизированные низкомолекулярные полисилоксаны являются отличными смазочными материалами и гидравлическими жидкостями и известны как силиконовые масла. Вулканизированный силиконовый каучук получают в двух основных формах: в виде низкомолекулярных жидких вулканизирующихся при комнатной температуре (RTV) полимеров, которые соединяются при комнатной температуре после литья или формовки в желаемую форму, или в виде термоотверждаемых, вулканизирующихся при высокой температуре (HTV) эластомеров с более высокой вязкостью, которые смешиваются и обрабатываются как другие эластомеры. Эластомеры RTV обычно соединяются с помощью реактивных виниловых концевых групп, в то время как материалы HTV обычно соединяются с помощью пероксидов. Силиконовая резина используется в основном в уплотнительных кольцах, термостойких уплотнениях, конопатках и прокладках, электроизоляторах, гибких формах и (благодаря своей химической инертности) хирургических имплантатах.

2.5 Применение полимеров

Практически везде в современном мире используются полимеры. Полимеры широко применяются в различных областях, включая упаковку продуктов, бутылки для напитков, текстильные волокна, электронику (такие как телефоны и компьютеры), автомобильные детали и игрушки. Они также играют важную роль в более сложных технологиях, таких как мембраны для опреснения воды, носители для контролируемого высвобождения лекарств и биополимеры для тканевой инженерии.

Популярными полимерами для производства являются полиэтилен и полипропилен, молекулы которых могут содержать от 10 000 до 200 000 мономеров. В процессе полимеризации большое количество мономеров объединяется ковалентными связями, образуя одну длинную молекулу – полимер.

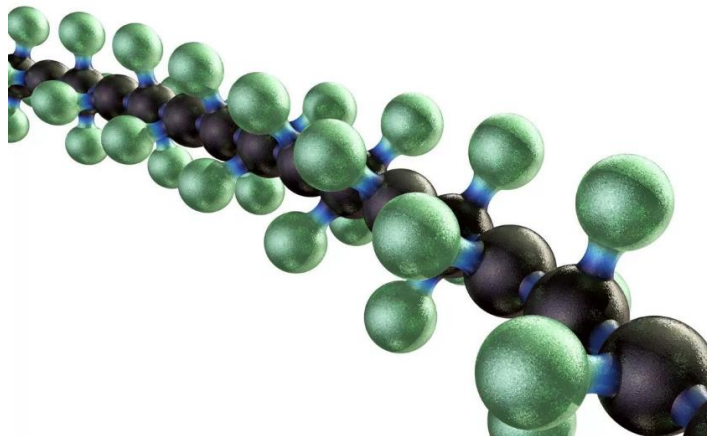


Рисунок 18 – Молекула полимера

Индекс «*n*» или «*p*» и две черточки в химической формуле полимера указывают на структурное звено и степень полимеризации.

2.6 Будущее полимеров

Исследователи активно экспериментируют с различными типами полимеров, стремясь продвигать развитие медицины и усовершенствовать продукты, которые мы уже используем. Например, углеродные полимеры (как показано на рисунке 19) подвергаются разработке и усовершенствованию для применения в автомобильной промышленности.

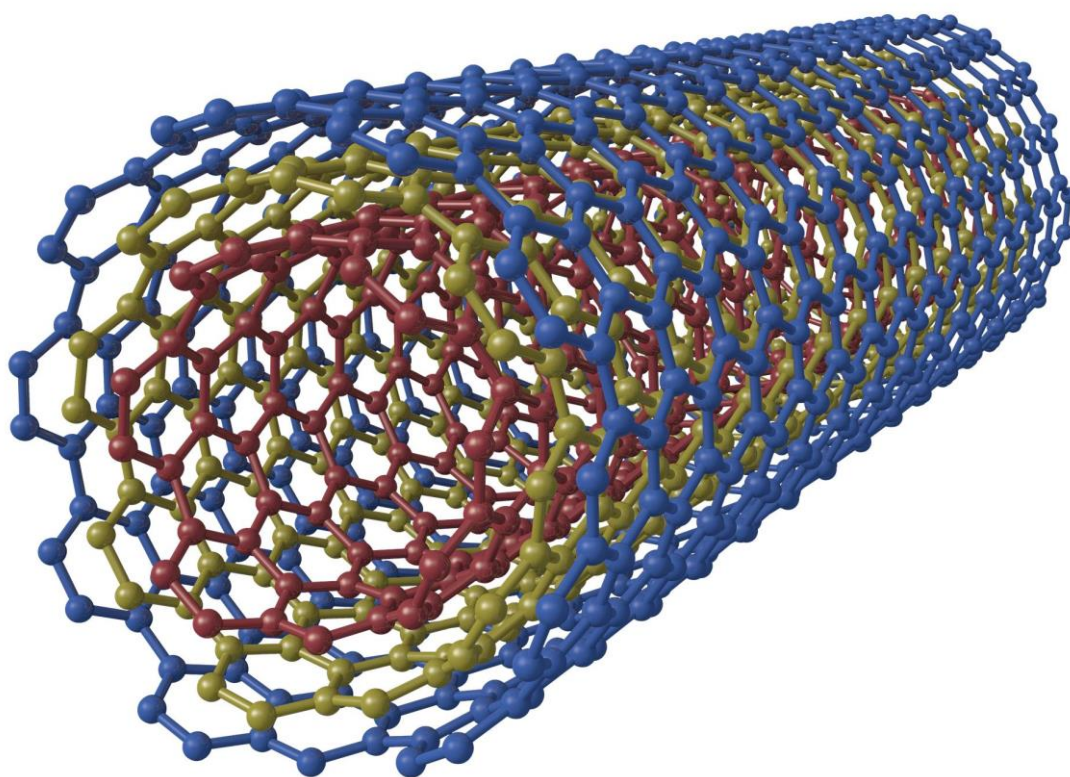


Рисунок 19 – Углеродный полимер

«Композитные материалы, усиленные углеродными волокнами (УУВ), также известные как карбоновые композиты, представляют собой новое поколение материалов, которые способствуют созданию более легких, эффективных и безопасных автомобилей», – отмечается в статье «Live Science» 2016 года. Гибкие полимерные материалы обогащают голограммы, а

исследователи из Университета Пенсильвании применили полиметилметакрилат, включая золотые наностержни, для создания новых голограммных устройств не только с одним, но и с несколькими изображениями, как описано в исследовании, опубликованном в журнале «Nano Letters» в начале 2017 года.

Представленный на рисунке 20 силиконовый полимер, используемый для создания искусственной кожи, может иметь большое будущее в борьбе со старением. Исследование, опубликованное в журнале «Nature Materials» в мае 2016 года, утверждает, что с использованием двух видов кремов на основе этого полимера можно увеличить упругость кожи, уменьшить морщины и снизить отечность под глазами. Такая искусственная кожа также может быть полезной для помощи людям с кожными заболеваниями, такими как экзема, или как средство для защиты от солнца.



Рисунок 20 – Силиконовый полимер в виде гранул

В современном производстве деталей на фрезерном станке играет роль точности, качество итого изделия и производительность станка, оптимальные критерии выполняются при проведении расчётов:

- подачи;
- скорости резания;
- глубины резания.

Не соответствие расчётам или не желанием их проводить приводит к физическому браку итоговых изделий и не попадания в допуски.

В данной научно–исследовательской работе для решения проблемы будут приняты следующие шаги:

- проведены теоретических расчётов фрезерования;
- сравнение нескольких расчёты с целью выбора оптимального режима фрезерования;
- сравнение по техническим характеристикам фрезы разных марок.

3 Теоретические расчёты фрезерования

Определение оптимального режима резания при точении на фрезерном станке с 5–ой осью будет проводится в специализированной программе, ядро прикладной программы которой составляет математическая модель, представленная в формулах 1–7.

$$nS^{y_v} = \frac{318C_v k_v}{DT^m H^{x_v}}. \quad (1)$$

При разработке математических моделей важно учитывать размерности входящих физических величин. В традиционной теории резания иногда могут использоваться размерности, которые отличаются от системы Международных единиц (SI). Это может быть связано с тем, что в различных областях науки и инженерии могут применяться разные системы единиц или стандарты, и математические модели могут быть адаптированы к конкретным условиям и требованиям исследования [33].

Однако при применении математических моделей и проведении экспериментов всегда необходимо учитывать соответствие размерностей и переводить значения физических величин в нужные единицы измерения, чтобы обеспечить корректные и интерпретируемые результаты. Важно уделять внимание этому аспекту при анализе и использовании математических моделей в различных областях науки и техники.

