

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Политехнический институт  
Кафедра «Технологии автоматизированного машиностроения»

**Моделирование длины элементной стружки при ротационном фрезеровании**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР

Руководитель, к.т.н., доцент  
С.Д. Сметанин  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор работы,  
студент группы П-261  
\_\_Р.С. Свиначук  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Челябинск 2019

## Аннотация

Свинарчук Р.С. Выпускная квалификационная работа. Моделирование длины элементной стружки при ротационном фрезеровании – Челябинск: ЮУрГУ, П–261, 124 с., 62 ил., 11 табл., библиографический список – 25 наименований, 3 приложения.

В первом разделе изложено производство металлических порошков, волокон, стружек с основными характеристиками и классификациями методов получения порошков и стружек. Также раскрывается сущность и особенности ротационного фрезерования.

Во втором разделе рассматривается разработка методики экспериментального определения длины стружки при ротационном фрезеровании и анализ геометрических параметров режущего лезвия ротационной фрезы.

В третьем разделе рассматривается моделирование формообразования элементной стружки ротационным фрезерованием с последующей разработкой математической модели длины элементной стружки и экспериментальном подтверждении адекватности данной модели.

В четвертом разделе речь идет об анализе и разработке конструкции ротационной фрезы с последующим 3D моделированием и анализом напряженно-деформированного состояния. Рассматривается оценка экономической эффективности операции получения элементной стружки ротационным фрезерованием.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.	Свинарчук Р.С..				Моделирование длины элементной стружки при ротационном фрезеровании	Лит.	Лист	Листов
Провер.	Сметанин С.Д.					1	124	
Реценз						Кафедра ТАМ		
Н. Контр.	Попов М.Ю.							
Утверд.	Гузев В.И.							

## Оглавление

Введение.....	4
1. Производство металлических порошков, волокон, стружек.....	6
1.1 Классификация методов получения порошков и стружек .....	6
1.2 Основные характеристики порошков и стружек .....	23
1.3 Сущность и особенности ротационного фрезерования .....	29
Выводы .....	35
Цель и задачи.....	36
2. Методика проведения исследований .....	37
2.1 Методика экспериментального определения длины стружки при ротационном фрезеровании .....	37
2.2 Анализ геометрических параметров режущего лезвия ротационной фрезы .....	45
Выводы .....	54
3. Моделирование формообразования элементной стружки ротационным фрезерованием.....	55
3.1 Разработка математической модели элементной стружки ротационным фрезерованием.....	55
3.2 Экспериментальное подтверждение адекватности математической модели.....	63
Выводы .....	70

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		2

4.	Конструкция ротационной фрезы .....	71
4.1	Анализ и разработка конструкций ротационных фрез .....	71
4.2	Моделирование ротационной фрезы в программе Creo Parametric 3D... ..	77
4.3	Анализ напряженно-деформированного состояния основных конструктивных элементов ротационной фрезы .....	81
4.4	Оценка экономической эффективности операции получения элементной стружки ротационным фрезерованием .....	91
4.4.1	Расчет производительности фрезерования.....	91
4.4.2	Оценочная стоимость порошков из металла.....	97
4.4.3	Расчет экономического эффекта замены торцевого фрезерования ротационным.....	106
	Выводы .....	111
	Заключение и общие выводы .....	112
	Библиографический список .....	116
	Приложение А .....	119
	Приложение Б .....	121
	Приложение В.....	122

## Введение

В настоящее время одним из основных и перспективных направлений развития техники является применение порошковых материалов. Порошковая металлургия позволяет получать не только изделия различных форм и назначений, но и создавать принципиально новые материалы, которые другим путем получить или очень трудно или невозможно. Помимо этого, методами использования порошковой металлургии также возможно повысить экономические показатели производства.

Порошковая металлургия это одна из технологий получения металлических порошков и изготовления изделий из них (их композиций с неметаллическими порошками). В общем виде технологический процесс порошковой металлургии состоит из четырёх основных этапов: производство порошков, смешивание порошков, уплотнение (прессование, брикетирование) и спекание.

Способ ротационного фрезерования материалов обладает некоторыми преимуществами в отличие от традиционных методов обработки фрезерованием. В зависимости от большой длины круговой режущей кромки режущего элемента, непрерывному вращению его во время работы, способствующему кратковременность работы каждого участка, оптимальным условиям охлаждения режущего элемента и температура в зоне обработки по сравнению с традиционным ниже в 2 раза.

Данная работа посвящена решению проблемы с невозможностью управления длиной элементной стружки. Для разрешения настоящей проблемы разрабатываются определенные методики экспериментального определения длины стружки при ротационном фрезеровании. Данная магистерская диссертация является исследовательской работой.

В ходе работы использовались следующие методы исследований:

- измерение;
- эксперимент;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР

Лист

4

- анализ;
- моделирование физическое;
- моделирование математическое.

Окончательная цель работы состоит в создании методики определения длины элементной стружки при ротационном фрезеровании. В связи с этим направленностью работы являются процессы резания.

Объектом исследования является ротационное фрезерование.

Предметом исследования данной магистерской диссертации является длина элементной стружки.

Фактором, обуславливающим актуальность выбора данной темы выпускной квалификационной работы является отсутствие модели ротационного фрезерования.

Противоречие – потребность в получении необходимых параметров стружки и отсутствие методики.

Характеристика выдвинутой гипотезы – назначение режущего инструмента, параметров установки, режимов резания при ротационном фрезеровании в соответствие с требуемой длиной элементной стружки.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
						5
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## 1. Производство металлических порошков, волокон, стружек

Производство порошка – одна из основных технологических операций метода порошковой металлургии. Существует немало способов получения порошков, что дает возможность широко варьировать их свойства. Эти свойства позволяют изделиям из порошка достичь требуемых физических, механических и других специальных свойств. Кроме того, метод изготовления порошка в значительной мере определяет его качество и себестоимость.

Область применения – порошковая металлургия (изделия практически для всех отраслей промышленности):

- конструкционные материалы с задаваемыми свойствами;
- автомобиле- и авиастроение (тормозные колодки, сверхпрочные и легкие конструкционные материалы, детали ДВС, покрытия кузовных деталей);
- новые строительные материалы (газобетон, строительные смеси);
- подшипники, шестерни и др. детали общего машиностроения;
- электро- и нефтехимия (химические источники тока, катализаторы);
- фильтры различного назначения.

При станочной обработке литых металлов или сплавов подбирают такой режим резания, который обеспечивает образование частиц, а не стружки. Получают порошки стали, латуни, бронзы, магния.

### 1.1 Классификация методов получения порошков и стружек

Стружка образуется в результате механической обработки заготовок и в большинстве случаев содержит остатки СОЖ и масел. Еще не так давно стружка рассматривалась как неизбежный отход при резании материалов, занимала большие производственные площади и требовала мероприятий для

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

утилизации. Однако во многих отраслях промышленности используются компоненты (порошки, волокна, фибра, наполнители и т.п.), которые представляют собой целенаправленно измельченный материал требуемого состава. Поэтому целесообразно проектирование технологических операций механической обработки таким образом, чтобы использовать получаемую стружку в качестве полезного продукта. Для этого необходимо управлять ее формой и размерами.

Получение стружки заданной формы и размеров представляет научно-техническую проблему, связанную с различием свойств используемых материалов, требуемой производительности процесса, обеспечением ГОСТов в соответствующих отраслях и других[1]. Управлять процессом получения элемента стружки заданной длины возможно с помощью ротационного фрезерования по групповой схеме резания.

Металлы имеют свойство пластичности и хрупкости. Пластичные металлы имеют одно из важных свойств: они не разрушаются изменяя свою форму и размеры под влиянием внешних сил. Пластичные металлы технологи широко используют в ковке, штамповке, прокатке и волочении. При этих операциях происходит пластическое сжатие металла. Аналогичное воздействие можно наблюдать с куском воска, когда при сжатии, стремясь придать ему необходимую форму. Под влиянием силы частицы воска перемещаются относительно друг друга, его форма при этом изменяется, но воск не разрушается.

Подобная ситуация и с металлом. Если использовать кусок пластичного металла в форме цилиндра и сжимать его под прессом (рис. 1 а). Металл изменяет свою форму и размеры, то есть будет деформироваться. Высота будет становиться меньше, а диаметр больше. Форма цилиндра при этом превратится в форму бочки. В процессе деформации мельчайшие частицы металла также, как и с воском, перемещаются относительно друг

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7



друга, что хорошо видно по искажениям сетки, нанесенной на образце в форме цилиндрической поверхности (рис. 1 б).

При обработке резанием металлов срезаемый слой испытывает такую же деформацию. Можно предположить пресс, у которого на плите закреплена призма (рис. 1 в). Если призма будет давить только на поверхностный слой металла, то в этом слое и в прилегающих к нему соседних слоях произойдет смещение частиц металла. Поверхностный слой металла и прилегающие к нему слои будут выпучиваться. И если давление призмы будет больше силы сцепления между частицами металла, произойдет местное разрушение, т. е. отделение кусочка деформированного металла от остальной его массы.

Аналогичное явление наблюдается и в процессе обработки резанием металлов. Но при обработке резанием применяют инструменты особой геометрической формы, не похожей на призму. Форма подбирается так, чтобы деформации на сопротивление металла было меньше, а производительность – больше.

В действующем машиностроении используют и применяют различные режущие инструменты: резцы, сверла, зенкеры, развертки, фрезы, метчики, долбяки, протяжки, плашки и другие. Они имеют непостоянную внешнюю форму, но процесс образования стружки при работе любым из них протекает одинаково. При этом, каждый из перечисленных инструментов по характеру работы имеет свои особенности, которые отражаются на образовании стружки. Однако это не изменяет общей картины процесса резания, основных его закономерностей.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

### Рисунок 1 – Изменение параметров пластичного металла

Мысль и идею о единстве закономерности процесса резания металлов, не обращая внимания на методы обработки – точение, строгание, фрезерование, сверление – изложил И. А. Тиме и подтвердилась работами многих ученых.

Процесс образования стружки достаточно подробно прослеживается на примере работы наиболее простого режущего инструмента – строгального резца.

Резец перемещается относительно обрабатываемой заготовки с силой  $P$  и вдавливается в нее, в ее поверхностный слой, подлежащий удалению. Скорость при которой имеет перемещение резец является скоростью резания, а сила, с которой он вдавливается, – силой резания. Под действием и влиянием этой силы  $P$  происходит пластическое деформирование срезаемого слоя металла, частицы смещаются относительно друг друга. Данное смещение частиц наблюдается не по всей длине срезаемого слоя, а только на определенном участке, но особенно заметно в местах и точках, находящихся ближе к поверхности инструмента. Это хорошо показывают искажения сетки на боковой поверхности образца (рис. 2).

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

## Рисунок 2 – Схема образования стружки при обработке

По мере движения режущего инструмента происходит смещение частиц металла относительно друг друга – возрастает деформация. Она растет до тех пор, пока не произойдет скалывание части деформированного металла. Данная часть называется элементом стружки.

При дальнейшем перемещении инструмента будет скалываться следующая часть металла. И так далее – часть за частью – весь слой металла, подлежащий удалению, превратится в стружку.

Таким образом, обработка металлов резанием является последовательным скалыванием отдельных частичек деформированного металла. Это основное положение науки о резании металлов впервые установлено И. А. Тиме.

Но не следует делать поспешных выводов, что стружка должна получаться как отдельные, не связанные друг с другом элементы – частей деформированного металла. На практике часто встречается стружка, в которой отдельные элементы достаточно прочно связаны между собой. Это ни коем образом не противопоставлено научным представлениям о сущности процесса образования стружки.

При определенно больших скоростях резания, применяемых полное скалывание элементов стружки не происходит. Инструмент производит

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР

деформирование первой части металла второй, затем третьей, не доведя до полного скалывания. Следовательно, элементная стружка полностью не отделяется друг от друга.

Инструменты, изготавливаемые из специальных твердых сплавов, определяют возможность применять высокую скорость резания, при которой стружка получается в виде прочной ленты. Такую стружку И. А. Тиме назвал сливной (рис. 3 а).

Вид и форма стружки зависит не только от скорости резания, но и от других причин. И. А. Тиме наблюдал сливную стружку при работе резцами из углеродистой стали, скорость резания при которых в несколько раз ниже, чем при работе резцами из твердых сплавов.

Вид стружки зависит от свойств обрабатываемого материала. Пластичные металлы в зависимости от скорости резания, объема и толщины срезаемой стружки и переднего угла инструмента оставляют сливную или ступенчатую стружку (рис. 3 б).

Рисунок 3 – Сливная (а) и ступенчатая (б) стружки

Хрупкие металлы, например чугун, крошатся в процессе обработки: происходит не скалывание, а вырывание частей обрабатываемого материала. Следовательно, стружка получаемая от хрупкого металла, состоит из отдельных и не связанных друг с другом частей материала. Такая стружка названа И. А. Тиме названа стружкой надлома (рис. 4). Считалось, что при обработке чугуна и других хрупких металлов, возможно, может получиться только стружка надлома.

#### Рисунок 4 – Стружка надлома

Стружка получается в процессе обработки и изготовления различных деталей и узлов металлического или цветного содержания, которые используются в промышленных или бытовых целях.

Самое большое и объемное производство и образование стружки происходит на предприятиях, выпускающих различные промышленные детали и изделия. При обработке и расточке выпускаемой продукции образуется стружка в качестве вторичных отходов производства.

Образование производственных отходов в виде металлической или цветной стружки подразумевает под собой утилизацию или вторичную переработку данного материала. В частности, стружка – материал, пригодный для последующего применения и переплавки в сталеплавильных печах для получения нового материала.

Переработка стружки – трудоемкий процесс, подразумевающий под собой брикетирование или прессование стружки в компактный брикет для наименьшего угара стружки при переплавке в сталеплавильных печах. В зависимости от стружки и ее засора используют центрифугу для отжима масла, дробилку для дробления стружки на мелкие фракции, а также брикетировочные или пакетировочные прессы для придания дробленой стружке компактного брикета в целях удобства перевозки и плавки в печах.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

Кроме этого, переработанная и подготовленная для переплавки стружка на порядок дороже, чем выюнообразная или замасленная.

Методы получения порошков делятся на механические и физико-химические.

Механические методы обеспечивают превращение исходного материала в порошок без заметного изменения его химического состава. Чаще всего используют измельчение твердых материалов в мельницах различных конструкций и диспергирование расплавов.

К физико-химическим методам относят технологические процессы производства порошков, связанные с физико-химическими превращениями исходного сырья. В результате получаемый порошок по химическому составу существенно отличается от исходного материала.

Основным способом получения порошков относятся:

1. Дробление и размол твердых материалов.

Измельчение стружки, обрезков и компактных материалов проводят в шаровых, вихревых, молотковых и других мельницах, КПД которых невелик. Получают порошки Fe, Cu, Mn, латуни, бронзы, хрома, алюминия, сталей.

Уменьшение размеров различных материалов используют на металлургических предприятиях для подготовки шихты и обработки полупродуктов.

Дробление и измельчение – весьма энерго- и металлоемкие процессы. Удельные затраты энергии на эти процессы составляют 15–40 кВт-ч/т, расход футеровочного материала (легированной стали) 200 г/т, шаров – 1,5 кг/т обрабатываемого материала.

Разработано, определено, большое число различных способов дробления стружки, которые обеспечивают эффективное дробление при обработке различных материалов. При естественном дроблении стружки её разрушение происходит в результате деформации о естественные

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

препятствия. Искусственное дробление стружки предусматривает использование устройств или приспособлений, которые обеспечивают разрушение или разделение стружки.

## 2. Диспергирование расплава.

Струю расплавленного металла диспергируют механическим способом (воздействием центробежных сил) или действуя на нее потоком энергоносителя (газа или жидкости). Получают порошки алюминия, свинца, цинка, бронзы, латуни, железа, чугуна, стали.

Диспергирование расплавленного металла или сплава струей сжатого газа, жидкости или механическим способом позволяет получать порошки, называемые распыленными. Процесс характеризуется высокими производительностью, технологичностью, степенью автоматизации и сравнительно малыми энергозатратами, экологически чистый. Промышленное производство порошков в нашей стране составляет в соотношении 4-5 : 1 в пользу распыленных порошков.

## 3. Грануляция расплава.

Порошок образуется при сливании расплавленного металла в жидкость. Получают крупные порошки железа, меди, свинца, олова, цинка.

При этом методе (рис. 5) порошок 4 образуется при сливании расплавленного металла 2 из емкости 1 в емкость с жидкостью 3.

Рисунок 5 – Схема получения порошка грануляцией: 1 – емкость; 2 – струя металла; 3 – емкость с жидкостью; 4 – порошок

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

#### 4. Обработка твердых (компактных) металлов резанием.

При станочной обработке литых металлов или сплавов подбирают такой режим резания, который обеспечивает образование частиц, а не стружки. Получают порошки стали, латуни, бронзы, магния.

##### Преимущества

Благодаря структурным особенностям, продукты порошковой металлургии более термостойки, лучше переносят циклические перепады температур и напряжений деформации, а также радиоактивного излучения.