Так, в зависимости частота вращения – n (об/мин), подача – S (мм/об), глубина резания – H (мм), период стойкости – T (мин), диаметр заготовки – D (мм).

Мощность резания N_p (кВт):

$$N_p = \frac{P_z \pi D n}{1000 \cdot 6 \cdot 10^4} = \frac{C_p H^{x_p} S^{y_p} k_p \pi D n}{6 \cdot 10^7} \leq N_{cm} \eta, \quad (2)$$

откуда

$$nS^{y_p} \leq \frac{1.91 \cdot 10^7 N_{cm} \eta}{C_p H^{x_p} k_p D}, \quad (3)$$

где N_{cm} – эффективная мощность станка в кВт, η – коэффициент полезного действия, C_p , k_p , x_p , y_p – коэффициенты и показатели степени эмпирической зависимости силы резания от режима обработки.

Подачу, которая допускается при необходимой шероховатости обработки, можно определить с использованием численного метода, основанного на алгоритме, описанном в источнике [1].

Алгоритм модифицирован так, что выполняет расчет параметра R_z в цикле, начиная с наименьшей подачи, которая обеспечивается механизмом подач станка. Затем, величина подачи увеличивается с выбранным малым шагом до тех пор, пока параметр R_z не станет равным заданному в исходных условиях обработки. Эта величина подачи и принимается в качестве допустимой [2]. Алгоритм, в отличие от представленного ранее, учитывает только детерминированную составляющую высоты микронеровностей, поэтому расчетное значение допускаемой подачи уменьшено на 25%. Таким образом, ограничение, накладываемое на продольную подачу (мм/об):

$$S \leq [S_{R_z}]_{дон}. \quad (4)$$

где $[S_{R_z}]_{дон}$ – допустимая подача, при которой параметр R_z шероховатости соответствует заданному.

Следующее ограничение, связанное с продольной подачей, определяется на основе требований к прочности и жесткости инструмента и обрабатываемого материала, описанных в источнике [4]. Например, подача по максимальной силе P_n , допускаемой приводом подачи станка, может быть рассчитана по следующей зависимости:

$$[S_P]_{\text{доп}} = \left(\frac{2P_n}{C_p H^{X_p} k_p} \right)^{\frac{1}{Y_p}}.$$

В итоге допускаемая подача выбирается как наименьшая из подач, рассчитанных по прочности инструмента $[S_u]_{\text{доп}}$ тяговой силе механизма подачи станка $[S_P]_{\text{доп}}$ и жесткости заготовки $[S_3]_{\text{доп}}$:

$$S \leq \min\{ [S_P]_{\text{доп}}, [S_u]_{\text{доп}}, [S_3]_{\text{доп}} \}. \quad (5)$$

Конструктивные ограничения, которые определяются на основе кинематических возможностей металлорежущего станка:

диапазон продольных подач:

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max}, \quad (6)$$

диапазон частот вращения шпинделя:

$$n_{\min} \leq n \leq n_{\max}. \quad (7)$$

В качестве оценочной функции по критерию максимальной производительности принимают

$$f = nS \rightarrow \max, \quad (8)$$

Данные формулы помогли для написания прикладной программы, в которой было найден оптимальный режим фрезерования.

3.1 Эксперимент, проводимый по полученным данным

Для проведения эксперимента возьмём исходные данные из таблицы 1 (параметры станка были взяты с сайта изготовителя, а остальные данные были

взяты из учебной литературы) и запишем их в программу, интерфейс которой изображён на рисунке 21. Эксперимент будет проводиться на фрезерном станке с 5–ой осью, где предусмотрено точение [3].

Таблица 1 – Исходные данные

Параметры станка						Процесс резания			Резец		
N, кВт	$P_{п, Н}$	n_{min} , об/мин	n_{max} , об/мин	S_{min} , мм/об	S_{max} , мм/об	T, мин	Rz, мкм	D, мм	φ , град	φ_1 , град	r, мм
0.4	5000	400	1200	0,01	0,8	60	20	60	45	40	0,4
Коэффициенты и показатели степени в зависимости для силы резания						Коэффициенты и показатели степени в зависимости для стойкости резца					
C_{Pz}	x_{Pz}	y_{Pz}	k_{Pz}	C_v	x_v	y_v	k_v	m			
2800	0,80	0,70	1,15	380	0,20	0,24	0,94	0,21			

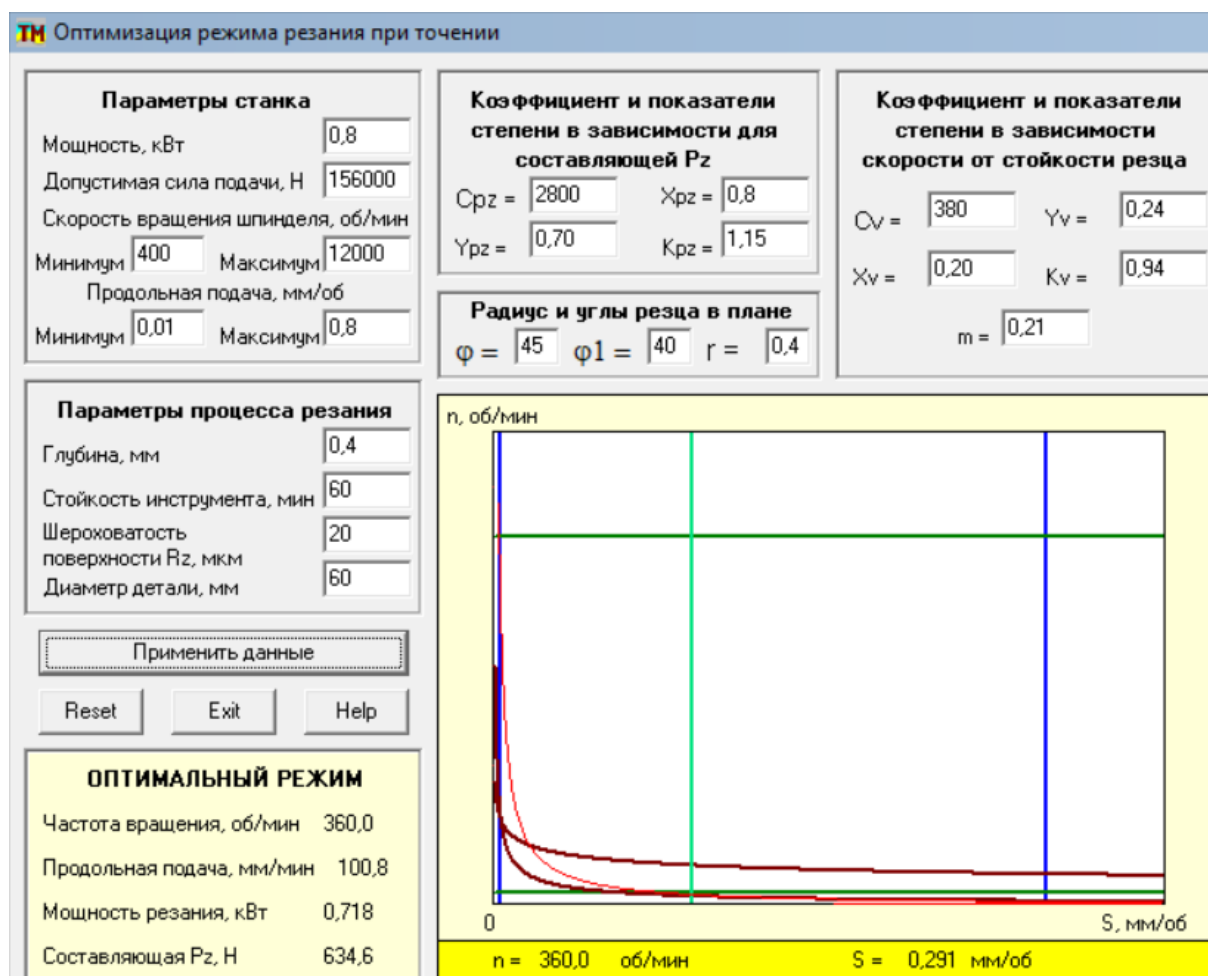


Рисунок 21 – Интерфейс программы

На данном рисунке оптимальный режим резания при глубине 0,4 мм.

Эксперимент мы провели, меняя глубину резания с 0,4 до 0,28 мм, получившейся данные были занесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента

№	H, мм	$n_{\text{опт}}$, об/мин	$S_{\text{мин}}$, мм/мин	$N_{\text{рез}}$, кВт	P_z , Н
1	0,4	360	100,8	0,718	651,4
2	0,8	120	34,9	0,428	1134,2
3	0,12	780	226,7	0,609	248,6
4	0,16	540	154,1	0,524	309
5	0,20	420	122,1	0,494	374,2
6	0,24	300	87,2	0,408	432,9
7	0,28	180	51,8	0,275	486,6

После проведения экспериментов мы взяли данные и наглядно продемонстрировали их на диаграммах. К каждой диаграмме был дан соответствующий вывод.