Однако порошковая металлургия имеет и недостатки, сдерживающие её развитие: сравнительно высокая стоимость металлических порошков, необходимость спекания в защитной атмосфере, что также увеличивает себестоимость изделий порошковой металлургии, невозможность изготовления в некоторых случаях заготовок больших размеров, необходимость использования чистых исходных порошков для получения чистых металлов.

##### Недостатки

Порошковая металлургия и некоторые её достоинства нельзя рассматривать как постоянно действующие факторы: в значительной степени они зависят от состояния и развития как самой порошковой металлургии, так и других отраслей промышленности. Развивавшиеся в дальнейшем методы дугового, электроннолучевого, плазменного плавления и электроимпульсного нагрева позволили получать не достижимые ранее температуры, вследствие чего удельный вес порошковой металлургии в производстве этих металлов несколько снизился. Вместе с тем прогресс техники высоких температур ликвидировал такие недостатки порошковой металлургии, ограничивавшие её развитие такие как трудность приготовления порошков чистых металлов и сплавов: метод распыления даёт возможность с достаточной полнотой и эффективностью удалить в шлак примеси и загрязнения, содержащиеся в металле до расплавления.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР

Лист

15



Благодаря созданию методов всестороннего обжата порошков при высоких температурах в основном преодолены и трудности изготовления беспористых заготовок крупных размеров.

На основании результатов изучения инструментов с вращающейся круглой режущей частью был разработан ряд схем ротационного резания, различающихся ориентацией оси вращения и плоскости режущей кромки относительно вектора скорости главного движения. Различают две геометрические схемы ротационного резания, отличающиеся функциями, которые выполняют торец и боковая поверхность режущей чашки. Общепринято, что при первой геометрической схеме торец чашки выполняет функции передней поверхности, а боковая часть – соответственно задней поверхности лезвия инструмента. При противоположном выполнении функций торцом и боковой поверхностью чашки имеет место вторая геометрическая схема ротационного резания. При различных схемах резания ротационный инструмент определенным образом устанавливается относительно обрабатываемой поверхности. В общем случае ось резца имеет два угла наклона относительно координатных осей станка или заготовки.

Рассмотрим схемы ротационного резания применительно к точению – наиболее общему и распространенному методу лезвийной обработки резанием [7]. На рисунке 6 а, б, в показаны варианты установки ротационного инструмента по первой геометрической схеме. При установке по схеме, представленной на рисунке 6 а, плоскость режущей кромки и вершина резца соответственно располагаются на уровне оси центров станка. Вращение инструмента осуществляется принудительно. На практике такая схема реализована при обработке титановых и других труднообрабатываемых сплавов с повышенными глубинами резания. Наклон оси резца относительно направления подачи на угол и обеспечивает его самовращение при обработке. В зависимости от направления поворота различают прямую и обратную схемы установки ротационного инструмента.,

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16

При прямой схеме поворот оси осуществляется в направлении, совпадающем с направлением вектора подачи (рис. 6 б). Ротационный резец, ось которого наклонена противоположно вектору подачи, считается установленным по обратной схеме (рис. 6 в).

Первая геометрическая схема может быть использована для ротационной обработки наружных поверхностей, а также плоскостей. Она реализована при точении, строгании, фрезеровании.

Существенным недостатком первой схемы ротационного резания является ограничение размеров шпиндельного узла инструмента с диаметром режущей чашки и высотой центров станков токарной группы традиционной компоновки. Это затрудняет создание надежного жесткого резцового узла. Станкостроители ГДР создали токарные автоматы для обработки роторов и статоров электрических машин с обратным вращением шпинделя и расположением шпиндельного узла ротационного инструмента выше линии центров станка. Это позволило снять ограничение на осевые размеры инструмента.

Другой путь создания надежной опоры для ротационного резца, работающего по первой геометрической схеме, – выполнение ее в виде вилки. Расстояние между опорами вилки выбирается в зависимости от соотношения диаметров режущей чашки и обрабатываемой заготовки. При этом часто режущая чашка служит корпусом для радиальной опоры инструмента, а его ось выполняется неподвижной.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

### Рисунок 6 – Схемы ротационного резания материалов

При разработке многозубых ротационных фрезерных головок к габаритам шпиндельных узлов предъявляются более жесткие требования, поэтому чаще при их конструировании предпочтение отдается подшипникам скольжения. Относительно невысокие скорости резания при строгании по первой геометрической схеме определяют применение в качестве опор строгальных ротационных резцов главным образом подшипников скольжения.

Рассмотрим вторую геометрическую схему ротационного резания, получившую наибольшее распространение (рис. 6 г, д, е, ж). Основные выкладки используются также применительно к точению. Вторая схема отличается наклоном оси резца под двумя углами относительно координатных осей станка: углом разворота оси резца  $\varphi$  относительно

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		18

вектора подачи и углом наклона плоскости режущей кромки  $\omega$  относительно вектора главного движения. Функции передней поверхности инструмента выполняет при этом боковая поверхность чашки, а функции задней – торец чашки. Вершина резца располагается на уровне линии центров станка. Часть режущей кромки находится при этом выше линии центров. Превышение максимально удаленной ее точки рассчитывается по формуле:

$$h = r \cos \beta_y \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{\tan \gamma}{\sin \beta_y} \right)^2}} \right) \quad (1)$$

где  $r$  – радиус режущей чашки лезвия;  $\varphi_y$ ,  $\beta_y$  – углы установки оси резца.

Как и для первой геометрической схемы ротационного резания, для второй схемы также имеет место прямая (рис. 6 г) и обратная (рис. 6 д) схемы установки.

В физико-техническом институте АН БССР разработана вторая геометрическая схема ротационного резания, названная одноповоротной и отличающаяся наличием одного угла разворота оси резца. Установка инструмента в рабочее положение осуществляется плоскопараллельным смещением повернутого на угол  $\varphi$  резца на величину  $H$ , обеспечивающую значение угла  $\omega$  между вектором главного движения  $V$  и плоскостью режущей кромки в нормальном сечении детали, проходящем через вершину резца. Значение  $H$  определяется выражением  $H=R \sin \omega$  ( $R$  – радиус обрабатываемой детали).

На рисунке 6 е показана вторая одноповоротная прямая схема установки ротационного резца при точении, а на рисунке 6 ж – обратная. По аналогии с прямой одноповоротной схемой ротационного резания работает инструмент по методу отслаивания (рис. 5 в). Вершина круглого резца при этом расположена на уровне оси вращения заготовки, а угол разворота оси  $\varphi$

имеет небольшие значения ( $\varphi < 10^\circ$ ). Обработка таким инструментом применяется чаще на обдирочных операциях на жестком оборудовании с вертикальной компоновкой и мощным приводом. Вращение режущей части инструмента осуществляется принудительно с небольшой частотой вращения. В случае, когда ось резца скрещивается с осью вращения детали под прямым углом, а вершина резца расположена на уровне линии центров станка, имеет место так называемое тангенциальное точение (рис. 5 и). Такая схема установки реализуется при принудительном вращении режущей чашки и в чистовых невращающихся резцах.

Описанные схемы ротационного резания используются как во вращающихся, так и в принудительно вращающихся инструментах. В качестве приводов вращения используются электродвигатели, пневмо- и гидромоторы, а также кинематическая связь с приводами главного движения или движения подачи. Ряд конструктивных схем и устройств для принудительного вращения ротационных резцов разработан в Новополоцком политехническом институте.

Первая геометрическая схема ротационного резания отличается от второй меньшим радиусом кривизны проекции активного участка режущей кромки на основную плоскость и, следовательно, меньшим поперечным сечением среза, а поэтому допускает проведение обработки изделий с большими глубинами резания.

Условной вершиной ротационного резца считается точка соприкосновения круговой режущей кромки с обработанной поверхностью. При работе ротационного резца по прямой схеме резания его вершина располагается выше конечной точки контакта и угол наклона режущей кромки  $\lambda$  отрицательный. В этом случае вращающаяся режущая кромка врезается в обрабатываемый материал со стороны обработанной поверхности и выходит из работы в сторону необработанной поверхности изделия, обеспечивая выход образующейся при резании стружки с передней

поверхности ротационного резца в сторону необработанной поверхности. Таким образом, при резании по прямой схеме обработанная поверхность не повреждается сходящей стружкой.

У ротационного резца, установленного по обратной схеме резания, условная вершина расположена ниже конечной точки контакта и угол наклона режущей кромки положительный. При этом режущая кромка врезается в изделие со стороны необработанной, направляя образующуюся при резании стружку в сторону обработанной поверхности.

Вторая геометрическая схема ротационного резания по сравнению с первой имеет следующие преимущества: устойчивое самовращение режущей чашки инструмента в широких диапазонах значений углов его установки; возможность применения достаточно жестких, с большой несущей способностью подшипниковых узлов; возможность создания ротационных резцовых узлов, удобных для оснащения ими станков различных групп – токарных, расточных, фрезерных, строгальных, шлифовальных, в том числе для оснащения многолезвийным и комбинированным инструментом; получение более высокого класса шероховатости обработанной поверхности; допускается обработка изделий с большими продольными и поперечными подачами благодаря большому радиусу кривизны следов кругового режущего лезвия, остающихся на обработанной поверхности изделия; меньший износ режущей чашки и сокращение расхода инструментального материала; большое число допустимых переточек режущей чашки (до 25 – 30 раз) без ухудшения работоспособности более высокий коэффициент использования инструментальных материалов; более удачное направление силы резания относительно опорных поверхностей суппорта станка; удобная установка и присоединение к хвостовику шпинделя различных приводов для принудительного вращения режущей чашки, удобный подвод во внутреннюю полость шпинделя или корпуса смазочно-охлаждающей жидкости, подсоединение к хвостовику шпинделя, виброгасителей различных типов;

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

более рациональное направление схода стружки с передней поверхности режущей чашки в свободную сторону, благодаря чему она непрерывно направляется в лоток станка, не накапливаясь в рабочей зоне; возможность конструирования многолезвийных ротационных инструментов для операций растачивания, фрезерования, протягивания и строгания.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		22

## 1.2 Основные характеристики порошков и стружек

При изготовлении изделий способами порошковой металлургии, необходимо учитывать свойства, которыми обладают используемые порошковые материалы. Их необходимо учитывать в первую очередь для того, чтобы при изготовлении изделия использовались порошковые материалы, которые обладают свойствами, требуемыми от готового изделия, а также для повышения производительности и экономической эффективности. Эти свойства, и методы их определения, стандартизованы и указаны в ГОСТах.

Порошковые материалы – полидисперсные системы, состоящие из частиц различной крупности; диапазон размеров частиц порошков, получаемых различными способами, очень широк [3]. Порошковые материалы характеризуют по физическим, химическим и технологическим свойствам.

К физическим свойствам порошковых материалов относят:

### 1. Форма частиц

В зависимости от метода получения форма частиц порошка может быть сферической, губчатой, осколочной, тарельчатой, дендритной, каплевидной. Первичная форма частиц может несколько видоизменяться при последующей обработке порошка. Форма частиц существенно влияет на технологические свойства порошка, а также плотность, прочность и однородность свойств заготовок из него.

### 2. Размер и гранулометрический состав

В зависимости от набора размеров частиц порошки характеризуются фракционным или гранулометрическим составом. Фракция – диапазон размеров частиц между их максимальными и минимальными значениями. Гранулометрический состав – это процентное содержание частиц порошка во фракциях по отношению к их общему количеству. Частицы имеют

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23



неправильную геометрическую форму, их взаимоориентировка случайна, поэтому размер для расчета определяют в одном каком-либо направлении.

### 3. Удельная поверхность

Удельная поверхность порошка представляет собой сумму наружных поверхностей всех частиц, имеющих в единице его объема или массы. Для металлических порошков характерна поверхность от 0,01 до 1 м<sup>2</sup>/г, хотя в отдельных случаях у очень мелких порошков она может достигать и значительно большей величины. Удельная поверхность влияет на поведение порошков при формовании и спекании. Она зависит от размера и формы частиц.

### 4. Микротвердость

Микротвердость частицы порошка характеризует ее способность к деформированию, что важно для оценки возможного поведения порошка при формовании. Она в значительной степени зависит от содержания в частицах порошка различных примесей и искаженности кристаллической решетки.

К технологическим свойствам относят:

#### 1. Насыпная плотность

Насыпная плотность – масса единицы объема свободно насыпного порошка. Она определяется плотностью материала порошка, размеров и формой его частиц плотностью их укладки и состоянием поверхности. Более высокую насыпную плотность обеспечивают сферические частицы. Для полидисперсных порошков существует оптимальный гранулометрический состав, обеспечивающий максимальную насыпную плотность, когда мелкие частицы заполняют пустоты между крупными. От насыпной плотности порошка зависят производительность прессов и размеров транспортирующих и запасных емкостей для порошка.

#### 2. Текучесть

Текучесть порошка характеризует его способность с определенной скоростью вытекать из отверстий, что очень важно для рациональной

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		24

роганизации процесса прессования: хорошая текучесть нужна для быстрого и равномерного наполнения прессформы при объемном дозировании порошка.

### 3. Уплотняемость

Уплотняемость порошка показывает его способность изменять начальную плотность укладки частиц в процессе прессования. Эта характеристика оценивается по плотности прессовок, изготовленных при давлении 200, 400, 500, 600 и 800 МПа в цилиндрической пресс-форме.

### 4. Прессуемость

Прессуемость порошка оценивают его способностью образовывать прессовку под воздействием определенного давления. Эта характеристика дает качественную оценку свойств порошка, комплексно связанную с уплотняемостью и формуемостью.

### 5. Формуемость

Формуемость порошка оценивает его способность сохранять приданную ему форму при прессовании в заданном интервале пористости. Эта характеристика порошка определяется при прессовании навески массой не менее 200 грамм. В пресс-форме с последующим определением границ (минимального и максимального значения) интервала пористости (плотности) при котором прессовки после извлечения из пресс-формы не осыпаются и не имеют расслоения. Формуемость порошка зависит от формы, размера и состояния поверхности частиц.

В процессе образования стружки ее элементы получают трапециевидную форму; при этом большее основание трапеции располагается со стороны передней грани резца. Вследствие этого стружка, представляющая собой совокупность ряда таких элементов, не получается прямолинейной, а завивается, отступая от передней грани резца. Такое формообразование стружки называют завыванием.

### 6. Коэффициент усадки.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

В процессе образования стружки наблюдается укорачивание стружки по длине и разбухание по ширине; это явление очень заметно при обработке вязких металлов и мало заметно при обработке хрупких; оно называется усадкой стружки. Величина усадки характеризуется коэффициентом усадки и обозначается через  $K$ .

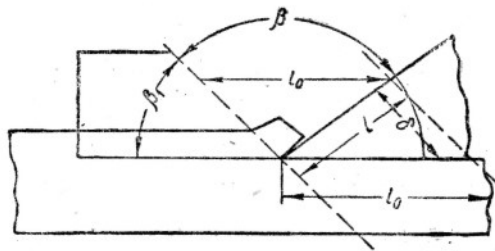
#### 7. Наклеп металла при резании.

В процессе обработки резанием слой металла, прилегающий к обрабатываемой поверхности, приобретает наклеп. Глубина наклепанного слоя зависит главным образом от геометрической формы резца, режима резания и свойств обрабатываемого материала; для вязких материалов она больше, чем для хрупких.

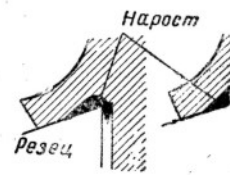
#### 8. Наростообразование.

В процессе резания металла на передней грани резца вблизи режущей кромки возникает нарост, состоящий из частиц обрабатываемого металла. Иногда высота такого нароста достигает нескольких миллиметров. Структура нароста существенно отличается от структуры обрабатываемого материала. Твердость материала нароста может достигать такой величины, что нарост сам может резать металл, из которого он образовался. Схема образования нароста показана на рисунке 7. Нарост уменьшает угол резания, если он больше  $60^\circ$ , предохраняет резец от негрева и увеличивает его стойкость. Нарост отрицательно влияет на качество обрабатываемой поверхности, делая ее более шероховатой. Нарост появляется преимущественно при обработке вязких металлов. Замечено, что нарост возникает при некоторых средних скоростях резания. При малых и больших скоростях резания нарост имеет пониженное значение и уменьшается с увеличением переднего угла. Применение смазочноохлаждающих жидкостей уменьшает нарост.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		26



Фиг. 405. Усадка стружки.



Фиг. 406. Образование нароста.

## Рисунок 7 – Усадка стружки и наростообразование

Использование металлической стружки для производства ферросплавов

Феррославы – это сплавы железа с другими элементами, например хром (Cr), кремний (Si), марганец (Mn), титан (Ti), которые применяются главным образом для раскисления и легирования стали. Именно за счет этих свойств качество металла улучшается, при добавлении в него металла, материал становится более износостойким и выдерживает достаточно серьезные нагрузки.