В диаграмме, представленной на рисунке 22 идёт сравнения оптимальных режимов резания от глубины резания.

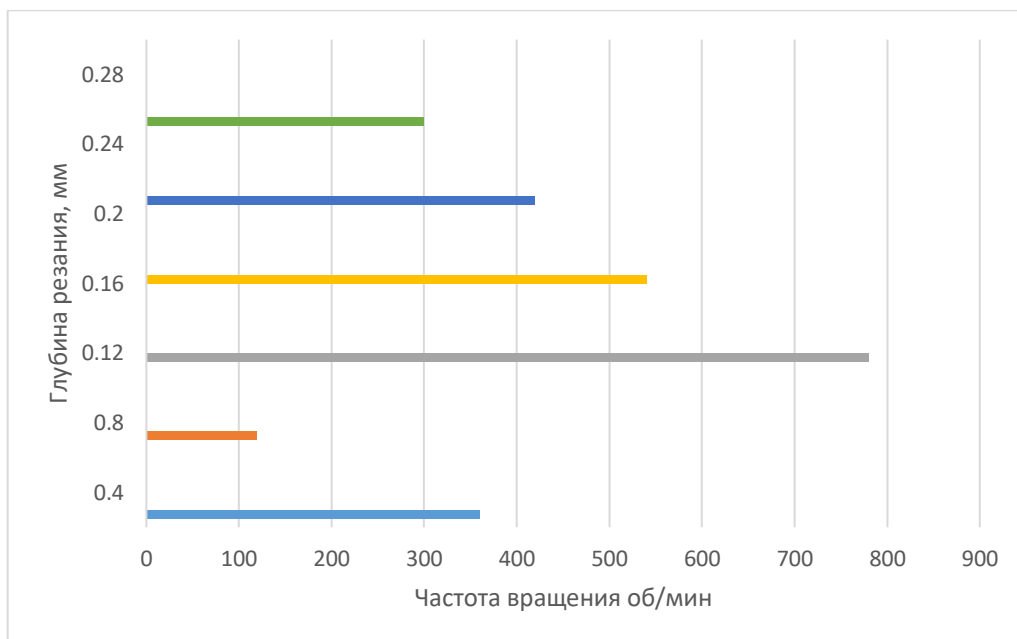


Рисунок 22 – Диаграмма зависимости частоты вращения от глубины резания

Как мы можем заметить максимальная частота вращения будет при глубине резания в 0,2 мм.

В диаграмме, представленной на рисунке 23 идёт сравнения зависимости подачи от глубины резания.

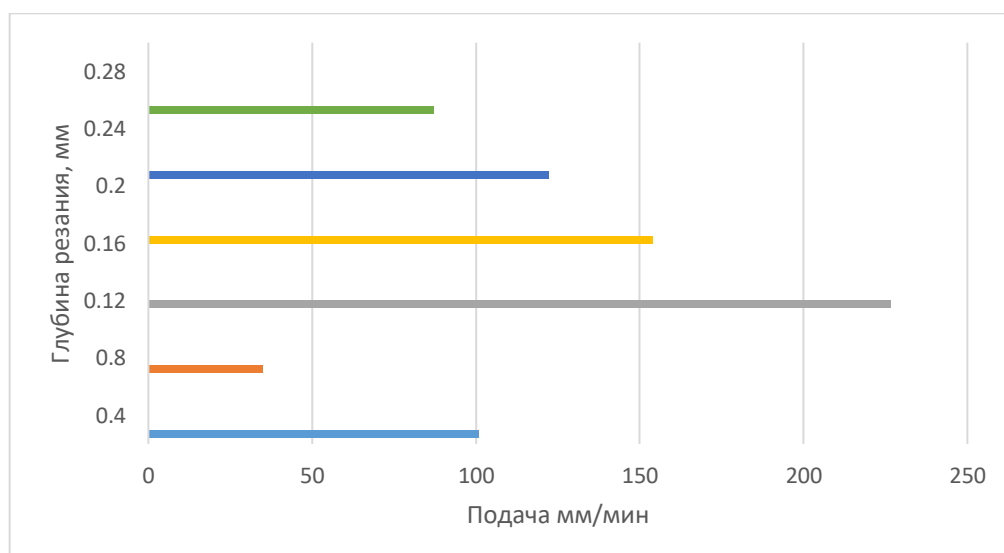


Рисунок 23 – Диаграмма зависимости подачи от глубины резания

Максимальная подача будет при глубине резания в 0,2 мм.

В диаграмме, представленной на рисунке 24 идёт сравнения зависимости мощности резания от глубины резания.

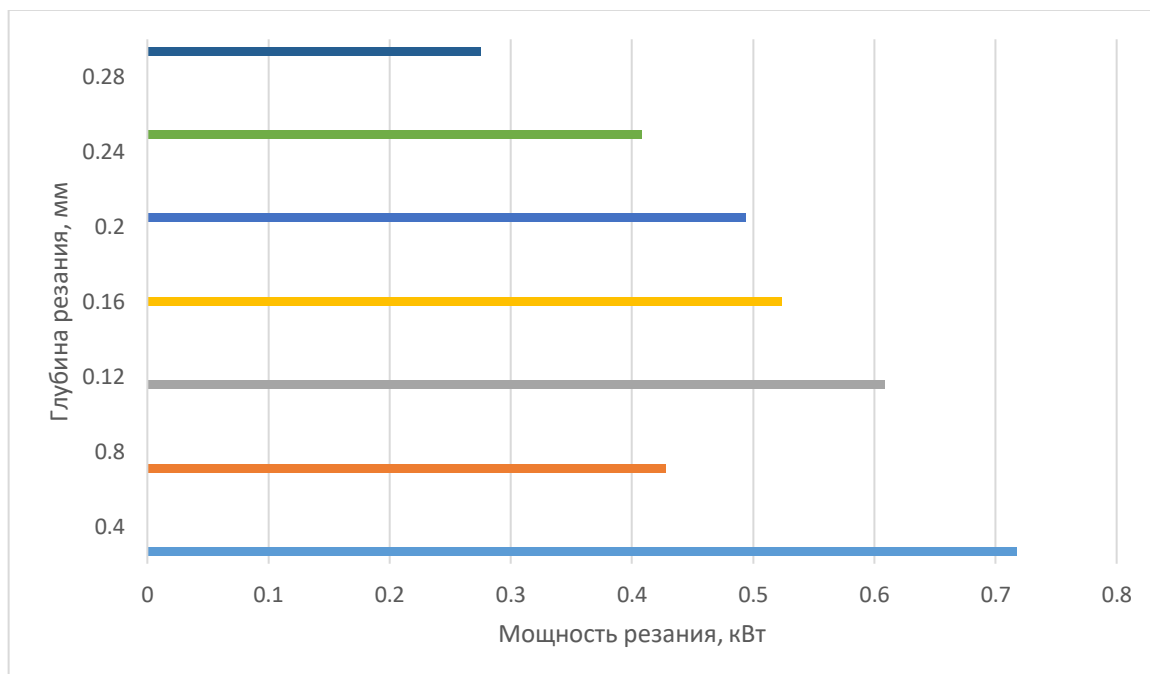


Рисунок 24 – Диаграмма зависимости мощности резания от глубины резания

Как мы можем заметить максимальная мощность резания будет при значении глубины резания в 0,4 мм, а минимальная 0,28 мм, оптимальным значением является 0,2 мм.

В диаграмме, представленной на рисунке 25 идёт сравнения зависимости силы резания от глубины резания.

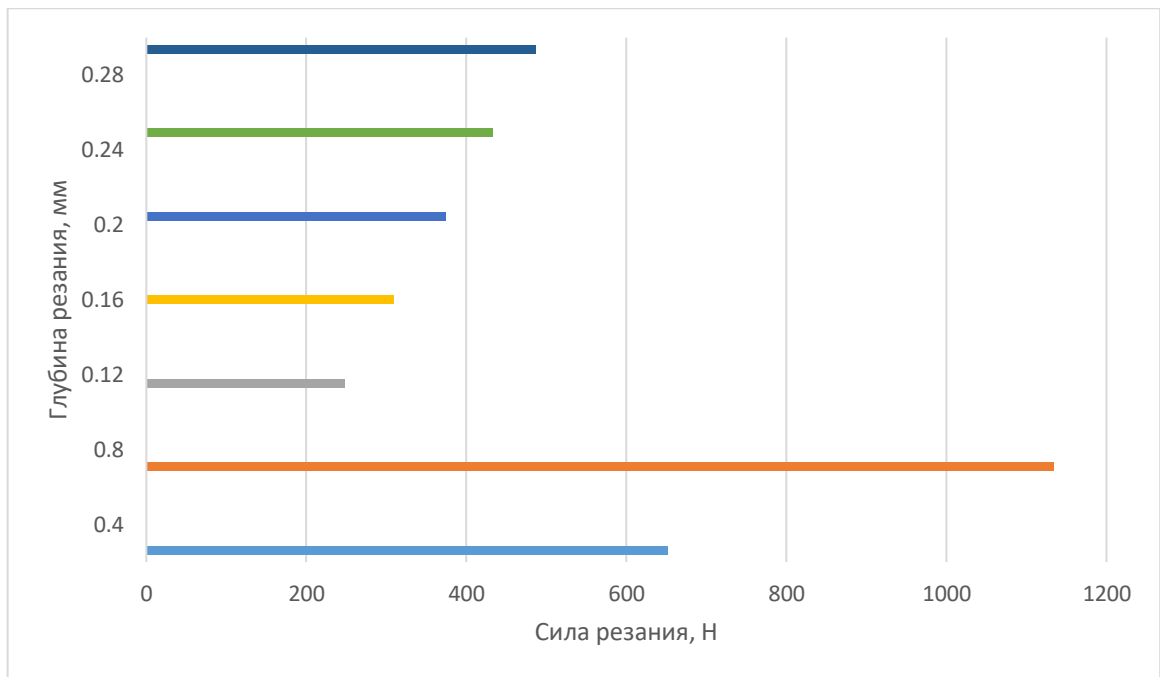


Рисунок 25 – Диаграмма зависимости силы резания от глубины резания

Минимальная сила резания будет при глубине резания в 0,2 мм.

После сравнения графиков можно сделать вывод, что оптимальные режимы резания будут при глубине резания 0,2 мм.

4 Исследования зависимости режимов обработки полимеров от инструментальных приборов

В 21 веке с увеличением населения, возросла и нагрузка на промышленный сектор, в который входят компании, производящие оборудование, сельскохозяйственную продукцию, транспортную инфраструктуру, автомобили и так далее. С увеличением нагрузки возрастает и потребность в быстром и массовом производстве того или иного товара. С 2019 года потребление изделий из полимеров растёт на 4% в год [34]. Самый распространённый в данный момент способ обработки полимеров — это фрезерование. В данный момент в мире широко используются фрезы из инструментальной стали, твердого сплава и поликристаллического алмаза. По своему виду фрезы могут быть двузубчатые, трех зубчатые, четырёх зубчатые. Какие сложности возникают при механической обработке изделий из полимеров:

- неправильно подобранные режимы, которые могут привести к изнашиванию фрезы, а также сокращению срока службы фрезерного станка (из-за чрезмерные нагрузки на станок), но главное это выпуск некачественной продукции;
- скол, изнашивание лезвий при фрезерной обработке.

Так же к осложнениям может привести и механические свойства обрабатываемого материала, к которым относится:

- низкая теплопроводность полимера, что чревато его нагреву и оплавлению;
- упругие свойства материалов, которые ведут к повышенному износу инструмента, а также его колебанию при фрезерной обработке;
- абразивное воздействие на режущий инструмент и его большая твердость.

Все вышеперечисленные факторы не позволяют быстро и качественно обрабатывать материал, проблема такого рода является актуальной и по сей день.

4.1 Исследование процесса фрезерования

В исследование будут участвовать фрезы:

- инструментальная быстрорежущая сталь марки P6M5;
- вольфрам-коальбиновый сплав марки BK8;
- безвольфрамовые твердые сплавы марки KНТ16.

Сплавы, используемые для изготовления этих фрез, обладают высокой теплостойкостью, высокой прочностью и твердостью, и поэтому рекомендуются для обработки заготовок из полимеров.

Полимер, который будет использоваться в данном эксперименте блочный полиамид широко известный как капролон. Возьмём капролон марки А, что не допускает наличия пор на разрезе, а также данный материал широко применяется в промышленности для производства изделий путём механической обработки [35].

Эксперимент будем проводить на фрезерном станке японского производства Roland MDX-540S. Данный фрезерный станок оснащён большим рабочим пространством 500 (X) x 400 (Y) x 155 (Z) мм, погрешностью в 0,001 мм, шпинделем чья мощность варьируется от 400 до 12.000 оборотов/мин, сервоприводы по оси X, Y увеличенной мощности, CL-540 – дополнительная поворотная ось для 4-осевой обработки, а также защитным коробом.

В процессе была осуществлена механическая обработка капролона с режимами: скорость вращения шпинделя S равному 7000 оборотов/мин, глубина

Резания t равному 0,2 мм, подача на зуб S_z равному от 0,158 до 0,34 мм/зуб, скорость резания V равному от 44 до 47 мм/с. Данные параметры были выбраны исходя из рекомендаций и предварительного исследования.

Для исследования поверхности применялся электронный микроскоп Carl Zeiss EVO50 с ускоряющее напряжение 0,2 – 30 кВ, максимальным разрешением: 3 нм детекторы вторичных и обратно рассеянных электронов и с максимальным размером образцов 200x200x100 мм.

4.2 Результаты исследования

Как показывают исследования с увеличением и съёма материала увеличивается температура фрезы и температура материала, на который оказывается механическое воздействие, что приводит к оплавлению капролона [36].

Для более точного исследования были проведены математические расчеты, чтобы определить зависимость периода технологической стойкости инструмента от величины подачи на режущую кромку и глубины резания при максимально допустимой оборудованной скорости резания. Эти расчеты представлены на рисунках 26 и 27:

- $P6M5, t = 0,66 \cdot 2,08 + 1,11 \ln z + 3,02 \ln \cdot 2,54 + 0,65 \ln;$
- $BK8, t = 0,62 \cdot 5,43 + 3,07 \ln z + 3,09 \ln \cdot 0,51 + 1,17 \ln;$
- $KHT16, t = 0,58 \cdot 3,54 + 2,57 \ln z + 3,64 \ln \cdot 2,01 + 1,07 \ln.$

По итогу получилось, что инструментальная быстрорежущая сталь марки P6M5 обрабатывающая полимер при режимах S_z равному 0,158 и t равному 0,2 мм, показал период стойкости в 24 мин.

При режиме S_z равному 0,158 и t равному 0,2 мм вольфрамокобальтовый сплав марки BK8, при обработке капролона показал результат стойкости в 50 мин.

Безвольфрамовые твердые сплавы марки KHT16 при режимах резания

S_z равному 0,158 и t равному 0,2 мм, продемонстрировал результат стойкости 29 мин.

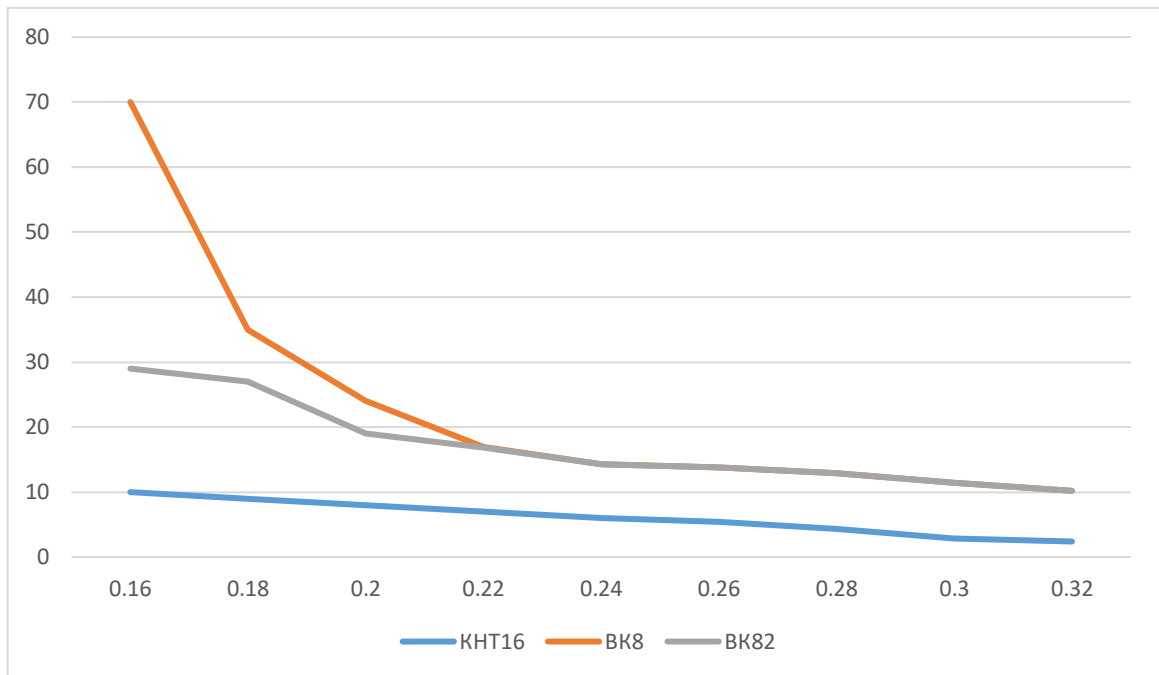


Рисунок 26 – График зависимость периода стойкости фрез от величины подачи на зуб при $t = 0,2$ мм