Такие материалы достаточно часто используются в при проектировании сложных систем, в строительстве, для повышения прочности металлических конструкций, в промышленности. Обычно инженеры на чертежах указывают с какими добавками должен быть тот или иной элемент конструкции.

Одним из, но не самым последним нюансом выплавки ферросплавов является металлическая стружка. Дело в том, что руды хрома, кремния, марганца, титана сами по себе уже обладают некоторым содержанием железа, но не всегда содержания железа в руде достаточно чтобы получить материал, который соответствует заданным параметрам. Для того, чтобы выплавка достигала нужных показателей – используют металлическую стружку.

Удобно использовать именно стружку, потому что очищенная стружка – это достаточно недорогое сырье, также зная какой вид производства обеспечил это сырье и проведя несколько простых видов анализа можно определить объёмы использования этого материала.

									Лист
									27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР				

Различные предприятия, которые занимаются производством ферросплавов знают, что приобрести металлическую стружку не так-то просто, нужно знать достаточно много нюансов. Чтобы не отвлекаться от основного производства и не тратить время – лучше всего обратиться в специализированный прием металлического лома (в том числе и металлической стружки). Такие специализированные поставщики обладают опытом, имеют широкие, наработанные годами связи и могут обеспечить производство необходимым объемом заранее. Это очень удобно – потому что в современных условиях самым ценным ресурсом является время, время невосполнимо, а поставки выполнимых ресурсов предоставьте специалистам.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

### 1.3 Сущность и особенности ротационного фрезерования

При переходе от традиционного резания к ротационному относительное скольжение в контакте рабочих поверхностей инструмента с обрабатываемым материалом заменяется на качение с долей проскальзывания. Доля проскальзывания характеризует степень реализации основного принципа ротационного резания в конкретном инструменте и определяется кинематическим коэффициентом  $K$ , равным отношению линейных скоростей резца  $V_p$  и детали  $0_d$  при резании:  $K = V_p / 0_d$ .

Взаимное качение двух тел возможно, если хотя бы одно из них является телом вращения. Так как обрабатываемые детали могут иметь различную форму и нецелесообразно ограничивать их применение в процессе резания только вращательным движением, форма тела вращения придается инструменту. Переход к ротационному резанию предполагает относительное перемещение режущего лезвия в касательном направлении, а в более простом случае режущая часть инструмента имеет круговую режущую кромку. Тогда касательное перемещение означает вращение ее вокруг собственной оси[5].

Таким образом, в процессе ротационного резания происходит непрерывная смена контактных поверхностей не только детали, но и инструмента. Кроме того, непрерывное осуществление принципов ротационного резания, обеспечивающее повышение эффективности лезвийной обработки.

Принцип периодизации работы режущего лезвия широко используется в невращающихся инструментах. Применение инструментов, оснащенных не вращающимися в процессе работы круглыми пластинками, повышает в первую очередь размерную стойкость, позволяет вести обработку на повышенных подачах. Они широко применяются на автоматических линиях как в токарных, так и фрезерных головках. После

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

износа участка режущей кромки пластинка поворачивается вручную на некоторый угол.

Такой принцип используется в ряде токарных инструментов, разработанных во ВНИИ, а также в конструкции Ю. Д. Лигского [6]. Более рационально применение принудительного периодического поворота режущей пластинки, который может выполняться после заданного количества проходов или определенного времени наработки. Известны конструкции с электромагнитным приводом поворота пластины, содержащие как программное управляющее устройство, так и рычажный привод. При этом поворот может осуществляться после полного износа участка режущей кромки с заданным шагом или систематически с многократным вводом в работу одного и того же участка.

Державка для круглых чашечных резцов (рис. 8) обеспечивает автоматический периодический поворот режущей кромки, так как она снабжена электромагнитом, сердечник которого связан с храповым механизмом поворота оси чашечного резца. Чашечный резец 1 установлен на оси 2. На ее противоположном конце помещено храповое колесо 8, в зацеплении с которым находится собачка 9, связанная со стойкой 7. Продольное перемещение собачка получает от электромагнита 6, якорь которого шарнирно соединен с тягой 3. В исходное положение подвижная система возвращается под действием пружины 5. Все элементы собираются в корпусе 4. Электромагнит получает сигнал от реле времени или от счетчика проходов. Таким образом, периодический ввод в работу нового участка режущей кромки может задаваться либо периодом стойкости, либо количеством обработанных деталей.

Резцы с круглой твердосплавной пластиной используются в токарных автоматах фирмы «Джонс энд Лэмсон» для обточки роторов электродвигателей небольших размеров. Станок снабжен устройством для импульсного компенсационного перемещения на 0,01 мм и механизмом

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

поворота режущей пластины. При повороте ее на  $3^\circ$  изношенный участок лезвия заменяется новым. После нескольких поворотов используется весь периметр режущей кромки, что позволяет обработать около 3000 деталей.

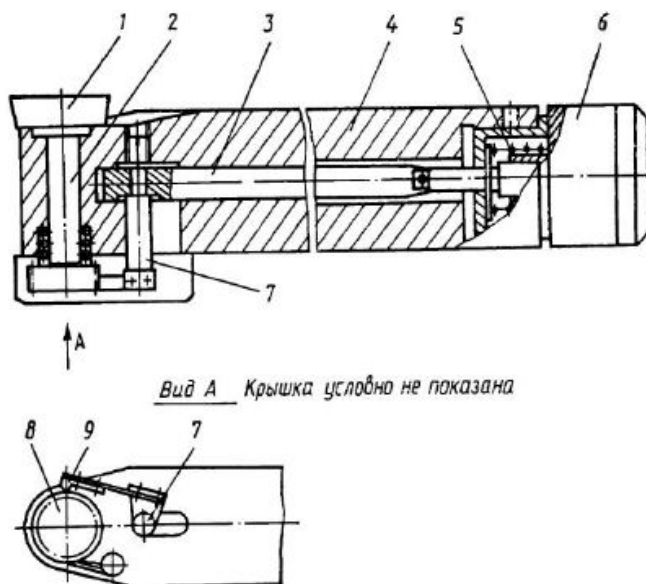


Рисунок 8 – Чашечный резец с автоматическим периодическим поворотом режущей чашки

Для фрезоточения характерны соизмеримые по скорости вращательные движения инструмента и детали. Сущность способа заключается в том, что резцу кроме поступательного движения вдоль оси детали придается вращение вокруг оси, не пересекающейся с осью вращения детали. При этом ось вращения резца перпендикулярна или наклонена под углом к оси детали. Количество режущих лезвий может быть значительным – до десяти и более. В результате сочетания вращения резца и его продольного перемещения режущие лезвия описывают циклоиды относительно неподвижной поверхности детали, а при ее вращении – винтовые циклоиды. В качестве режущего инструмента может применяться долбяк. Преимуществами такого способа являются деление стружки на короткие заданной длины куски, повышение стойкости режущего лезвия, возможность съема значительных припусков за один проход при небольшой глубине



резания на каждый зуб, повышение производительности обработки, улучшение обрабатываемости вязких и жаропрочных материалов.

Разработаны также специальные устройства для токарных станков больших габаритов, содержащие индивидуальный привод, коробку передач и механизм радиального перемещения. Такие устройства устанавливаются вместо стандартного суппорта и оснащаются торцовыми фрезерными головками или концевыми пальцевыми фрезами. Наиболее эффективно их применение при черновой и получистовой обработке вязких и труднообрабатываемых материалов. Обеспечение кинематического стружкодробления и периодизация процесса резания позволяют увеличить производительность обработки в 3 раза.

Принцип обновления активной части режущих инструментов путем их касательного перемещения в процессе резания также используется для повышения их работоспособности. При точении призматическая пластина устанавливается под углом к оси заготовки и перемещается в процессе работы посредством кинематической связи с механизмом подач станка или с помощью дополнительного привода. Это обеспечивает кинематическое заострение режущего лезвия, повышает прочность режущего клина, так как возможно применение инструмента со значительным углом заострения.

При высокой жесткости оборудования для автоматического замещения изношенного участка режущей кромки применяют резцы без вершины, расположенной под углом к оси обрабатываемой детали. Перемещая широкую призматическую пластину, систематически заменяют изношенный участок лезвия. При перемещении резца после каждого прохода на величину, превышающую активную длину режущей кромки, периодически восстанавливается ее работоспособность. Режущая часть инструмента выполняется в виде диска, имеющего спиральную нарезку, с режущей кромкой на переднем торце. Режущая часть медленно вращается

вокруг оси, постоянно обновляя таким образом режущую кромку. За время оборота резца обрабатывается вся деталь.

Важным преимуществом процесса ротационного резания материалов является обеспечение высокого качества обработанных поверхностей деталей при многократном повышении производительности по сравнению с известными способами металлообработки. Стойкость ротационных резцов в десятки раз больше, чем призматических, благодаря чему значительно увеличивается их размерная стойкость. Это позволяет получать на крупногабаритных деталях обработанные длинномерные поверхности с высокой точностью геометрической формы.

Достигаемые при ротационном резании материалов небольшая шероховатость обработанной поверхности и высокая геометрическая точность формы позволяют исключать из технологического процесса последующие чистовые операции шлифования, шабрения.

В результате ротационной обработки плоскости разъема корпуса паровой турбины, размер наибольшей стороны которой достигает 4 м, неплоскостность на длине 1000 мм не превышала 10 мкм и параметр Ra равнялся 1,0-1,2 мкм, что позволило отказаться от последующей весьма трудоемкой операции ручного шабрения плоскости разъема. Обработка ротационным резанием набивных валов суперкаландров бумагоделательных машин длиной более 8000 мм и диаметром до 800 мм позволила получить валы с разностью диаметров в начале и конце прохода не более 10 мкм, подобный результат не был достигнут даже при использовании алмазного резца.

Невысокая температура резания при работе ротационных режущих инструментов, а также их большая стойкость позволяют в 4 – 8 раз увеличить скорость обработки и улучшить использование свойств твердосплавной чашки. Благодаря этому существенно улучшается обрабатываемость и уменьшается шероховатость поверхности при резании

труднообрабатываемых материалов, таких, как жаростойкие, жаропрочные, нержавеющие стали, порошковые материалы, износостойкие упрочняющие покрытия и др. Увеличение скорости резания приводит к повышению производительности обработки.

Особенности кинематики и геометрической формы лезвия ротационного инструмента позволяют в несколько раз увеличить подачу инструмента по сравнению с обработкой призматическим токарным резцом, что способствует еще большему повышению производительности процесса.

Пониженная температура ротационного резания позволяет производить с большой скоростью обработку материалов с низкой температурой воспламенения, например титана и его сплавов. С целью предотвращения самовоспламенения срезаемой стружки некоторые титановые сплавы могут обрабатываться призматическим резцом только с невысокими скоростями резания, не превышающими 1 – 2 м/с. Вследствие высоких физико-механических свойств титановых сплавов, их большой вязкости и прочности при малых скоростях резания образуется неровная, с макро- и микротрещинами, задирами и большой шероховатостью поверхность. И только увеличение скорости резания в несколько раз, что возможно при использовании ротационного режущего инструмента, обеспечивает хорошую обрабатываемость титановых сплавов и позволяет получить небольшую шероховатость обработанной поверхности.

## Выводы

Проанализированы методы получения порошков и волокон такие как: механические и физико-химические. Механические методы обеспечивают превращение исходного материала в порошок без заметного изменения его химического состава. Физико-химическим методы относят технологические процессы производства порошков, связанные с физико-химическими превращениями исходного сырья.

Порошковые материалы характеризуются по физическим свойствам: форма частиц, размер и состав, удельная поверхность, микротвердость; технологическим: насыпная плотность, текучесть, уплотняемость, прессуемость, формуемость.

В процессе ротационного резания происходит непрерывная смена контактных поверхностей не только детали, но и инструмента. Кроме того, непрерывное осуществление принципов ротационного резания, обеспечивающее повышение эффективности лезвийной обработки.

В ходе рассуждения определения геометрической схемы было принято использовать вторую геометрическую схему для дальнейших исследований.

## Цель и задачи

Цель работы: создание методики определения размеров элементной стружки при ротационном фрезеровании.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать получение порошков и волокон, применяемых в различных отраслях промышленности;
- разработать методику экспериментального подтверждения адекватности математической модели;
- смоделировать формообразование элементной стружки ротационным фрезерованием;
- спроектировать конструкцию ротационной фрезы;
- оценить экономическую эффективность операции получения элементной стружки ротационным фрезерованием.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

## 2. Методика проведения исследований

В данном разделе изложены методика экспериментального определения длины стружки при ротационном фрезеровании, в которой при помощи разнозубых режущих элементов и изменении глубины резания меняется длина стружки.

В ходе рассуждения в разделе 1, пункте 1.1 было принято использовать вторую геометрическую схему для дальнейших исследований.

### 2.1 Методика экспериментального определения длины стружки при ротационном фрезеровании

#### Рисунок 9 – Расчетная схема ротационного фрезерования

Как показано в работе [8] существенное влияние на длину стружки оказывают глубина резания  $t$  (рис. 9), угол разворота режущего блока  $\lambda$  и угол при вершине режущего элемента  $\varphi$ . Для проверки данных теоретических

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
						37
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

положений были проведены экспериментальные исследования процесса ротационного фрезерования. Они выполнялись на консольном вертикально-фрезерном станке СФ-15 (рис. 10). При проведении исследований в качестве материала заготовки использовался капролон. Детали из капролона являются долговечными и хорошо поглощают ударные нагрузки, благодаря чему довольно часто такой полимер ассоциируют с заменителем сплавов и металлов в деталях, которые подвергаются сильному износу за счет силы трения.

Рисунок 10 – Станок СФ–15

В качестве инструмента используется ротационная фреза с одним режущим блоком (рис. 11), имеющим зубчатый и гладкий режущий элементы. Для исследования влияния на длину стружки угла при вершине фрезы эксперименты проводились с режущими зубчатыми элементами, имеющими 20 и 50 зубьев (т.е. с углами при вершине  $9^\circ$  и  $3^\circ 36'$  соответственно, рис. 12 а, б). Фреза состоит из державки, вилки, которая в свою очередь, включает в себя режущий элемент, который совместно вращается в опоре вилки. Режущий элемент представляет собой диск с конической поверхностью. Режущий элемент имеет на конической поверхности зубья трапецеидальной формы. Режущие элементы с различным количеством зубьев влияют на

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
						38
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

форму снимаемой стружки, то есть на ширину (рис. 12 а, б) в зависимости от глубины резания.

С определенной глубиной резания ( $t = 1..3$  мм) и углом поворота фрезы в корпусе ( $\lambda = 15 \dots 75^\circ$ ) с заготовки снималась стружка. Необходимо было измерить длину полученную стружки, так как при разном угле поворота и глубине резания она была различна. Всего было проведено порядка 30 прогонов фрезы по заготовке.

Рисунок 11 – Режущий блок

а)                      б)

Рисунок 12 – Параметры резцов

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39



Полученная стружка в ходе испытаний измерялась. Для этого из каждого опыта было взято по 20 элементов, не имеющих дефектов (сколов, слипания), т.е. наиболее близких к идеальному процессу.

Методика измерений заключалась в следующем. Для фиксации размеров отобранных элементов стружки использовался цифровой фотоаппарат. Было решено измерять стружку по стандартной линейке (рис.13) для определения размеров стружки.

Стружка оказалась завитой и ее необходимо помещать в кипяток, чтобы выпрямить. Далее выпрямленную стружку кладем на ровную контрастную поверхность во избежание различных бликов. Прикладываем параллельную линейку с миллиметровым обозначением и делаем фотоснимок для дальнейшей обработки расчетов.

Рисунок 13 – Измерение стружки. Снимок стружки до обработки

После чего снимок загружается в графический редактор Paint (рис.14). Подводя курсор к одной из точек определяем координаты в пикселях. Так как разрешение фотографии высокое (2592x1944 пикселей), то считаем сколько пикселей идет на 1 мм.

A1(1048; 771); A2(1078; 771)

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

$$1 \text{ мм} = 1078 - 1048 = 30 \text{ пикселей}$$

1 мм имеет размерность в 30 пикселей.

Посчитаем длину указанной стружки сначала в пикселях, потом переведем в миллиметры.

Рисунок 14 – Снимок стружки в Paint

Б1(951; 635); Б2(1180; 635) – длина указанной стружки

$$L = 1180 - 951 = 229 \text{ пикселей}$$

$$L = \frac{229}{30} = 7,6 \text{ мм}$$

Пример полученных размеров для одного из опытов в порядке увеличения длины представлен в табл. 1

Таблица 1

Экспериментальная длина стружки

№ изм.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
длина,	5,2	6,5	6,8	7,4	7,4	7,5	7,6	7,6	7,7	7,7

					<b>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</b>					Лист
										41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ММ										
№ изм.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
длина, мм	8,1	8,4	8,4	8,5	8,6	8,8	8,96	9,5	9,6	9,8

Далее произведены статистические математические расчеты.