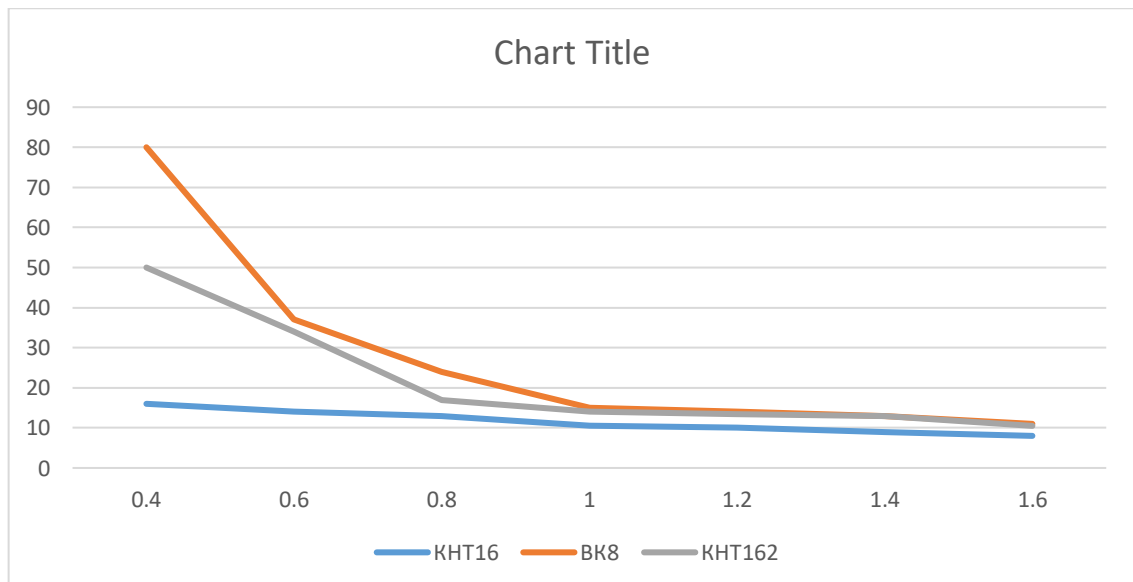


Рисунок 27 – Зависимость периода стойкости фрез от глубины резания при $S_z = 0,158$ мм/зуб

Исходя из приведённых выше данных, предлагается применять следующие рекомендации для получения качественных изделий из капролона:

- режимы обработки S_z равному 0,158 и t равному 0,2 мм, скорость вращения шпинделя S равному 7000 оборотов/мин;
- рекомендуется брать фрезы из инструментальная быстрорежущая сталь марки P6M5 и вольфрамольбатовый сплав марки BK8.

В разделе были проведены математические расчеты, чтобы определить зависимость периода технологической стойкости инструмента от величины подачи на режущую кромку и глубины резания при максимально допустимой оборудованием скорости резания. Результаты этого исследования могут оказаться ценными для предприятий, занятых производством компонентов, инструмента и других составляющих для разнообразных механизмов. Проведенные исследования помогут ускорить технологические процессы и обеспечить повышенное качество производимой продукции [37].

5 Практическая часть фрезерования

5.1 Подготовительная часть

Перед началом производственного процесса мы подготовили рабочее место и фрезы для обработки изделия. Фрезерование происходит на фрезерном станке Roland MDX 540s, представленном на рисунке 28. Для обработки будет взят набор фрез диаметром от 6 до 10 мм, представленные на рисунке 29. Фрезы были подобраны согласно выводам научной статьи, фрезы из инструментальной быстрорежущей стали марки P6M5 и вольфрамольбодовый сплав марки BK8.

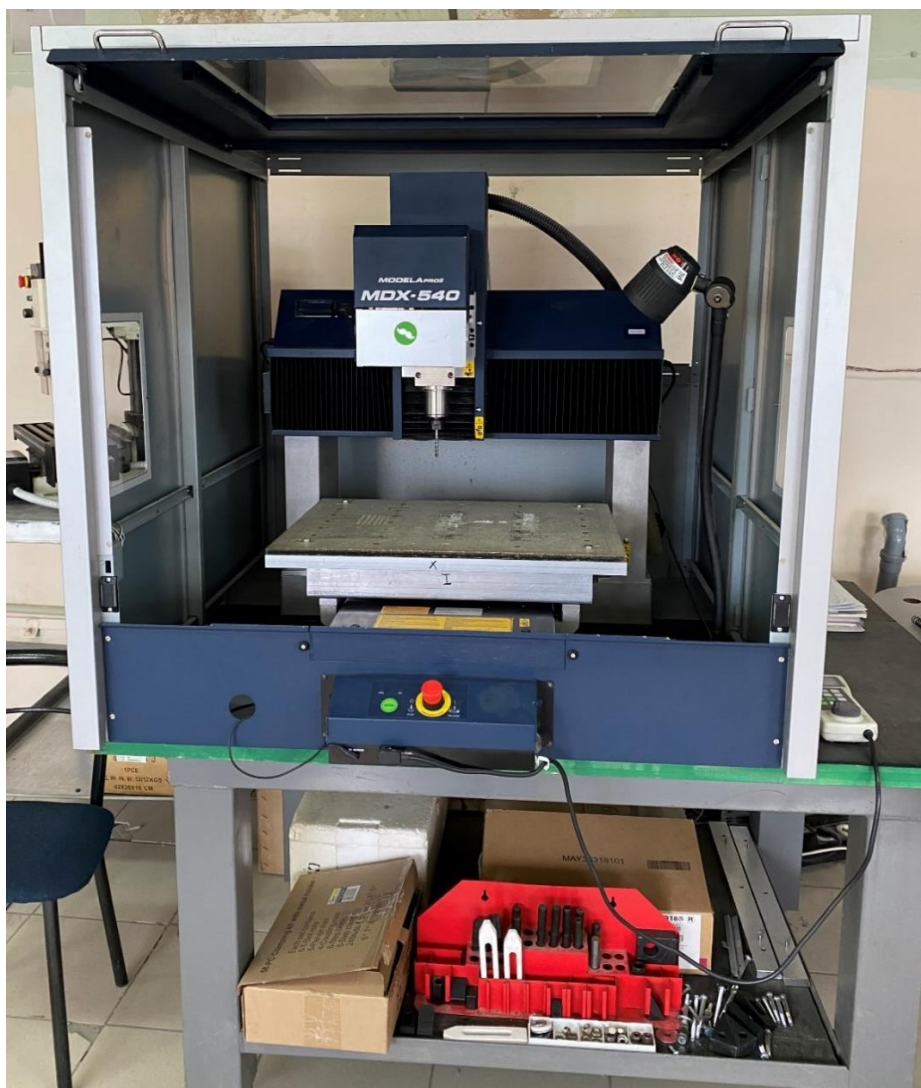


Рисунок 28 – Фрезерный станок Roland MDX 540s



Рисунок 29 – Набор фрез

Максимальный размер фрезы для шпинделя составляет 10 мм.

5.2 Разработка программы

Второй частью работы является написание программы обработки изделия, программа пишется, ссылаясь на чертёж изделия, представленного на рисунке 30. Программа обработки представлена на рисунке 31.

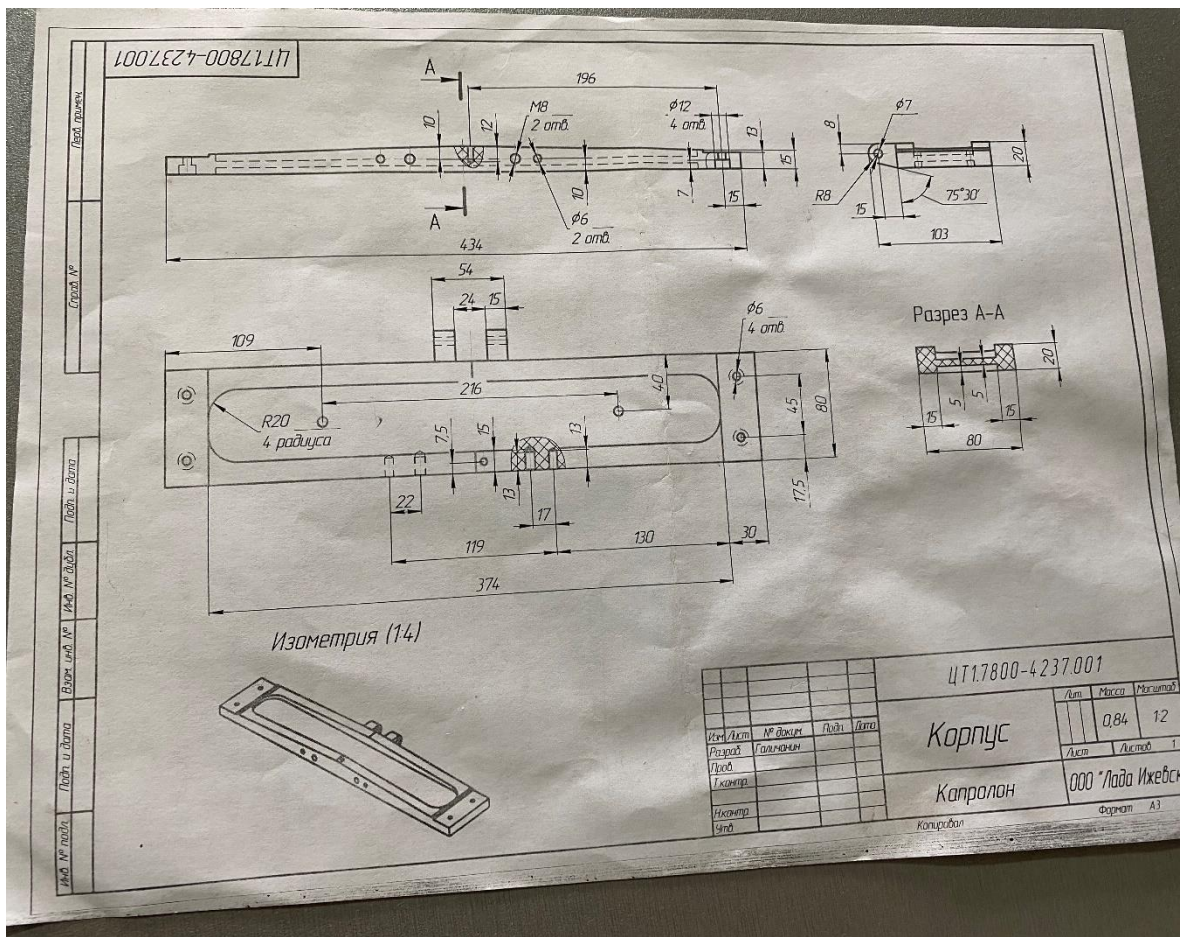


Рисунок 30 – Чертёж детали

Как мы можем заметить на детали представленной на рисунке 31 есть пара отходящих ножек, они нужны для того, чтобы, когда фреза дойдёт до нулевого слоя обработки, деталь не вылетела из заготовки.

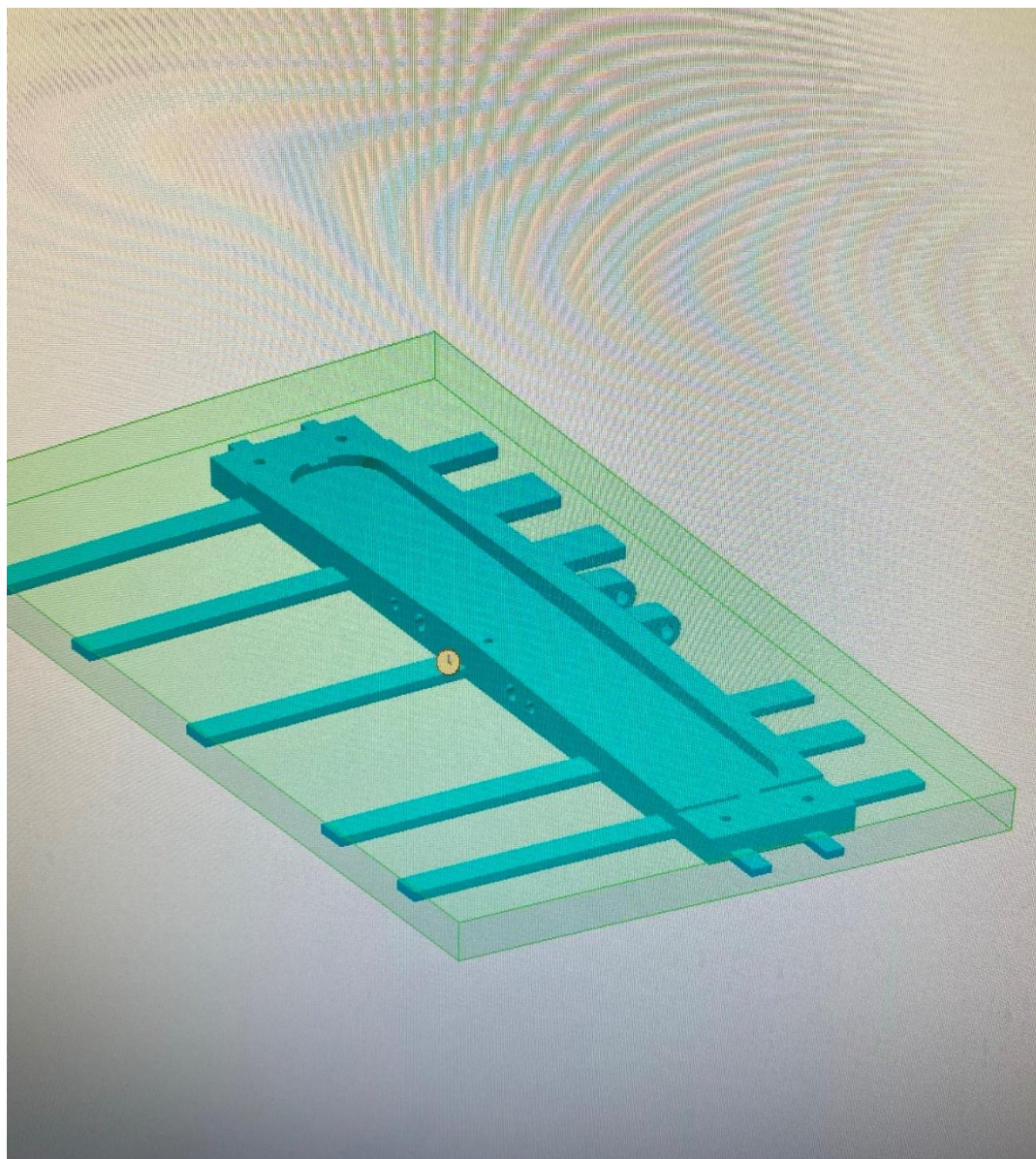


Рисунок 31 – Программа обработки

На рисунке 31 представлен фрагмент интерфейса разработанной программы для обработки детали.

5.3 Фрезерование детали

На финальном этапе для создания детали мы взяли заготовку, капролон (полимер) согласно нашему чертежу 30 мм, представленному на рисунке 32. Для закрепления заготовки был взят набор инструмента, представленном на рисунке 33. По итогу фрезерной обработки у нас получилась деталь, представленная на рисунке 34.



Рисунок 32 – Заготовка 30 мм



Рисунок 33 – Набор инструмента для закрепления заготовки



Рисунок 34 – Итоговое изделие

Итоговое изделие получилось согласно чертежу и попадает в назначенные допуски

5.4 Фрезерование дополнительной детали

Исходя из опыта фрезерования первой детали, мы решили сделать ещё одну деталь (комплект деталей). Для этого мы взяли заготовку, капролон (полимер) толщиной 10 мм, рисунок 35. Закрепили деталь на рабочем поле. Написали программу обработки, рисунки 36 и 37. По итогу получились детали, рисунки 38 и 39.