Экспериментальная длина стружки в каждом опыте определялась путем средних арифметических выбранных элементов по формуле

$$l_{\text{эксп}} = \frac{\sum l_i}{n} \quad (2)$$

где n – число измерений.

$$l_{\text{эксп}} = \frac{200}{20} = 10 \text{ мм}$$

Одним из параметров, позволяющих оценить качество проведенных экспериментальных исследований, является коэффициент вариации V. Он характеризует различие значений какого-либо признака у разных единиц совокупности за один и тот же промежуток времени. Определяется по формуле

$$V = \frac{\sigma_x}{X_{\text{ср}}} \times 100\% \quad (3)$$

$$V = \frac{0,8441}{37,5} \times 100\% = 2,25$$

где  $\sigma_x$  – среднеквадратическое отклонение

$X_{\text{ср}}$  – среднее значение

В свою очередь  $\sigma_x$  определяется как

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} \quad (4)$$

при  $D_x = M(X^2) - (M(X))^2$  – дисперсия случайной величины

где  $M(X^2)$  – квадрат случайной величины

$M(X)$  – математическое ожидание

Оценка полученных экспериментальных значений проводилась сравнением экспериментальной с теоретической длиной, (получена в 3.2) определяемых на основе разработанной математической модели процесса получения элементной стружки при ротационном фрезеровании [9], т.е.

$$\Delta = \frac{l_{\text{теор}} - l_{\text{эксп}}}{l_{\text{теор}}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\Delta = \frac{12,011 - 10}{12,011} \times 100\% = 16,74\%$$

Полученные данные сведем в табл.2

Таблица 2

Сравнение длин теоретической и экспериментальной

№ опыта (шрифт)	l, мм теор.	l, мм эксп.	Δ, %	V, %
1	15,275	15	1,8	1,5
2	14,292	23	60,929	2,34
3	13,29	20	50,489	1,87
4	12,298	15	21,97	3,4
5	11,353	7,5	33,938	16,2
6	10,5	12	14,2857	1,83
7	9,793	15	53,72	3,15
8	23,962	28	16,851	4,93
9	22,312	16	28,2897	1,336
10	20,61	28	35,85638	5,147
11	18,9	18	4,76	6,06
12	17,239	20	16,02	4,51
13	15,702	14	10,84	3,17
14	14,381	18	25,17	3,564
15	11,723	16	36,48384	12,15
16	10,768	13	20,728	2,485
17	9,778	18	84,086	3,741
18	8,776	18	105,1	7,876
19	7,792	12	54	2,66
20	6,873	11	60	1,96
21	6,08	7	15,13	2,74
22	20,129	16	20,51	4,3
23	18,544	19	2,46	5,934
24	16,895	22	30,21	2,66
25	15,22	16	5,12	2,84
26	13,568	12	11,55	3,65
27	12,011	10	16,74	2,25
28	10,646	10	6	4,5
X			30,02059	4,24

Исходя из проведенных опытов и последующей статистической обработки полученной стружки она получается небольшого размера. Но при этом из-за высоких температур, трения режущего инструмента о заготовку стружка склеивалась, что привносило сложности в процесс ее измерения.

Как видим, среднее расхождение теоретической и экспериментальной длин в районе 30%. Расхождение обосновано тем, что при экспериментах нет идеальных условий.

Но средний коэффициент вариации за 28 опытов говорит о допустимой для техники степени рассеивания результатов.

Таким образом, разработанная методика экспериментального измерения длины стружки пригодна для практического использования и обеспечивает получение адекватных результатов.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

## 2.2 Анализ геометрических параметров режущего лезвия ротационной фрезы

Основной частью любого инструмента является режущая, представляющая собой один или несколько режущих зубьев. Зуб инструмента представляет собой клин, образованный пересечением передней и задней поверхностей. Расположение режущего клина относительно поверхности резания характеризуют геометрические параметры, которые определяют характер протекания процесса резания. Величины геометрических параметров в любой точке режущей кромки характеризуются значениями переднего  $\gamma$ , заднего  $\alpha$  углов и угла наклона режущей кромки  $\lambda$ . При этом углы могут задаваться при конструировании, изготовлении и эксплуатации. Зачастую геометрические параметры при работе и изготовлении инструмента существенно отличаются [5].

Для большинства инструментов геометрические параметры различны для разных точек режущей кромки. При этом величины геометрических параметров в одних точках режущей кромки определяют геометрические параметры в других точках, а потому их нельзя выбирать произвольными. В настоящее время нет обоснованных и четких рекомендаций по выбору геометрических параметров при известном законе их изменения вдоль кромки. В первом приближении в базовых наиболее нагруженных точках можно принимать оптимальные величины углов. Если же наблюдается резкое изменение геометрических параметров, то целесообразно в базовых точках создавать такие углы, чтобы их средние величины были близки к оптимальным. Удачное решение задачи обеспечения постоянных и близких к оптимальным значениям углов вдоль режущей кромки позволяет получить эффективный инструмент с высокими режущими свойствами. Отклонение от оптимальных величин геометрических параметров приводит к падению стойкости, производительности, ухудшению качества обработанной поверхности и др. [8]

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		45

Углы режущего инструмента сильно влияют на систему резания, и в общем случае выбор углов заточки режущего инструмента определяется материалом детали и режущей части инструмента, схемой обработки, видом инструмента.

Главный задний угол  $\alpha$  предназначен для уменьшения трения главной задней поверхности с поверхностью резания, а увеличение этого угла приводит к снижению прочности лезвия инструмента.

Передний угол  $\gamma$  оказывает большое влияние на процесс резания и определяет стойкость режущего инструмента. Если увеличить  $\gamma$  деформируемость срезаемого слоя становится меньше, также меньше сила резания и мощность, качество поверхности и сход стружки становятся лучше. Но если же превысив увеличение угла  $\gamma$ , это может привести к повышенному износу из-за выкрашивания и низкого теплоотвода.

Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  не только определяет сход стружки. Положительный угол  $\lambda$  служит также для упрочнения режущей кромки, так как в момент врезания резца ударная сила приходится не на вершину лезвия, а на более прочное место режущей кромки, удаленное от вершины. При чистовой обработке брать  $\lambda > 0$  не рекомендуется, так как стружка может наматываться на заготовку и царапать обработанную поверхность.

Недостатком конструкции является невозможность регулирования величины угла установки, что обусловлено жестким закреплением резцовых блоков в корпусе фрезы. Это значительно сужает диапазон применения таких фрез для обработки других материалов. Недостатками определения исходных углов являются высокая трудоемкость, низкая точность, необходимость предварительного вычисления вспомогательных параметров.

Конструкция ротационного инструмента не очень простая, помимо того, что сам режущий элемент представляет собой тело вращения в виде усеченного конуса. Процесс деформирования срезаемого слоя при

превращении его в стружку и изнашивание контактных поверхностей инструмента определяется не величиной углов заточки, получившихся в результате изготовления инструмента, а величиной рабочих углов, образующихся при рабочем движении фрезы в процессе резания. Чтобы обеспечить устойчивость вращения, режущий элемент устанавливают с некоторым наклоном главной режущей кромки, обеспечиваемым поворотом вокруг оси в корпусе. Это приводит к переменной геометрии режущего лезвия и существенному различию углов на разной глубине резания.

Рассмотрим геометрические параметры для ротационной фрезы, работающей по первой геометрической схеме резания [5, 8].

В работе [3] авторы определяют углы при сечении режущего элемента как у обычного токарного резца. Главный задний угол  $\alpha$  – угол между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания. Главный передний угол  $\gamma$  – угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания, проведённой через главную режущую кромку. Угол  $\lambda$  – угол между главной режущей кромкой и плоскостью, проведённой через вершину резца параллельно основной плоскости. При этом для ротационных фрез существует значительное различие статических и рабочих углов инструмента. Определение рабочих углов производится последовательным проецированием векторов скоростей движения инструмента и направленных отрезков, характеризующих положение в пространстве передней и задней поверхностей и режущей кромки инструмента (рис. 15).

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47



Рисунок 15 – Схема определения геометрии режущей кромки

Методика доведена до аналитического решения, однако ее применение затруднительно вследствие переменности знаков некоторых параметров, входящих в приведенные зависимости. Обоснованный выбор знаков возможен только на основе выполнения описанной процедуры проецирования. На сегодняшний день данные рабочие углы можно определять графически при помощи созданной с использованием САД системы модели (рис. 16) схемы установки режущего элемента относительно заготовки. Такая процедура не занимает много времени, а точность измерения углов настраивается в системе и практически не ограничена.

а)

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48

б)

Рисунок 16 – Схема установки резца: а – определение переднего  $\alpha_r$ , заднего  $\gamma_r$  рабочих углов, угла поворота  $\lambda$ , угла контакта  $\theta$ , б – определение угла режущей кромки  $\lambda_r$  и глубины резания  $t$

Методика измерения рабочих углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$  заключалась в последовательном построении различных плоскостей и линий в соответствии с определениями этих углов.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Была задана плоскость перпендикулярная плоскости заготовки с углом контакта  $\theta$  фрезы с заготовкой. Далее была задана осевая плоскость, угол контакта, режущего элемента относительно которой задавалась еще одна плоскость, угол поворота  $\lambda$  режущего элемента. Введена плоскость, отвечающая за глубину резания  $t$ . Были построены эскизы корпуса, вращающегося с некоторой скоростью по окружности, определяющей линейную скорость  $V_k$  и скорость режущего элемента  $V_{\text{реж.эл.}}$  в рассматриваемой точке. На основе этих скоростей векторным произведением определена результирующая скорость  $V_{\text{рез}}$ . На основе положений рабочих углов  $\alpha_r$ ,  $\gamma_r$ ,  $\lambda_r$  были построены эскизы заданных прямых и исходя из этого уже есть возможность определить рабочие углы. В ходе поворота режущего элемента угол  $\lambda$  изменялась и результирующая скорость, вследствие этого изменялись и рабочие углы.

Полученные значения при различной глубине резания  $t$  и углах разворота режущего элемента  $\lambda$  приведены в табл. 3 и представлены на рис. 17.

Таблица 3

Рабочие углы ротационной фрезы

$\lambda$ , град	$t$ , мм	$\alpha_r$ , град	$\gamma_r$ , град	$\lambda_r$ , град
15	0	10	15	0
	1	5,414	19,586	-1,32
	2	3,713	21,287	-2,25
	3	2,504	22,496	-3,09
30	0	10	15	0
	1	0,24	24,76	-2,68
	2	-3,27	28,27	-4,54
	3	-5,712	30,712	-6,2
45	0	10	15	0
	1	-6,43	31,43	-4,12
	2	-11,939	36,939	-6,93
	3	-15,603	40,603	-9,36
60	0	10	15	0
	1	-16,531	41,531	-5,83
	2	-24,073	49,073	-9,5
	3	-28,661	53,661	-12,5

Продолжение таблицы 3

75	0	10	15	0
	1	-35,11	60,11	-7,95
	2	-43,029	68,029	-12,06
	3	-47,11	72,11	-15,2
0	0	10	15	0
	1	15	10	0
	2	15	10	0
	3	15	10	0
-15	0	10	15	0
	1	14,586	10,414	1,32
	2	16,287	8,713	2,25
	3	17,496	7,504	3,09
-30	0	10	15	0
	1	19,76	5,24	2,68
	2	23,27	1,73	4,54
	3	25,712	-0,288	6,2
-45	0	10	15	0
	1	26,43	-1,43	3,57
	2	31,939	-6,939	7,03
	3	35,603	-10,603	10,1
-60	0	10	15	0
	1	36,531	-11,531	5,83
	2	44,073	-19,073	9,5
	3	48,661	-23,661	12,5
-75	0	10	15	0
	1	55,110	-30,11	7,95
	2	63,029	-38,029	12,06
	3	67,89	-42,89	15,2

Данные результаты представлены графически в зависимости от глубины резания на каждый угол поворота (рис.18) и рабочие углы относительно угла поворота (рис.19)

На основе этих графиков можно сделать выводы, что независимо от угла поворота и глубины резания рабочие углы имеют один характер изменения. Проиллюстрируем для  $t = 2$  (рис. 19). При увеличении угла поворота  $\lambda$  угол  $\alpha_p$  гиперболически уменьшается,  $\gamma_p$  наоборот – гиперболически увеличивается.  $\lambda_p$  при увеличении  $\lambda$  – монотонно уменьшается.

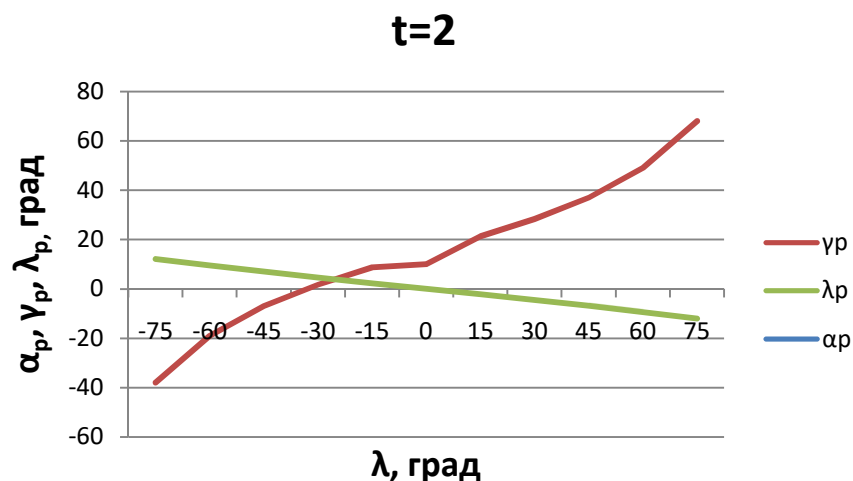


Рисунок 17 – Изменение рабочих углов относительно угла поворота

Сравним найденные значения углов с величинами, полученными в работе [10] (табл. 4).

Таблица 4

Сравнение методик

$\lambda$	Величины углов по разработанной методике			Величины углов по методике В.Ф. Боброва [10]			Расхождение, %		
	$\alpha_p$	$\gamma_p$	$\lambda_p$	$\alpha_p$	$\gamma_p$	$\lambda_p$	$\alpha_p$	$\gamma_p$	$\lambda_p$
-75	67,89	-42,89	15,2	67,83	-43,52	14,92	0,09	1,45	1,88
-60	48,66	-23,66	12,5	48,88	-24,52	12,06	0,45	3,5	3,65
-45	35,6	-10,6	9,36	35,78	-11,12	8,9	0,49	4,68	5,17
-30	25,71	-0,71	6,2	25,87	-0,98	5,95	0,61	27,3	4,2
-15	17,5	7,5	3,09	17,6	7,53	2,87	0,59	0,34	7,66
15	2,5	22,5	-3,09	2,37	22,62	-2,9	5,65	0,55	6,55
30	-5,71	30,71	-6,2	-5,98	31,02	-6,02	4,48	0,99	2,99
45	-15,6	40,6	-9,36	-15,95	41,13	-8,92	2,19	1,28	4,93
60	-28,66	53,66	-12,5	-28,98	54,53	-12,08	1,1	1,59	3,47
75	-47,11	72,11	-15,2	-47,55	73,53	-14,93	0,93	1,93	1,8

Как видим, относительное расхождение для всех значений кроме одного не превышает 10%. Для случая же наибольшего расхождения его абсолютная величина менее 0,3 градуса. Такие результаты вполне допустимы в технике и говорят о высокой сходимости обоих методов. Расхождение можно объяснить тем, что рассматриваемая геометрическая модель учитывает величину подачи заготовки. Таким образом, разработанная методика адекватна и обеспечивает достаточную степень точности определения рабочих углов.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		53

## Выводы

1. Среднее расхождение теоретической и экспериментальной длин в районе 30%. Расхождение обосновано тем, что при экспериментах нет идеальных условий. Но средний коэффициент вариации за 28 опытов говорит о допустимой для техники степени рассеивания результатов. Разработанная методика экспериментального измерения длины стружки пригодна для практического использования и обеспечивает получение адекватных результатов.

2. Разработана методика графического определения рабочих углов фрез для первой геометрической схемы ротационного фрезерования. Выявлены особенности прямой и обратной схем резания. Проанализировано влияние глубины резания и угла разворота режущего элемента на рабочие углы инструмента. Выполненная оценка адекватности методики показала высокую степень сходимости.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

### 3. Моделирование формообразования элементной стружки ротационным фрезерованием

Основной целью моделирования процесса ротационного точения является определение размеров и формы получаемых волокон стружки. Рассмотрим процесс ротационного точения по выбранной схеме резания. Для решения задачи моделирования формы и размеров элемента порошка необходимо уяснить основные закономерности кинематики процесса. На её базе рассмотреть траекторию движения произвольной точки режущей чашки. Зная траекторию движения и форму режущего элемента можно выделить элемент образующейся стружки и определить искомую форму и размеры.

Теоретически задача получения требуемой формы и размеров элементной стружки (для непосредственного использования или как полуфабриката) различных конструкционных материалов решается на основе математического моделирования процесса формообразования. Моделирование широко применяется в технике и при обработке резанием в частности. Подход к определению размеров получаемой стружки на основании моделирования траектории перемещения режущей кромки инструмента, применительно к ротационному резанию был сделан для точения и фрезерования.