Рисунок 35 – Заготовка 10 мм

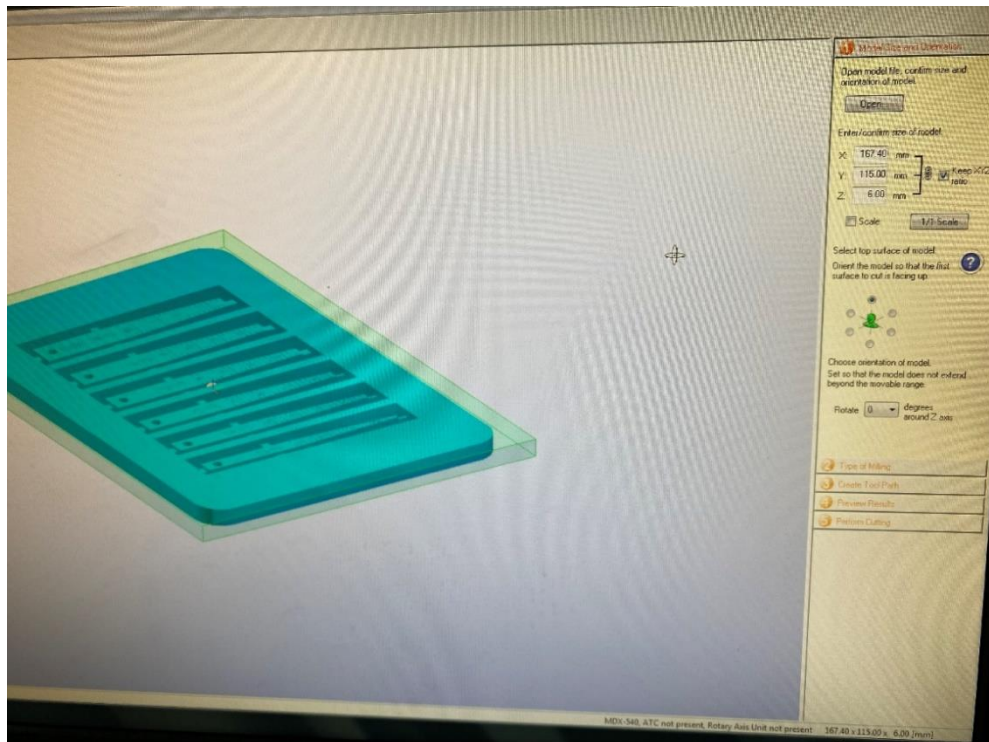


Рисунок 36 – Программа обработки

Как мы видим на рисунке 35, было составлено несколько программ обработки, это было сделано для того, чтобы фреза успела остыть (из-за длительные работы происходит нагрев и деталь деформируется)

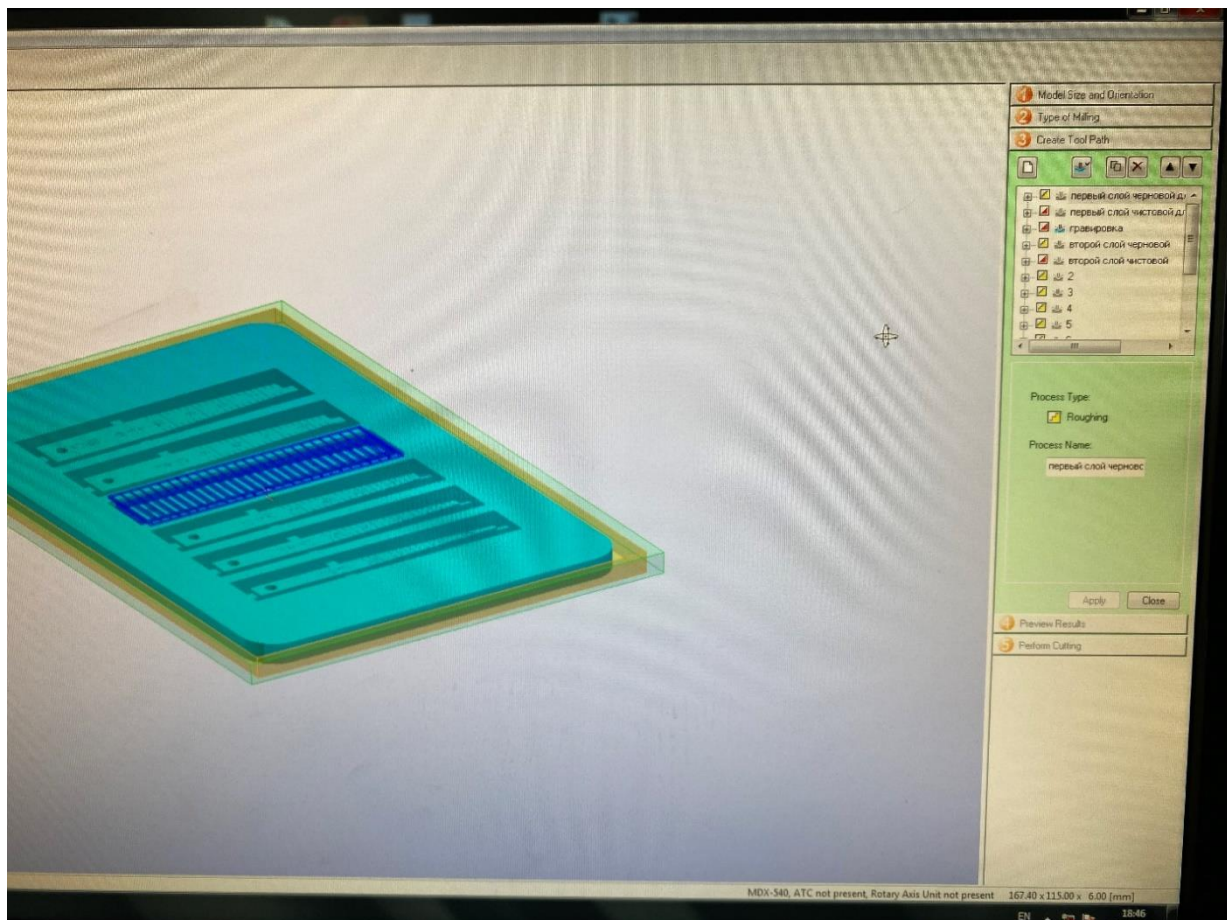


Рисунок 37 – Программа обработки с несколькими слоями

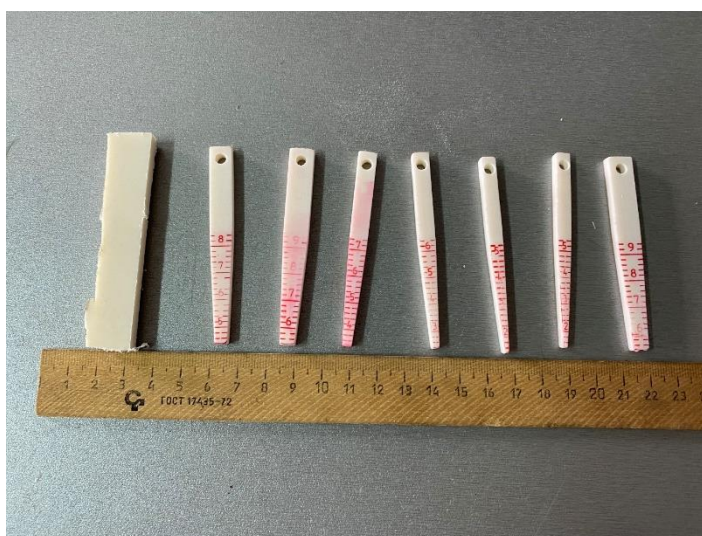


Рисунок 38 – Размеры итоговых изделий



Рисунок 39 – Итоговая деталь

Исходя из приведённой выше работы можно сделать вывод, что, основываясь на теоретических расчётах, мы смогли сделать две рабочие детали, что подтверждает наши расчёты.

Заключение

При выполнении данной магистерской диссертации «Исследование силовых характеристик при механической обработке изделий из полимеров» была изучена отечественная и зарубежная литература на тему «Теоретические основы исследований силовых характеристик при механической обработке изделий из полимеров», по изученным данным было получено представление о том, какие существуют проблемы в тематике полимеров и фрезерования изделий из полимеров. Так же были изучены полимеры (виды, свойства и их применение) наиболее распространённые при производстве, с целью понимания проблематики процесса фрезерования полимеров, а также с целью систематизации полученных данных. Были сделаны расчёты оптимального режима резания при точении на фрезерном пяти-осевом станке, данные расчёты показали, что оптимальная глубина резанья составляет 0,12 мм, при заданных параметрах. Так же в диссертации была приведена научная статья, в которой была выбрана фреза и параметры работы с ней при обработке капролона. Исходя из приведённых выше данных, предлагается применять следующие рекомендации для получения качественных изделий из капролона:

- режимы обработки S_z равно 0,158 и t равные 0,2 мм, скорость вращения шпинделя S равно 7000 оборотов/мин;
- рекомендуется брать фрезы из инструментальной быстрорежущей стали марки P6M5 и вольфрамо-кобальтовый сплав марки BK8.