#### 3.1 Разработка математической модели элементной стружки ротационным фрезерованием

С целью определения формы и размеров, образующихся при ротационном фрезеровании элементной стружки необходимо рассмотреть траекторию движения режущих элементов инструмента в системе координат (СК) заготовки. На рисунке 1 представлена расчетная схема, в соответствии с которой можно записать траекторию движения произвольной точки А режущей кромки. В СК XYZ заготовки ее координаты можно определить



путем последовательного преобразования из координат расчетной точки, записанных в СК режущего элемента. Тогда окончательно можно записать

$$\begin{cases} X = (L \cos \beta - r \sin \beta \cos (\varphi_0 + \varphi))(\cos \lambda \cos \psi - \sin \lambda \sin \psi) - \\ - r \sin (\varphi_0 + \varphi)(\sin \lambda \cos \psi + \cos \lambda \sin \psi) + R \cos \psi + S\psi \\ Y = (L \cos \beta - r \sin \beta \cos (\varphi_0 + \varphi))(\sin \lambda \cos \psi + \cos \lambda \sin \psi) + \\ + r \sin (\varphi_0 + \varphi)(\cos \lambda \cos \psi - \sin \lambda \sin \psi) + R \sin \psi \\ Z = r \cos \beta \cos (\varphi_0 + \varphi) + L \sin \beta, \end{cases} \quad (6)$$

где  $r$  – радиус режущего элемента;  $L$  – смещение торца режущего элемента относительно оси режущего блока;  $R$  – расстояние от оси вращения фрезы до оси режущего блока;  $S$  – подача на оборот фрезы;  $\lambda$  – углом наклона главной режущей кромки;  $\beta$  – угол наклона оси режущего блока относительно обрабатываемой поверхности;  $\varphi_0$  – начальное угловое положение рассматриваемой точки на режущем элементе;  $\varphi$  и  $\psi$  – текущие углы поворота режущего элемента и корпуса фрезы.

Рисунок 18 – Расчётная схема относительного движения фрезы и заготовки

Траектория движения различных точек режущей кромки зубчатого режущего элемента определяет формируемую стружку. Рассмотрим образование элементной стружки зубчатым режущим элементом в плоскости ХУ (положение СК на рисунке 19 как на рисунке 18).

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		57

Рисунок 19 – Моделирование образования стружки зубчатым элементом

В начальный момент времени режущий элемент расположен в положении I и формирует точкой 1 на вершине зуба точку А стружки. При повороте режущего элемента вокруг своей оси на угол  $\varphi_1$  и вокруг оси фрезы на угол  $\psi_1$  в положение II точка 1 режущего элемента образует участок АВ стружки (рисунок 20). При этом последовательно вступают в работу точки, расположенные на дуге 1-2 зуба режущего элемента (см. рис. 19, положение

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

I). Так как они имеют различные координаты, то будет формироваться участок AC элемента стружки, который не совпадает с участком АВ. Из-за нежесткой кинематической связи угла поворота  $\psi$  фрезы и угла поворота  $\varphi$  режущего элемента каждая точка режущей кромки образует некоторый участок элемента стружки [11]. Поэтому длина участка AC больше дуги 1-2. Из кинематики движений при ротационном фрезеровании можно получить соотношение между углами  $\varphi$  и  $\psi$ :

$$\varphi = \frac{r}{R \cdot \cos \lambda \cdot k_{\Pi}} \psi, \quad (7)$$

где  $k_{\Pi}$  – коэффициент неустойчивости вращения режущего элемента,  $k_{\Pi} \geq 1$ .

После поворота режущего элемента в положение II зуб окончательно устанавливается по канавке и образуется более жесткая кинематическая взаимосвязь углов  $\varphi$  и  $\psi$  ( $k_{\Pi} \rightarrow 1$ ). Формирование границы элемента стружки BD и CE продолжается точками 1 и 2 режущего элемента, траектории которых практически эквидистантны. Изменение углового направления движения точек 1 и 2 связано со стабилизацией вращения режущего элемента. При моделировании элемента стружки данное явление учитывалось заданием различного значения  $k$  на этапах I-II и II-III в формуле (2) соответственно:  $k_{\Pi} = 2,5; 1$ . Положение III (см. рис. 21) соответствует моменту выхода точки 1 режущего элемента на поверхность заготовки, т.е. определяется глубиной резания  $t$  и углом поворота  $\varphi_t$ . При дальнейшем повороте режущего элемента в положение IV точки на дуге 1-2 режущего элемента формируют участок DF, а выходящая на поверхность заготовки точка 2 – участок EF. Значение  $k$  на этапе III-IV принимается как на этапе I-II ( $k_{\Pi} = 2,5$ ). При компьютерном моделировании формы и размеров стружки система уравнений (1) рассматривается для каждого участка, формирующего стружку. Переменными параметрами являются  $\varphi_0$ ,  $\varphi$  и  $\psi$ .

Рисунок 20 – Расчетная (слева) и экспериментальная (справа) форма элемента стружки

Элемент стружки (см. рис. 20) характеризуется тремя параметрами. Толщина ( $a$ ) определяется по нормали при пересечении следов режущей кромки текущего и смежного зуба фрезы [12] и зависит от радиуса  $r$  режущего элемента, угла наклона главной режущей кромки  $\lambda$  и подачи на зуб  $S_z$  (рисунок 21). В первом приближении, без учета усадки стружки и степени влияния угла  $\lambda$  максимальная толщина близка к величине  $S_z$ .

Рисунок 21 – Следы обработки на заготовке

Наибольшую сложность представляет обеспечение длины элемента стружки  $l$ , поэтому примем ее в качестве управляемого размера. Для определения длины элемента стружки используем пространственные координаты граничных точек А и F:

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		60

$$l = \sqrt{(x_A - x_F)^2 + (y_A - y_F)^2 + (z_A - z_F)^2}. \quad (8)$$

В соответствии с расчетной схемой координаты рассматриваемых точек равны

$$\begin{cases} X_A = R \cos(\psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}}) + S(\psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}}) \\ Y_A = R \sin(\psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}}) \\ Z_A = r \cos \beta + L \sin \beta \end{cases}; \quad (9)$$

$$\begin{cases} X_F = (L \cos \beta - r \sin \beta \cos(\varphi)) \left( \cos \lambda \cos \left( \frac{r(\varphi + \varphi_t)}{R \cdot k_{\text{П}}} + \psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}} \right) - \right. \\ \left. - \sin \lambda \sin \left( \frac{r(\varphi + \varphi_t)}{R \cdot k_{\text{П}}} + \psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}} \right) \right) - r \sin(\varphi + \varphi_t) \times \\ \times \left( \sin \lambda \cos \left( \frac{r(\varphi + \varphi_t)}{R \cdot k_{\text{П}}} + \psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}} \right) + \cos \lambda \sin \left( \frac{r(\varphi + \varphi_t)}{R \cdot k_{\text{П}}} + \psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}} \right) \right) + \\ + R \cos \left( \frac{r(\varphi + \varphi_t)}{R \cdot k_{\text{П}}} + \psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}} \right) + S \left( \frac{r(\varphi + \varphi_t)}{R \cdot k_{\text{П}}} + \psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}} \right) \\ Y_F = (L \cos \beta - r \sin \beta \cos(\varphi)) \left( \sin \lambda \cos \left( \frac{r(\varphi + \varphi_t)}{R \cdot k_{\text{П}}} + \psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}} \right) + \right. \\ \left. + \cos \lambda \sin \left( \frac{r(\varphi + \varphi_t)}{R \cdot k_{\text{П}}} + \psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}} \right) \right) + r \sin(\varphi + \varphi_t) \times \\ \times \left( \cos \lambda \cos \left( \frac{r(\varphi + \varphi_t)}{R \cdot k_{\text{П}}} + \psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}} \right) - \sin \lambda \sin \left( \frac{r(\varphi + \varphi_t)}{R \cdot k_{\text{П}}} + \psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}} \right) \right) + \\ + R \sin \left( \frac{r(\varphi + \varphi_t)}{R \cdot k_{\text{П}}} + \psi_{\text{Л}} + \psi_{\text{П}} \right) \\ Z_F = r \cos \beta \cos(\varphi + \varphi_t) + L \sin \beta \end{cases}, \quad (10)$$

где  $\varphi$  – угол вершины зубьев режущего элемента;  $\varphi_t$  – угол контакта режущего элемента с заготовкой;  $\psi_{\text{Л}}$  – угловое положение левого торца заготовки относительно оси фрезы;  $\psi_{\text{П}}$  – угловое положение правого торца заготовки относительно оси фрезы.

Полученная модель длины элемента стружки является теоретической, отражает все влияющие факторы. Она достаточно громоздкая и неудобная

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

для практического управления размером элемента стружки. Прежде всего, из-за значительного (11) числа влияющих факторов. Естественно, что степень влияния факторов различна. Поэтому желательно их уменьшение посредством выделения существенно влияющих факторов, что можно сделать, используя методы планирования эксперимента.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		62

### 3.2 Экспериментальное подтверждение адекватности математической модели

Для получения стружки будем использовать различные виды заготовки, режущие элементы с мелким ( $z = 50$ ), средним ( $z = 30$ ), большим зубом ( $z = 20$ ) в зависимости от глубины резания и угла поворота режущего блока. В режущем блоке помимо зубчатого элемента еще имеется гладкий режущий элемент.

Первым было решено обработать твердосплавную заготовку с мелкозубым режущим блоком при глубине в 1 мм и угле поворота  $10^\circ$ . В итоге, не удалось получить стружки, потому что было чрезмерно высокое трение режущих элементов о заготовку и повышалось температурное воздействие.

Рисунок 22 – Изношенные режущие элементы

Рисунок 23 – Необработанная заготовка

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		63



Дальнейшая обработка данным блоком не представлялась возможной, необходима переточка и данная заготовка не подходит для снятия стружки.

Далее, используем иную заготовку, такую как сталь 40 при среднем зубе. При режущем блоке было совершено 15 экспериментов с различной глубиной, углами поворота. НО, при повороте блока на 40° на глубине в 3 мм был сломан зуб в режущем блоке и последующее использование было возможно при более меньшей глубине – 1 мм. Данные внесены в таблицу 5.

Таблица 5

Данные по экспериментам

№ опыта	$\lambda$ , град	t	зуб	материал	примечание
1	10	1	средний	сталь 40	
2		2			
3		3			
4	20	1			
5		2			
6		3			
7	30	3			
8		2			
9		1			
10	40	1			
11		2			
12		3			
13	50	1			
14	60	1			
15	70	1			

В приложении Б указаны графики изменения длины стружки в зависимости от изменения угла поворота режущего блока на определенную глубину резания.

Рисунок 24 – Слом зуба режущего элемента

Рисунок 25 – Обработанная поверхность заготовки

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		65

Полученную стружку с каждого испытания собираем в тару и далее измеряем ее при помощи штангенциркуля с цифровой индикацией Syvac.

### Рисунок 26 – Штангенциркуль Syvac

Сортируем стружку ориентировочно одной формы и размера потому что при срезании с заготовки шли в работу и зубчатый элемент и гладкий элемент режущего блока. Но необходимо измерять стружку, полученную от зубчатого элемента, как показано на рисунке 27. Полученные результаты сведены в таблицу приложения.

### Рисунок 27 – Сортировка стружки

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		66

После составления данной таблицы посчитаем некоторые параметры, такие как среднее значение или математическое ожидание, дисперсию и среднее квадратическое отклонение [11] для каждого из 15 экспериментов.

Среднее значение  $X_{\text{ср}}$  – число, равное сумме всех чисел множества, делённая на их количество и считается по формуле

$$X_{\text{ср}} = \frac{\sum l_i}{n} \quad (11)$$

где  $l_i$  – длина  $i$ -того элемента стружки;

$n$  – количество стружек.

Дисперсия  $D$  – мера разброса значений случайной величины относительно её математического ожидания и считается по формуле

$$D = \frac{\sum_i (x_i - M)^2}{n-1} \quad (12)$$

где  $x_i$  – длина  $i$ -того элемента стружки;

$M$  – среднее значение случайной величины;

$n$  – количество стружек.

Среднеквадратическое отклонение  $\sigma_x$  – в теории вероятностей и статистике наиболее распространённый показатель рассеивания значений случайной величины относительно её математического ожидания и считается как квадрат дисперсии по формуле

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} \text{ или } \sigma_x^2 = D_x$$

Полученные данные занесены в таблицу 6

Таблица 6

Статистические показатели по стружке

	1	2	3	4	5	6	7
Хср	10,74	11,5	11,75	7,116	8,862	10,16	6,292
дисп	1,583	3,451	2,866	0,896	2,393	4,928	1,742
ср.кв.	1,258	1,858	1,693	0,946	1,547	2,22	1,32

Продолжение таблицы 6

	8	9	10	11	12	13	14	15
Хср	7,261	5,86	2,971	4,045	4,034	3,303	2,449	2,527
дисп	0,552	0,431	0,259	0,56	0,817	0,606	0,069	0,031
ср.кв.	0,743	0,657	0,509	0,748	0,904	0,778	0,263	0,175

Также отдельно в таблице 7 вынесены крайние статистические значения.

Таблица 7

	ср.	max	сумма
дисп	1,412317	4,928458	21,18476
ср.кв.	1,04131	2,220013	15,61965

После этого внесем поправки на различные критерии, а именно критерий Кохрена и критерий Бартлетта и сравним полученные цифры.

Критерий Кохрена  $G$  — используют при сравнении трёх и более выборок одинакового объёма  $n$  и считается по формуле

$$G = \frac{\sigma_{max}^2}{\sum \sigma^2} \quad (13)$$

$$G_{расч} = \frac{4,928458}{21,18476} = 0,2326$$

Теперь сравним расчетное значение с табличным и определим расхождение между дисперсиями по неравенству при 95%-ной доверительной вероятности

$$G_{расч} \leq G_{табл}$$

Исходя из таблицы, на 15 опытов берем 16 повторений

$$G_{табл} = 0,143$$

$$0,233 \geq 0,143$$

т.е. расчетное значение больше табличного и дисперсии неоднородны.

Критерий Бартлетта  $\lambda$  – статистический критерий, позволяющий проверять равенство дисперсий нескольких (двух и более) выборок и считается по формуле

$$\lambda = -\frac{1}{c} \sum_{i=1}^n v_i \ln \frac{\sigma^2}{\bar{\sigma}^2} = \frac{1}{c} n v \left( \ln \bar{\sigma}^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \sigma^2 \right) \quad (14)$$

$$\text{при } c = 1 + \frac{n+1}{3nv}$$

где  $n$  – количество стружек;

$v$  – количество опытов.

$$c = 1 + \frac{20 + 1}{3 \cdot 20 \cdot 15} = 1.023$$

$$\lambda_{\text{расч}} = \frac{1}{1,023} 20 \cdot 15 \left( \ln 1,412317 - \frac{1}{20} \sum_{i=1}^n \ln 21,18476 \right) = 0,188$$

Теперь сравним расчетное значение с табличным и определим расхождение между дисперсиями по неравенству

$$\lambda_{\text{расч}} \leq \lambda_{\text{табл}}$$

Исходя из таблицы по статистике критерия Бартлетта, на 10 опытов берем 10 повторений при 5%-ной вероятности

$$\lambda_{\text{табл}} = 0,21451$$

$$0,188 \leq 0,21451$$

т.е. расчетное значение меньше табличного и может наблюдаться однородность дисперсий.

Но также, этот критерий очень чувствителен к нарушению предположения о нормальности закона распределения исходных данных.

При законах распределения наблюдений, отличающихся от нормального, распределения статистики Бартлетта существенно зависят от объема выборки, однако достаточно хорошо сходятся к некоторым предельным законам.

									Лист
									69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР				

## Выводы

1. Разработана математическая модель длины элементной стружки ротационным фрезерованием. Полученная модель длины элемента стружки является теоретической, отражает все влияющие факторы.  $r$ ;  $L$ ;  $R$ ;  $S$ ;  $\lambda$ ;  $\beta$ ;  $\varphi_0$ ;  $\varphi$  и  $\psi$ .

2. Экспериментально подтверждена адекватность математической модели. Представлено сравнение табличных и расчетных значений относительно полученных длин стружек. Расхождение по критерию Кохрена составляет 0,23 что равносильно неоднородности дисперсий, а по критерию Бартлетта – 0,18 что равносильно однородности дисперсий.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		70

#### 4. Конструкция ротационной фрезы

Специфические особенности метода ротационного резания предполагают соответствующее конструктивное оформление инструмента для его реализации. Практически доказана и целесообразность выполнения режущей части ротационного инструмента с замкнутой круговой режущей кромкой, а ее дополнительное перемещение в тангенциальном направлении означает, таким образом, вращение вокруг собственной оси.

На основе исходных чертежей необходимо произвести пошаговое моделирование сборки ротационной фрезы посредством САД-системы.

Для понимания работы смоделированной фрезы производится анализ напряженно-деформированного состояния основных конструктивных элементов ротационной фрез.

Раскрывается суть вопроса по оценке экономической эффективности операции получения элементной стружки ротационным фрезерованием в сравнении с торцевым фрезерованием.

##### 4.1 Анализ и разработка конструкций ротационных фрез

Для реализации метода ротационного резания инструмент должен включать следующие основные элементы: подшипниковый узел, режущую часть, державку для установки и ориентации инструмента [5].

В силу специфических особенностей метода ротационного резания на операциях фрезерования нашли применение лишь торцевые фрезы, оснащенные ротационными режущими узлами. Они предназначены для обработки плоских поверхностей. Конструктивно такой инструмент выполняется в виде массивного корпуса (круглой или другой формы), в котором размещаются режущие узлы.

Для операций чернового фрезерования разрабатывают, как правило, фрезы, реализующие первую геометрическую схему ротационного резания.

Это обусловлено меньшими углами контакта режущих элементов с

									Лист
									71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР				



обрабатываемой поверхностью. Значительно упрощается конструкция резцовых узлов, предпочтение отдается узлам на подшипниках скольжения. На рисунке 28 показана фреза, в которой режущие чашки 1 устанавливаются на неподвижную ось 3 с подпятником 2. Ось зафиксирована в сменных пальцах 4, положение которых в корпусе фрезы 5 может регулироваться как по высоте, так и по углу поворота. Для обеспечения устойчивого самовращения чашек плоскость их режущих лезвий поворачивается относительно осевой плоскости фрезы на угол 15–20°.

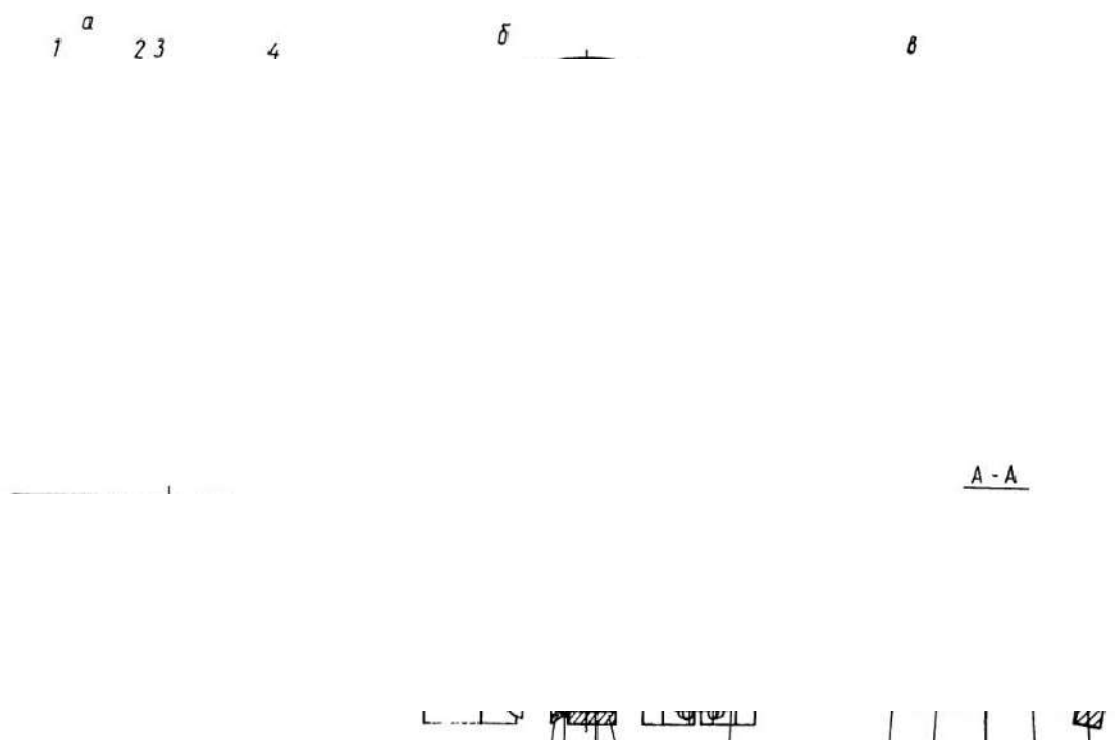


Рисунок 28 – Конструкция торцовых фрез

Широкие технологические возможности имеет фреза со сменными режущими узлами (рис. 29). Фреза состоит из корпуса 2 с направляющими элементами, в которые устанавливаются державки 4. С помощью прихватов 3 они фиксируются в корпусе. В клеммовом зажиме державок закрепляются резцовые узлы I. Перемещением державок вдоль направляющих регулируют угол разворота плоскости режущего лезвия. Наклон оси резца задается конструкцией державки. Для операций тонкого чистового фрезерования, особенно цветных металлов и сплавов, а также пластмасс, рекомендуется

применение принудительного вращения режущей чашки, которое в описанной конструкции осуществляется посредством пневмотурбинок 5, закрепляемых на шпинделе резцов. Подача воздуха от пневмосети осуществляется через полый штревель, каналы в корпусе фрезы и патрубки б. При обработке алюминиевого сплава при  $v = 8 - 11$  м/с,  $s = 200 - 250$  мм/мин,  $t = 0,2 - 0,4$  мм Ra обеспечивается в пределах 0,8-1,2 мкм.



4 3 2 1

Рисунок 29 – Ротационная фреза с подкруткой режущих чашек

Значительное место в технологической практике занимает обработка отверстий. Велика трудоемкость изготовления точных отверстий большой протяженности. При их обработке инструмент работает в неблагоприятных условиях, резко ухудшается теплоотвод от режущей части, значительные трудности представляет удаление стружки. Из-за низкой размерной стойкости инструмента появляются отклонения от геометрической формы, неравномерность шероховатости поверхности по длине обработки. Все это обуславливает введение в технологический процесс ряда дополнительных операций и переходов. Применение ротационных инструментов при изготовлении такого класса отверстий позволило значительно повысить производительность и эффективность их обработки.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

Расточной инструмент с ротационными резцовыми узлами разработан на базе стандартных расточных головок. В зависимости от размеров отверстия и требований к его точности находят одно-, двух- и многорезцовые расточные головки. Резцовые узлы устанавливают под определенными углами к обрабатываемой поверхности.

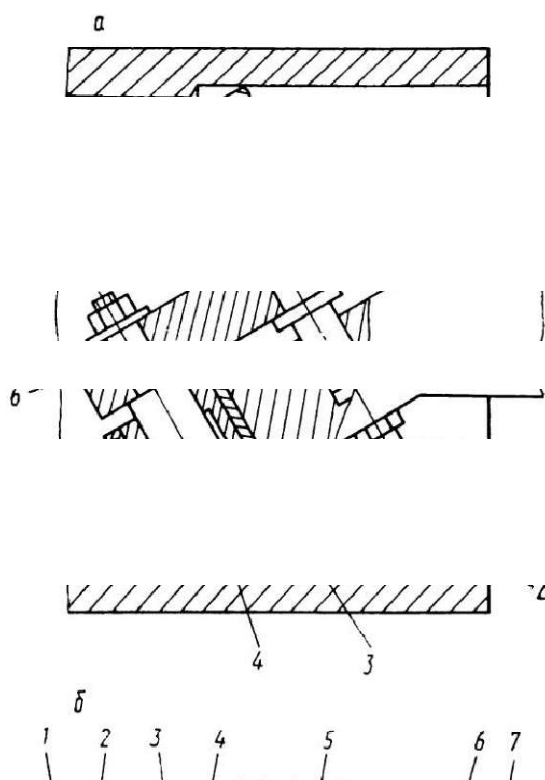


Рисунок 30 – Комбинированные ротационные инструменты для обработки отверстий

Указаны схемы комбинированных инструментов, сочетающих ротационный режущий и соосный ему накатной (деформирующий) элементы (рис. 30). Комбинированный инструмент (рис. 30, а) отличается тем, что в его конструкции параллельно оси режущего инструмента установлен валик с накатным роликом. В державке 1 запрессован подшипник 2, в котором вращается круглый резец 3. От осевого смещения его предохраняет кольцо 5.

Внутри резца находится плавающий деформирующий ролик 4, торец которого упирается в планку 6, жестко связанную с плавающим валиком 7. На свободном конце валика навинчена втулка 8 с дополнительным роликом 9. Скользящая посадка валика обеспечивает самоустановку роликов 4 и 9.

В большинстве случаев обработки лезвийным инструментом лимитирующим является износ его задней поверхности, определяющий в значительной степени качество обработанной поверхности и технологическую стойкость инструмента. Преобладает абразивный и диффузионный износ, а для быстрорежущих инструментов и пластическая деформация. Для твердосплавных инструментов при непрерывном стружкообразовании обычно происходит абразивный, термоусталостный и адгезионный износ передней поверхности, а при периодическом резании термоусталостный и хрупкое разрушение (скалывание). Поэтому в зависимости от условий обработки и степени износа рабочих поверхностей ротационных инструментов выполняют заточку их задней, передней или обеих поверхностей.

Заточку резцовых узлов выполняют на универсально-заточных станках 35641, 35642, 3В642, оснащенных шлифовальным приспособлением и устройством для закрепления и вращения режущей части. Устройство для заточки резцовых узлов в сборе (рис. 31, а) состоит из стакана 3, в котором винтом 5 зажимается корпус 4 затачиваемого резца 6. Передача вращения шпинделю резца осуществляется через поводок 2 и упругую втулку 1. Направления вращения алмазного круга 7 и режущей чашки противоположные. Подачу при заточке передней поверхности выполняют перпендикулярно оси резца, а при заточке задней – вдоль образующей круга.

Устройство для заточки быстросменных режущих элементов без шпиндельных узлов, например для Инструмента с внутренним коническим сопряжением, имеет вид двухстороннего конуса (рис. 31, б). Для режущих

элементов с коническим хвостовиком (рис. 31, в) оно выполнено в виде конической втулки.

На основе конструкций можно произвести моделирование исходной ротационной фрезы.

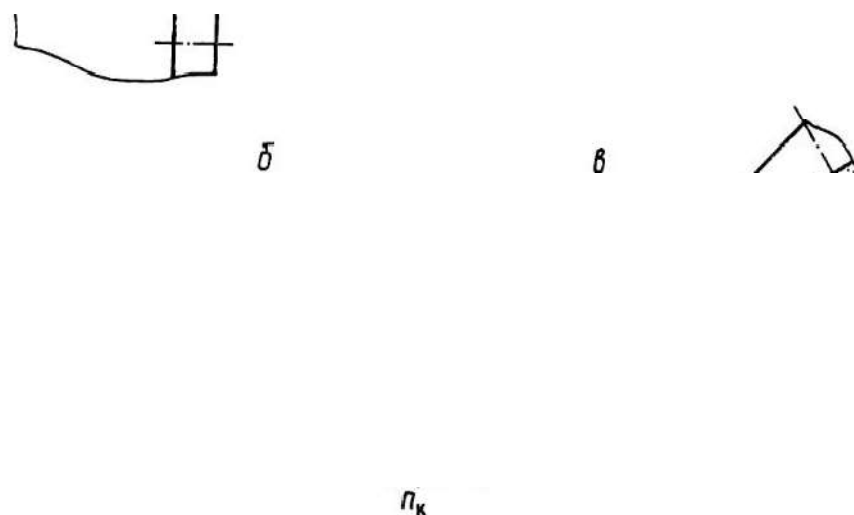


Рисунок 31 – Схемы заточки ротационных резцов.

Предварительная заточка твердосплавных чашек производится плоскими (типа АПП) или чашечными (типа АЧК) алмазными кругами на металлической связке зернистостью 400/315. В качестве режущего инструмента можно использовать абразивные круги из карбида кремния зеленого. Для окончательной доводки и переточки используют алмазные круги на бакелитовой связке с концентрацией алмазов 50-100%. В зависимости от требований к шероховатости рабочих поверхностей

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

инструмента выбирают зернистость алмазного круга. Ниже приведена зависимость параметра шероховатости от зернистости.

#### 4.2 Моделирование ротационной фрезы в программе Creo Parametric 3D

В исходном разделе указаны смоделированные составные части ротационной фрезы по чертежам. Основой для заданной фрезы является ее вилка (рис. 32).

#### Рисунок 32 – Вилка фрезы

Далее спроектирован вал (рис. 33), на который устанавливается дисковая чашечная фреза (рис. 34).

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		77

Рисунок 33 – Вал

Рисунок 34 – Фреза

Также необходимо было создать модель сектора (рис. 35), который при собранной фрезе имеет возможность корректируемого поворота при корпусе (рис. 36).

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		78

Рисунок 35 – Сектор

Рисунок 36 – Корпус

Следующим образом, после построения всех вышеуказанных деталей можно собрать фрезу (рис. 37).

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79



Рисунок 37 – Режущий блок

Рисунок 38 – Фреза в сборе

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

### 4.3 Анализ напряженно-деформированного состояния основных конструктивных элементов ротационной фрезы

Анализ выполняется для определения прочности материала режущего элемента.

Были созданы необходимые сервоприводы для вращения вала с передающим моментом через шпонку на чашку резания на каждый из 3-х резцов со спецификацией профиля скорости (рис. 39, 40).

Рисунок 39 – Определение сервопривода

Рисунок 40 – Определение сервопривода

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		81

После этого был сделан снимок и заданы начальные условия для дальнейшего анализирования сборки (рис. 41, 42).

#### Рисунок 41 и 42 – Задавание начальных условий

Далее, проводим анализ заданной сборки с динамическим типом и заданными начальными условиями и заданными сервоприводами с учетом силы трения (рис. 43).

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		82

Рисунок 43 – Настройки анализа

После проведения анализа на его основе строится график изменения сил на каждом резце с использованием шарнирных соединений на валу резца (рис. 44, 45).

Рисунок 44 – График

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

### Рисунок 45 – График изменения

Переходим из вкладки "Механизмы" во вкладку "Simulate" для следующего анализа сборки, но перед этим необходимо задать параметры

- задать ограничение корпусу (рис. 46)
- задать нагрузку силы на резец на некоторой поверхности (рис. 47)
- назначить материал для всей сборки (рис. 48)

### Рисунок 46 – Назначение ограничений

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		84

Рисунок 47 – Определение нагрузки на режущий элемент

Рисунок 48 – Назначение материала

Так как будет сложно определить и сделать расчеты по такой массивной конструкции, решено взять для начала 2 наиболее нагруженные детали сборки: вал и режущий элемент (рис. 49).

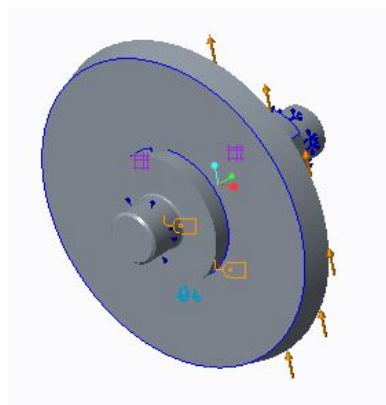


Рисунок 49 – Часть сборки

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

В этом соединении задаются несколько контактов. Между валом и резцом.

#### Рисунок 50 – Назначение контактных поверхностей

Далее задаются параметры сетки на каждый элемент для дальнейшего анализа. С валом происходит тоже самое, но размер сетки намного больше.

#### Рисунок 51 – Определение сетки на элемент

После всего вышеизложенного можно переходить к анализам. На рисунке 52 указаны все анализы и исследования, которые были необходимы для оптимизации работы резца.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		86

### Рисунок 52 – Анализы сборки

После проведенного статического анализа, который назван как newstat, получен следующий результат, где показаны влияния сил при резании. Отсюда видно, что значительных усилий нет (рис. 53).

### Рисунок 53 – Результат анализа

На основе текущего анализа, проводим еще один анализ, вычисляющий все необходимые силы для работы данного резца (рис. 54).

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		87



### Рисунок 54 – Вычисление результатов

После полученных анализов и результатов необходимо провести оптимизацию сборки резца с валом. Было задано определение свойств стандартной конструкции и вот ее результат. Из этого анализа видно, что ничего не поменялось (рис. 55).

### Рисунок 55 – Исследование стандартной конструкции

Далее исследуем сборку на чувствительность. Результатом исследования стал график изменения напряжения (рис. 56).

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		88

Рисунок 56 – Изменение напряжения в сборке

На основе главного анализа исследуем на оптимизацию заданную сборку с данной переменной в некотором промежутке (рис. 57). Результат исследования указан ниже на рисунке 58.

Рисунок 57 – Переменные

Рисунок 58 – Оптимизация

						Лист
					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	89
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

То есть в сравнении с первым анализом имеются некоторые изменения. Если смотреть по легенде, то в цифрах имеется разница, но небольшая.