А в завершении было проведено две фрезерных обработки полимеров на фрезерном станке Roland MDX 540S (по расчётным параметрам, представленным выше) с последующим получением готового изделия. При второй фрезерной обработке были закреплены результаты, показывающие правильность полученных данных. Проведенное фрезерование, расширяет представление о силовых характеристиках при механической обработке изделий из полимеров и предлагает практические рекомендации по оптимизации процесса фрезерования капролона.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Аверко – Антонович Л.А, Аверко – Антонович Ю.О., Давлетбаева И.М., Кирпичников П.А. Химия и технология синтетического каучука: Химия, 2008. – 357 с.
2. Гантмахер А.Р. Каталитическая полимеризация ненасыщенных соединений. III. Каталитическая полимеризация изопрена / А.Р. Гантмахер, С.С. Медведев // Журн. Физ. Химии – 1952. – Т. 26. – № 2. – С. 173–179.
3. Гориславец С. П. Пиролиз углеводородного сырья / С. П. Гориславец. – Россия: Издательство «Наукова Думка», 1977. – 250 с.
4. Денисова Т.Т Катионная полимеризация пентадиена–1,3 / Т.Т. Денисов, И.А. Лившиц, Е.Р. Герштейн // Высокомолекулярные соединения. – 1974. – Т.16А. – № 4. – С. 880–885.
5. Денисова Т.Т. Катионная полимеризация пентадиена–1,3 / Т.Т. Денисова, И.А. Лившиц, Е.Р. Герштейн // Высокомолекулярные соединения. – 1974. – Т.16 А, № 4. – С. 880–885.
6. Дытнерский Ю.И. Основные Процессы и аппараты химической технологии / Г.С. Борисов Ю.И. Дытнерский.– М.: «Химия», 1991. – 634с
7. Егоричева С.А. Катионная полимеризация пиперилена, катализируемая четыреххлористым титаном / С.А. Егоричева, В.А. Розенцвет Б.И. Пантух Р.М. Лившиц // Пром–сть синтез. Каучука, шин и резинотехнических изделий. – 1985. – Т. 11. – С. 7–12.
8. Егоров А. Г., Виткалов В. Г., Уполовникова Г. Н., Живоглядова И. А. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно–методическое пособие. Тольятти, 2012. 135 с.
9. Ермаков В.И., Шеин В.С., Рейхсфелд В.О. Инженерные методы расчетов процессов получения и переработки эластомеров: Химия, 1982. – 327 с

10. Кабанов В.А. Полимеры / В.А. Кабанов. – Москва: Издательство «ХИМИЯ», 1985. – 223 с.
11. Каргин В.А. Энциклопедия Полимеров / В.А. Каргин, Ред. Коллегия: (глав. Ред.). – Т.1 А–К. М., Сов. Энци., 1972. – 1224 с.
12. Кирпичников П.А., Аверко – Антонович Л.А, Аверко – Антонович Ю.О. Химия и технология синтетического каучука: Химия, 1970. – 528 с.
13. Кнунянц Л.И. Современные методы синтеза мономеров для гетероцепных волокнообразующих полимеров / Л.И. Кнунянц: М.–ВИНИТИ, 1961. –183 с
14. Колбасов В.Ф. Изучение закономерностей полимеризации изомеров пиперилена под действием катализаторов катионного типа / В.Ф. Колбасов Д.Ф. Кутепов, В.И. Кульчицкий, Н.Н. Санина // Журн. Прикл. Химии. – 1984. – № 3. – С. 631–634.
15. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, и средства их тушения: Справочник. Т.1, II – М: Асс. «Пожнаука», 2004. – 713 с.
16. Куренков, В.Ф. Химия высокомолекулярных соединений / В.Ф. Куренков. – Казань: Издательство Бутлеровские сообщения, 2005. – 146 с.
17. Любарский Г.Д. Химическая промышленность / Г.Д. Любарский, М.М.Стрелец. – М.: Наука. – 1967.
18. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. Совет.: К.В. Фролов (пред.) [и д.р.]. М.: Машиностроение. Измерения, контроль, испытания и диагностика. Том 3 / В. В. Клюев [и д.р.]; под общ. Ред. В.В. Клюева. 1996, 464 с.
19. Мищенко К.П.Краткий справочник физико–химических величин / и А.А.Равдель; под ред.К.П.Мищенко, Л.: Химия, 1974, – 200 с.
20. Монаков Ю.Б. Каталитическая полимеризация 1,3–диенов / Г.А. Толстиков. – М.: Наука, 1990. – 217 с.
21. Овчинников В.И., Ручинского В.Р. //Производство капролактама// Москва,1977. –264с

22. Оудиан Дж. Основы химии полимеров / Дж. Оудиан. – М.: Наука. – 1974. – 614 с.
23. Плановский А. И. Процессы и аппараты химической технологии / А. И. В.М. Рамм., С.З. изд. 2–ое, доп. И перераб. – М.: Химия, 1962. – 534с
24. Платэ Н.А. Основы химии и технологии мономеров: учебное пособие / Н.А. Платэ, Е.В. Сливинский. – М.: Наука: МАИК Наука / Интерпериодика, 2002. – 696 с.
25. Плеш П. Катионная полимеризация / П. Плеш. – М.: МИР, 1966. – 562 с
26. Постоянный технологический регламент ТР–БК–5,6,8–36–15 производства синтетического бутилкаучука ООО «Тольяттикаучук», 2015. – 731 с.
27. Розенцвет В.А. Катионная полимеризация сопряженных диенов / В.А. Розенцвет, В.Г. Козлов, Ю.Б. Монаков. – Москва: Издательство Наука, 2011. –178с.
28. Сангалов Ю.А., Минскер К.С. Полимеры и сополимеры изобутилена. Фундаментальные проблемы и прикладные аспекты: Гилем, 2001. – 348 с.
29. Семчиков Ю.Д. Высокмолекулярные соединения: издательский центр «Академия»,2003. – 368 с
30. Справочник нефтехимика, том 1. Под ред. С.К. Огородникова – Л.: Химия, 1987. – 496 с.
31. Танабе К. Катализаторы и каталитические процессы / К. Танабе. – М.: Мир, 1993. – 19 с.
32. Тимофеева С.С. Методы и технологии оценки производственных рисков: практические работы для магистрантов по направлению «Техносферная безопасность» / С.С. Тимофеева. – иргту, 2014. – 177 с.
33. Туболкин А.Ф., Тумаркина Е.С., Тарат Э.Я. и др. Расчеты химикотехнологических процессов. – Л.: Химия, 1982. – 248 с.

34. Фельдштейна Э. И. Обработываемость сталей / Э. И. Фельдштейна. – М. Машгиз, 1953. – 254 с.
35. Флореа О. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии / под ред. С.З. Кагана. – М.: Химия, 1971. – 419 с.
36. Bauchardat G. Action of Haloid Acids on isoprene. Formation of Caoutchouc / G. Bauchardat // Compt. Rend. – 1880. – Vol. 89. – P.1117– 1120.
37. Farfanren zur Darstellun von Polymerisation aus butadiene und seinen homologen // Пат. Германии № 264925. 1912. Н.К. 120. / Bayer and CO.
38. Fried, Joel R. (2003). Polymer Science and Technology (2nd ed.). Prentice–Hall. P. 23. ISBN 0–13–018168–4.
39. H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberger, and G. Menges. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering: New York, 1985. – 720 p.
40. Lepert A. // Пат. 4078132. США. 1978. // Режим доступа: [http://www. Espacenet.com](http://www.Espacenet.com).
41. Lynn, David M.; Langer, Robert (2000). «Degradable Poly (β -amino esters): Synthesis, Characterization, and Self–Assembly with Plasmid DNA». Journaloftheamericanchemicalsociety. 122
42. Ouchi M. Control of regioselectivity and main–chain microstructure in cationic polymerization of cyclopentadiene/ M. Ouchi, M. Kamigaito, M. Sawamoto //Macromolecules. – 2001. – Т. 34. – №. 19. – С. 6586–6591.
43. Rozentsvet V. A. The Structure of Cationic Polyisoprene: Branching versus Cyclization/ V. A. Rozentsvet, V. G. Kozlov, N. A. Korovina, //Macromolecular Chemistry and Physics. – 2016. – Т. 217. – №. 16. – С. 1860–1867.