Рисунок 59 – Сравнение сборки

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		90

#### 4.4 Оценка экономической эффективности операции получения элементной стружки ротационным фрезерованием

##### 4.4.1 Расчет производительности фрезерования

Производительность – это объем выпуска продукции в единицу времени. Она определяет эффективность использования ресурсов и производства в целом. При механической обработке производительность зависит от штучно-калькуляционного или штучного (для массового производства) времени. Главной составляющей при их расчете является норма основного времени обработки, которая определяется после установления режимов резания по уравнению:

$T_0$  – основное (машинное) технологическое время, мин, – время затраченное на резание

$$T_0 = \frac{L}{S \cdot n} \cdot i \quad (15)$$

где:

$L$  – длина обработки, мм ;

$S$  – подача, мм/об ;

$n$  – частота вращения шпинделя, мин-1;

$i$  – число рабочих ходов (проходов).

$L = 10 + 11 + 12$ , мм

Где:

$10$  – длина обрабатываемой поверхности в направлении обработки, мм

;

$11$  – длина врезания, мм ;

$12$  – перебеж режущего инструмента, мм.

Для торцовых фрез при симметричном резании длина врезания, мм

$$l_1 = \frac{D}{2} - 0,5 \cdot \sqrt{D^2 - B_{\Phi}^2} \quad (16)$$

Вф – ширина фрезерования

Перебег инструмента при фрезеровании, мм

$$l_2 \approx (2 \div 5)S \quad (17)$$

Расчет режимов резания для любого вида механической обработки заключается в выборе сочетания глубины резания, подачи и скорости резания при соблюдении требований, предъявляемых к обрабатываемой поверхности. При назначении режимов резания учитывают характер обработки, тип и размеры инструмента, материал его режущей части и геометрические параметры, материал и состояние заготовки, тип и состояние оборудования.

Расчет режимов можно осуществлять двумя способами: с помощью ЭВМ и вручную. Наиболее современным способом расчета является расчет на ЭВМ. Но для данного расчета необходимо заранее определить множество параметров, коэффициентов и т.д. То есть данный расчет больше подходит для оптимизации режимов резания, а также для расчета большого количества однотипных режимов резания. Расчет режимов резания ручным способом может быть аналитический или табличный. Аналитический способ является более точным, так как проводится по достаточно точным эмпирическим зависимостям и учитывает множество конкретных особенностей операции, в то время как режимы резания по нормативам указаны укрупненно.

При установлении режимов резания учитывается характер обработки, тип и материал инструмента, его геометрические параметры, материал и состояние заготовки, тип оборудования и другие факторы. Расчет режимов чаще всего ведётся по следующей схеме  $t - S - V - n$ . Т.е. сначала устанавливается глубина резания ( $t$ ), затем подача ( $S$ ), определяется скорость резания ( $V$ ) и частота вращения ( $n$ ) или число двойных ходов заготовки или инструмента.

Рассмотрим определение режимов резания для операции фрезерования.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		92

Для того, чтобы понять какая необходима скорость резания при торцовом фрезеровании воспользуемся формулой из справочника Косиловой [1].

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} K_v \quad (18)$$

T – стойкость инструмента;

B – ширина фрезерования, мм;

$C_v$ ; q; m; x; y; u; p – коэффициент и показатели степени;

D – диаметр фрезы, мм;

Z – число зубьев фрезы;

$s_z$  – подача на зуб

Конфигурация обрабатываемой поверхности и вид оборудования определяют тип применяемой фрезы.

При торцовом фрезеровании для достижения производительных режимов резания диаметр фрезы D должен быть больше ширины фрезерования B рис. 60

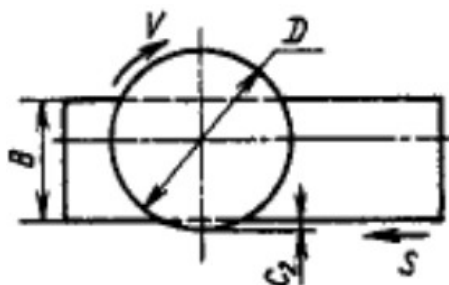


Рисунок 60 – Расположение заготовки при торцовом фрезеровании

Из таблицы 39 справочника [1], так как используются для торцового фрезерования с диаметром фрезы в 250 мм.

$C_v = 332$ ; q = 0.2; x = 0.1; y = 0.4; u = 0.2; p = 0; m = 0.2;  $K_v = 1$ ; T = 240 мин;  $s_z = 0.15$  мм

$$V = 143,4 \text{ мм/мин}$$

При фрезеровании торцовой фрезой определим частоту вращения шпинделя по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (19)$$

D – диаметр фрезы, равный 250 мм

V – скорость резания,

$$n = \frac{1000 \cdot 143,4}{\pi \cdot 250} = 182,58 \text{ об/мин}$$

Вычисление снятия объема материала при фрезеровании рис.61:

l – длина обработки (мм), 100 мм

b - ширина обработки (мм), 40 мм

t - глубина обработки (мм). 3 мм

Рисунок 61 – Схема снятия объема материала

Q – объем снимаемого материала.

$$Q = l \cdot b \cdot t = 12000 \text{ мм}^3$$

Примем общий объем материала за  $12\ 000 \text{ мм}^3 = 12 \text{ см}^3$ . В качестве материала используется алюминий с плотностью  $2,7 \text{ г/см}^3$ , железо  $7,9 \text{ г/см}^3$  и феррохром  $7,2 \text{ г/см}^3$ .

Определим вес снимаемого материала по формуле:

$$m = Q \cdot \rho \quad (20)$$

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

$M$  – масса заготовки;

$\rho$  – плотность материала.

$m = 12 \cdot 2,7 = 32,4$  г – алюминиевая материал;

$m = 12 \cdot 7,9 = 94,8$  г – заготовка из железа;

$m = 12 \cdot 7,2 = 86,4$  г – заготовка из ферросплава.

Минутной подачей  $S_m$  называют расстояние, на которое перемещается заготовка (или фреза) в процессе резания за 1 мин. Минутная подача измеряется в мм/мин.

Определим минутную подачу, для определения основного времени обработки, по формуле:

$$S_{\text{мин}} = S_0 \cdot n = S_z \cdot Z \cdot n \quad (21)$$

$S_z$  – подача на зуб, равная 0,15 мм/зуб

$Z$  – количество зубьев, равное 14

$n$  – частота вращения фрезы

$$S_{\text{мин}} = 0,15 \cdot 14 \cdot 182,58 = 383,42 \text{ мм/мин}$$

$$S_0 = 2,1 \text{ мм/об}$$

Производительность снятия материала

$$W = \frac{Q \cdot S_{\text{мин}}}{1000} = 4 \text{ 601 мм}^3/\text{мин}$$

Предварительно, произвести нормирование времени по [2]. Нормы времени, которые необходимы для расчета по формулам 1, 2, 3:

$$l_1 = \frac{250}{2} - 0,5 \cdot \sqrt{250^2 - 40^2} = 1,61 \text{ мм}$$

$$l_2 = 5 \cdot 2,1 = 10,5 \text{ мм}$$

$$T_0 = \frac{100 + 1,61 + 10,5}{383,42} \cdot 1 = 0,29 \sim 0,3 \text{ мин}$$

$T_{\text{всп}}$  — вспомогательное время, затраченное на управление станком, установку, закрепление и снятие детали, подвод и отвод режущего инструмента, измерение детали, мин. Примем как:

$$T_0 = T_{\text{всп}} = 0,3 \text{ мин}$$

									Лист
									95
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР				



Торм — время на организацию рабочего места, затраченное на смазывание станка, удаление стружки, уборку рабочего места, установку и снятие режущего инструмента, мин.

Тотд — время на отдых, мин.

Эти времена Торм и Тотд – каждое 15% от суммы времен  $T_0$  и  $T_{всп}$

Тшт — штучное время - продолжительность выполнения технологической операции, не учитывающее время на подготовку исполнителя (рабочего) к выполнению данной операции.

$$T_0 + T_{всп} + T_{орм} + T_{отд} = T_{шт} \quad (22)$$

$$0,3 + 0,3 + 0,045 + 0,045 = 0,69 \text{ мин}$$

За 0,69 минуты фреза снимает алюминиевой/железной/феррохромной стружки 32,4/94,8/86,4 г.

За час возможно получить стружки:

$$x = \frac{m_{стр} \cdot 60 \text{ мин}}{0,69 \text{ мин}}$$

$x_a = 2,817$  кг – алюминиевая стружка;

$x_ж = 8,243$  кг – железная стружка;

$x_{фх} = 7,513$  кг – феррохромная стружка.

За 8-часовую смену получаем 22,536/65,944/60,104 кг стружки, за рабочий месяц – 473,256/1 384,824/1 262,184 кг, за год – 5,679/16,618/15,146 т.

#### 4.4.2 Оценочная стоимость порошков из металла

Стоимость порошков нужна для того, чтобы понимать, осознавать и оценивать разницу в качестве полученной продукции. Есть два варианта использования стружки:

– получаемая стружка учитывается как отход производства. То есть, стружку возможно учесть как аналог сырья для измельчения порошковых металлов с целью улучшения качества порошка.

– получаемая стружка может учитываться как продукция, как аналог металлических порошков, которую, предварительно, получают различными методами, такие как механическое измельчение, распыление жидких металлов, восстановление, электролиз.

#### Железные порошки

Железный порошок предназначен для изготовления сварочных электродов, щелочных аккумуляторов, прокатки ленты, для магнитной дефектоскопии, очистки семян, цементации цветных металлов, для применения в полиграфической промышленности, в качестве восстановителя для получения органических продуктов в химической промышленности и прочих целях.

Порошок подразделяют:

1. по способу изготовления:
  - восстановленный – В;
  - распыленный – Р;
2. по химическому составу – на марки ПЖВ1, ПЖВ2, ПЖВ3, ПЖВ4, ПЖВ5, ПЖР2, ПЖР3 и ПЖР5;
3. по гранулометрическому составу, в мкм – 450, 315, 200, 160, 71;
4. по насыпной плотности, в г/см<sup>3</sup> – на 22, 24, 26, 28, 30.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

Далее приведен список цен на марки железных порошков. Все цены являются ориентировочными. Список предложен челябинской НПК СервисСнаб, которая занимается куплей/продажей металлических порошков.

1. Железный порошок ПЖР 3.315.28  
250 руб/кг от 145 руб/кг оптом
2. Порошок железный ПЖВ 1.71.28  
279 руб/кг
3. Порошок железный ПЖР5.200.28  
145 руб/кг от 95 руб/кг оптом
4. Порошок железный ПЖРВ3  
900 руб/кг
5. Порошок железный ПЖВ2.160.28  
98 руб/кг
6. ЖЕЛЕЗНЫЙ ПОРОШОК ПЖВ 2.160.22  
320 руб/кг
7. Порошок железный ПЖВ5.71.26  
115 руб/кг
8. Порошок железный ПЖР3.200.26  
145 руб/кг от 95 руб/кг оптом
9. Порошок железный ПЖВ4  
135 руб/кг
10. Порошок железный ПЖР 3.200.28  
250 руб/кг от 145 руб/кг оптом
11. Порошок железный ПЖР2.450.28  
145 руб/кг от 95 руб/кг оптом
12. Порошок железный ПЖР2.315.24  
145 руб /кг от 95 руб /кг оптом
13. Железный порошок ПЖР 2.200.28  
250 руб /кг от 145 руб /кг оптом

					<b>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		98

14. Порошок железный ПЖР2.200.26

145 руб /кг от 95 руб /кг оптом

15. Железный порошок ПЖР 4.200.28

250 руб /кг от 145 руб /кг оптом

16. Порошок железный ПЖВ4.160.26

145 руб /кг от 95 руб /кг оптом

17. Порошок железный ПЖВ4.160.25

145 руб /кг от 95 руб /кг оптом

18. Порошок железный ПЖВ3.160.26

115 руб /кг

19. Порошок железный ПЖВ4.160.24

от 95 руб /кг оптом

Используем для оценки железный порошок ПЖВ 2.160.22 за 320 руб/кг. Данный порошок успешно используется ОАО АВТОВАЗ для производства высокопрочных и теплостойких деталей автомобилей.

Порошки из алюминия

Алюминиевые порошки характеризуются разной маркировкой. Она зависит от состава и производственной технологии. В частности, выделяются три основных типа маркировки порошка:

– ПА или ПАП – первичный алюминиевый

– АПВ – вторичный

– АПЖ – жаропрочный

Серия ПА-1, ПА-2, ПА-3 и ПА-4 мало чем отличается по техническим показателям. Такие порошки получают при помощи пульверизации алюминия или его остатков. ПА1 и ПА2 имеют в своем составе 99, а остальные марки – 98 процентов самого алюминия (табл. 9). Среди примесей можно обнаружить медь, кремний или железо. Такая серия имеет народное название «серебрянка» и может использоваться в качестве сверх устойчивой

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		99

краски цвета металлик. Разница между такой серией состоит разве что в размере фракций. Чем выше номер, тем меньше частицы.

Таблица 9

Химический состав порошков алюминия

Марка порошка	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup> , не менее	Массовая доля, %				
		Активный алюминий, не менее	Примеси, не более			Влага, не более
			Железо	Кремний	Медь	
ПА-0	—	98	0,35	0,4	0,02	0,2
ПА-1	0,96	99	0,35	0,4	0,02	0,2
ПА-2	0,96	99	0,35	0,4	0,02	0,2
ПА-3	0,96	98	0,35	0,4	0,02	0,2
ПА-4	0,96	98	0,35	0,4	0,02	0,2

Вторичный алюминиевый порошок используется в производстве для задач промышленного типа и производства экзотермических составов. Вторичный пассированный порошок нужен для изготовления огнеупорных смесей, в которых ему отводится роль антиокислительной добавки. Жаропрочный порошок нужен для разработки сплавов, которые отличаются повышенной устойчивостью к огню. В нем не менее 96% состава занимает алюминий, а кроме стандартного набора примесей присутствуют еще и цинковые добавки.

Гранулометрический состав железного порошка должен соответствовать особым нормам: порошок не должен содержать посторонних примесей и комков, влажность его не должна превышать 0,2% (табл. 10).

## Гранулометрический состав:

Марка порошка	Остаток на сите, %, не более					Проход через сито, %						
	Сита											
	2000мкм	450 мкм	250 мкм	160 мкм	100 мкм	2500 мкм	630 мкм	450мкм	250 мкм	140 мкм	100 мкм	56 мкм
ПА-0	5	—	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—
ПА-1	—	12	—	—	—	—	100	—	Не более 20	—	—	—
ПА-2	—	—	10	—	—	—	—	100	—	Не более 20	—	—
ПА-3	—	—	—	10	—	—	—	—	100	—	Не более 30	—
ПА-4	—	—	—	—	15	—	—	—	—	100	—	—

В быту его широко используют в декоративных целях. Достоинство порошка – это экологичность. Можно смело обрабатывать им предметы внутри помещения, не беспокоясь о вреде для здоровья. Алюминиевый порошок используют часто и для окрашивания ограждений и фасадов домов.

В промышленности алюминиевый порошок используют для продления срока службы оборудования, изготовленного из подверженных коррозии металлов. На поверхности металлов, обработанных данным веществом, образуется плотная пленка, предотвращающая попадание кислорода и влаги.

По виду представляет из себя серебристо-серый порошок, отдающий металлическим блеском, без инородных примесей, равномерный, без комочков. Применяется в горнорудной (в виде высокоэнергетических добавок для взрывчатых веществ) и химической (в качестве восстановителя целлюлозы, благодаря быстрой реакции порошка в щелочной и кислой среде)

промышленности, в черной металлургии (как восстановитель к расплавленному железу).

Далее приведен список цен на марки алюминиевых порошков с предполагаемыми ценами за 1 килограмм. Все цены являются ознакомительными. Список предложен челябинским ООО Предприятие Порошковой Металлургии Урал Атомизация, которое занимается куплей/продажей металлических порошков.

1. Алюминиевая пудра ПАП-1  
Первичный 320.00 руб/кг  
Вторичный 230.00 руб/кг
2. Алюминиевая пудра ПАП-2  
Первичный 335.00 руб/кг  
Вторичный 235.00 руб/кг
3. Порошок алюминиевый ПА-0 ГОСТ 6058-73  
400 руб/кг
4. Порошок алюминиевый ПА-1 ГОСТ 6058-73  
255 руб/кг
5. Порошок алюминиевый ПАП ПА4 АПВ  
179 руб/кг
6. алюминиевая пудра для солнечных батарей 1-7 мкм 35max  
390 руб/кг
7. Порошок алюминий АПВ-90  
190 руб/кг
8. Порошок алюминий ПАЖ-1  
624 руб/кг
9. Порошок алюминия АВ87 ГОСТ 295-98  
288 руб/кг
10. Алюминиевый порошок А-10-00  
1120 руб/кг

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		102

Используем для оценки алюминиевый порошок ПА-1 ГОСТ 6058-73 255 руб/кг, так как данный порошок добавляют в краску для создания эффекта «металлик», в смесь для изготовления бетона в качестве газообразователя, используют при производстве фейерверков.

### Ферросплавы

Ферросплавами называется категория соединений на основе или с присутствием железа, преимущественно используемых под легирование стали. Существует две причины востребованности подобных сплавов. Во-первых, технологически, легирование ферросплавами обходится дешевле, чем применение чистых металлов. Во-вторых, получаемые сплавы железа характеризуются более низкими температурами плавления, что упрощает процесс легирования стали.

Присвоение кода продукции строится по простому принципу и содержит три группы буквенно-цифровых обозначений:

1. Ф – ведущая литера, обозначающая принадлежность к ферросплавам.

2. Базовый элемент. Вторая часть кода указывает на основное соединение, например для ферросилиция это С, ферромolibдена Мо, феррониобия Nb и так далее.

3. Процентное содержание ведущего элемента.

Сырьевая база этого технологического процесса представляет собой разнообразные руды или концентраты. В частности, руда востребована в производстве следующих групп соединений:

ферросилиций;

феррохром;

ферромарганец.

В среднем, на ферросплавы цена за кг веса колеблется от 18 до 1600 рублей. При этом существенные скачки наблюдаются даже для продукции

									Лист
									103
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР				



одного вида. Тот же недорогой ферросилиций характеризуется широким разбросом стоимости. В частности, марка ФС25 котируется эквивалентом 18 руб., тогда как на ФС75 ферросплав, цена за 1 кг достигает 68 руб.

Основное направление применения – производство сталей, чугунов и сплавов. Ферросплавы используются для легирования и раскисления выплавляемых материалов. Первый процесс позволяет существенно улучшить свойства стали путем добавления в ее состав дополнительных элементов, например, вольфрама, молибдена, никеля. Задача второго процесса – удаление из материала кислорода, который является вредной примесью и может существенно ухудшать механические свойства.

Более 2/3 феррохромов используется при изготовлении нержавеющей сталей. При этом содержание хрома в нержавеющей сталях может колебаться от 12 до 20%. При легировании сталей, путем внесения в их состав феррохрома, повышают такие показатели как прочность, вязкость и твердость конечного сплава. Эти свойства обусловлены высокой валентностью хрома.

Наиболее дорогими оказываются соединения на базе тугоплавких металлов. На подобные ферросплавы цена также определяется ведущим элементом.

Далее приведен список ферросплавов с предполагаемыми ценами за 1 килограмм. Все цены являются ознакомительными. Список предложен челябинским АО «Ферросплав», которое занимается куплей/продажей ферросплавов.

1. Ферромарганец ФМн-78

45 руб/кг

2. ФерросилицийФС45

78 руб/кг

3. ФеррохромФХ850

128 руб/кг

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		104

4. ФерротитанФТи70С05

285 руб/кг

5. ФерроборФБ17

330 руб/кг

6. Ферромолибден ФМо-60

650 руб/кг

7. Феррованадий ФВд-50

450 руб/кг

8. Феррованадий ФВд-80

750 руб/кг

9. Ферровольфрам ФВ-70

1300 руб/кг

10. Феррониобий ФНб-60

1500 руб/кг

Феррохром 850 128 руб/кг – сплав железа и хрома (около 60 %),  
применяется для легирования стали и сплавов.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		105

#### 4.4.3 Расчет экономического эффекта замены торцевого фрезерования ротационным

Экономическая эффективность определяет стоимость конечного продукта, влияет на рациональное использование ограниченных производственных ресурсов. Для машиностроения определяются методы обработки, качество данных методов, технологических процессов, отдельных конструкторско-технологических решений и т.д. Критериями экономической эффективности обработки являются: годовой экономический эффект, срок окупаемости затрат, экономический эффект на весь срок службы оборудования и снижение себестоимости оборудования.

Далее будут рассматриваться варианты использования стружки в общем виде.

Снятие стружки с заготовки происходит торцевой фрезой со сменными пластинами EF06.18C60.250.14 марки CNCM (рис. 62). Параметры и цена указаны в таблице 3.

Рисунок 62 – Торцевая фреза CNCM

Таблица 11 – Параметры фрезы

Наименование	Бренд	øD фрезы	øD1	øD2	ød хвостовика	H	Количество зубьев	ар	Цена, с НДС
--------------	-------	----------	-----	-----	---------------	---	-------------------	----	-------------

Данная фреза стоит 50 506 рублей, цена предложена интернет-магазином режущего инструмента CNCMagazine в г.Барнаул, комплект сменных пластин на данный инструмент стоит около 6 000 рублей, стоимость настройки – 5 000 рублей.

На основе информации из интернет-источников стоимость алюминиевой/железной/феррохромной стружки как отхода производств ориентировочно оценивается 55/100/64 рублей за килограмм. Рассчитаем сколько получим от продажи за 8-часовую смену 22,536/65,944/60,104 кг стружки, за рабочий месяц – 473,256/1 384,824/1 262,184 кг, за год – 5,679/16,618/15,146 т. по формуле:

$$C_{\text{см}} = C * m$$

$C_{\text{см}}$  – стоимость стружки;

$C$  – цена стружки за кг;

$m$  – вес стружки.

Алюминий:

$$55 * 22,536 = 1\,239,48 \text{ руб/смена};$$

$$55 * 473,256 = 26\,029,08 \text{ руб/месяц};$$

$$55 * 5\,679 = \underline{312\,345} \text{ руб/год.}$$

Железо:

$$100 * 65,944 = 6\,594,4 \text{ руб/смена};$$

$$100 * 1\,384,824 = 138\,482,4 \text{ руб/месяц};$$

$$100 * 16\,618 = \underline{1\,661\,800} \text{ руб/год.}$$

Феррохром:

$$64 * 60,104 = 3\,846,66 \text{ руб/смена};$$

$$64 * 1\,262,184 = 80\,779,78 \text{ руб/месяц};$$

$$64 * 15\,146 = \underline{969\,344} \text{ руб/год.}$$

Экономический эффект операции торцевого фрезерования таков, чтобы получить предпочтительно выгодный вариант от годовой продажи стружки:

					<b>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		107

- доходность с торцевой фрезы с продажи алюминия – 312 345 рублей;
- доходность с торцевой фрезы с продажи железа – 1 661 800 рублей;
- доходность с торцевой фрезы с продажи феррохрома – 969 344 рублей;
- стоимость фрезы – 50 506 рублей;
- сменные пластины – 6 000 рублей;
- настройка фрезы – 5 000 рублей.

Эта = 312 345 – 50 506 – 6 000 – 5 000 = 250 839 рублей;

Этж = 1 661 800 – 50 506 – 6 000 – 5 000 = 1 600 294 рублей;

Этф = 969 344 – 50 506 – 6 000 – 5 000 = 907 838 рублей.

Среди данных материалов при торцевом фрезеровании экономически предпочтителен железный порошок.

Срок окупаемости затрат на торцевую фрезу – 2 месяца.

Более лучшего качества срезаемая стружка получается ротационной фрезой, которую можно продать как продукцию. Стоимость ротационной несколько выше торцевой – 150 000 рублей. Комплект сменных пластин на данный инструмент стоит около 50 000 рублей, стоимость настройки – 20 000 рублей.

Рассчитаем сколько получим от продажи алюминиевого порошка за 8 часов смены 22,536 кг стружки, за рабочий месяц – 473,256 кг, за год – 5,679 т.:

$255 * 22,536 = 5\,746,68$  руб/смена;

$255 * 473,256 = 120\,680,28$  руб/месяц;

$255 * 5\,679 = 1\,448\,145$  руб/год.

Расчет стоимости железной стружки как порошка при определенном весе полученной стружки.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		108

За 8-часовую смену получаем 65,944 кг стружки, за рабочий месяц – 1 384,824 кг, за год – 16,618 т.

$$320 * 65,944 = 21\,102,08 \text{ руб/смена};$$

$$320 * 1\,384,824 = 443\,143,68 \text{ руб/месяц};$$

$$320 * 16\,618 = \underline{5\,317\,760} \text{ руб/год}.$$

Третье, Расчет стоимости стружки феррохрома ФХ850 как порошка.

За 8-часовую смену 60,104 кг стружки, за рабочий месяц – 1 262,184 кг, за год – 15,146 т.

$$128 * 60,104 = 7\,693,31 \text{ руб/смена};$$

$$128 * 1\,262,184 = 161\,559,55 \text{ руб/месяц};$$

$$128 * 15\,146 = \underline{1\,938\,688} \text{ руб/год}.$$

Экономический эффект операции ротационного фрезерования таков, чтобы получить предпочтительный вариант от годовой продажи стружки:

– доходность с ротационной фрезы с продажи алюминия – 1 448 145 рублей;

– доходность с ротационной фрезы с продажи железа – 5 317 760 рублей;

– доходность с ротационной фрезы с продажи феррохрома – 1 938 688 рублей;

– стоимость фрезы – 150 000 рублей;

– режущие элементы – 50 000 рублей;

– настройка фрезы – 20 000 рублей;

$$\text{Эра} = 1\,448\,145 - 150\,000 - 50\,000 - 20\,000 = 1\,228\,145 \text{ рублей};$$

$$\text{Эрж} = 5\,317\,760 - 150\,000 - 50\,000 - 20\,000 = 5\,097\,760 \text{ рублей};$$

$$\text{Эрф} = 1\,938\,688 - 150\,000 - 50\,000 - 20\,000 = 1\,718\,688 \text{ рублей}.$$

Среди данных материалов при ротационном фрезеровании экономически предпочтителен железный порошок.

Срок окупаемости затрат на ротационную фрезу – 2 месяца.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		109

Сравнение двух способов фрезерований по экономике различных материалов выглядит таким образом:

$$\text{Ээа} = 1\,228\,145 - 250\,839 = 977\,306 \text{ рублей};$$

$$\text{Ээж} = 5\,097\,760 - 1\,600\,294 = 3\,497\,466 \text{ рублей};$$

$$\text{Ээф} = 1\,718\,688 - 907\,838 = 810\,850 \text{ рублей}.$$

Вывод: торцевое фрезерование более дешевое в счет того, что фреза, ее обслуживание и получаемая стружка этой фрезой сравнительно недорогие. Ротационная фреза—более дорогая, ее обслуживание, но полученная стружка идет на дальнейшее производство, где есть возможность продажи для переработки в порошок.

Экономический эффект торцевого и ротационного фрезерований алюминия, железа и феррохрома самым выгодным и предпочтительным является железо, так как стоимость железа выше.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		110

## Выводы

1. Проведен анализ различных типов конструкций ротационных фрез, в ходе которого выявлены значительное повышение производительности и эффективности обработки.

2. Разработана САD-модель ротационной фрезы посредством программы Creo Parametric.

3. В ходе назначения параметров и ограничений на режущий элемент блока ротационной фрезы выявлены напряженное прочностное состояние.

4. Торцевое фрезерование более дешевое в счет того, что фреза, ее обслуживание и получаемая стружка этой фрезой сравнительно недорогие. Ротационная фреза—более дорогая, ее обслуживание, но полученная стружка идет на дальнейшее производство, где есть возможность продажи для переработки в порошок.

4. Экономический эффект торцевого и ротационного фрезерований алюминия, железа и феррохрома самым выгодным и предпочтительным является железо, так как стоимость железа выше.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		111



## Заключение и общие выводы

В заключение данной работы необходимо сказать о проблеме проводимого исследования: невозможности управления длиной элементной стружки. Без назначения режущего инструмента, параметров установки, режимов резания при ротационном фрезеровании в соответствии с требуемой длиной элементной стружки.

В первом разделе изложено производство металлических порошков, волокон, стружек с основными характеристиками и классификациями методов получения порошков и стружек. Также раскрывается сущность и особенности ротационного фрезерования.

Во втором разделе разработана методика экспериментального определения длины стружки при ротационном фрезеровании и анализирование геометрических параметров режущего лезвия ротационной фрезы.

В третьем разделе рассматривается моделирование формообразования элементной стружки ротационным фрезерованием с последующей разработкой математической модели длины элементной стружки и экспериментальном подтверждении адекватности данной модели.

В четвертом разделе речь идет об анализе и разработке конструкции ротационной фрезы с последующим 3D моделированием и анализом напряженно-деформированного состояния. Рассматривается оценка экономической эффективности операции получения элементной стружки ротационным фрезерованием.

По итогам работы сформулированы общие выводы:

1. Рассмотрены классификации методов получения порошков, такие как механические, физико-химические. Рассмотрены способы получения порошков типа дробление и размол, диспергирование расплава, грануляция расплава, обработка металлов резанием. Рассмотрены и изучены основные

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

характеристики получения порошков, такие как физические и технологические.

2. Разработанная методика экспериментального измерения длины стружки пригодна для практического использования и обеспечивает получение адекватных результатов. Разработана методика графического определения рабочих углов фрез для геометрической схемы ротационного фрезерования.

3. Разработана математическая модель длины элементной стружки ротационным фрезерованием. Экспериментально подтверждена адекватность математической модели. Представлено сравнение табличных и расчетных значений относительно полученных длин стружек. При законах распределения наблюдений, отличающихся от нормального, распределения статистики Бартлетта существенно зависят от объема выборки, однако достаточно хорошо сходятся к некоторым предельным законам.

4. Проведен анализ различных типов конструкций ротационных фрез, в ходе которого определена конструкция ротационной фрезы с последующей разработкой в CAD-системе Creo Parametric.

Произведен расчет экономической эффективности, который сравнивает торцевое фрезерование с ротационным на основе денежного эквивалента.

1. В ходе расчета производительности фрезерования были рассчитаны скорость резания фрезы  $V$ , подача  $S$ , частота вращения  $n$ , объем снимаемой стружки  $W$  для выявления производительности снятия материала  $Q$ . Произведено нормирование штучного времени.

2. Предложены списки с ознакомительными ценами некоторых видов порошка, такие как железные порошки, алюминиевые порошки, ферросплавы. Из списков выбраны по одному виду порошка, по которым проведены расчеты.

3. Произведен расчет экономической эффективности, который сравнивает торцевое фрезерование с ротационным на основе денежного эквивалента. При торцевом фрезеровании фреза и ее обслуживание являются недорогими, но и стружка получается ненадлежащего качества и ее можно продать как отходы производства. При ротационном фрезеровании фреза и обслуживание идут дороже, а стружку есть возможность продать как порошок, на которые цена несколько выше стружки-отходов.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		114

Научная новизна исследования:

Разработана методика графического определения рабочих углов для первой геометрической схемы ротационного фрезерования, показавшую однородность полученных результатов.

Разработана математическая модель длины элементной стружки ротационным фрезерованием, позволяющая управлять процессом операции ротационного фрезерования.

Практическая значимость

Разработана методика экспериментального определения длины стружки, получаемой ротационным фрезерованием. Экспериментально подтверждена адекватность математической модели. Рассчитано сравнение табличных и расчетных значений относительно полученных длин стружек. Расхождение по критерию Кохрена составляет 0,23 что равносильно неоднородности дисперсий, а по критерию Бартлетта – 0,18 что равносильно однородности дисперсий.

Выполнено 3D моделирование ротационной фрезы, что позволило изучить ее устройство, оценить структуру, возможности и оценить прочностное состояние.

Проведена оценка экономической эффективности операции ротационного фрезерования по сравнению с торцовым, показавшая ориентировочную стоимость, обслуживание и т.д. Цифры указаны за год

$$\text{Ээф} = 1\,718\,688 - 907\,838 = 810\,850 \text{ рублей.}$$

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		115

## Библиографический список

1. ГОСТ 28053-89 Стружка цветных металлов и сплавов. Методы отбора, подготовки проб и методы испытаний. Государственный комитет СССР по стандартам 1989. – 37 с.
2. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник / И.М. Федорченко, И.Н. Францевич, И.Д. Радомысельский и др.; Отв. ред. И.М. Федорченко. – Киев: Наук. думка, 1985. – 624 с.
3. Порошковая металлургия. Кипарисов С. С., Либенсон Г. А., М., Металлургия, 1980. – 496 с.
4. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна, Бальшин М. Ю. Изд-во Металлургия, 1972. – 336 с.
5. Ротационное резание материалов: Справочник / Ящерицын П.И., Борисенко А.В., Дривотин И.Г., Лебедев В.Я. – Мн.: Наука и техника, 1987, – 229 с.
6. Круглый поворотный резец для чистового точения: А.с, 107 394 СССР: Кл. 49а, 33.
7. Коновалов Е. Г. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е. Г. Коновалов, В. А. Сидоренко, А. В. Соусь. Минск: Наука и техника, 1972. 272 с.
8. Шаламов, В.Г. Реализация системного подхода к процессу ротационного фрезерования: Учебное пособие / В.Г. Шаламов, С.Д. Сметанин. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 59 с.
9. Шаламов, В.Г. Экспериментальное определение коэффициента усадки стружки при ротационном фрезеровании: статья / В.Г. Шаламов, С.Д. Сметанин, А.И. Голосников. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 8 с.
10. Бобров В.Ф., Иерусалимский Д.Е. Резание металлов самовращающимися резцами М. Машиностроение, 1972, 112 с.

					ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		116

11. Шаламов, В.Г. Кинематика ротационного и традиционного резания / В.Г. Шаламов, С.Д. Сметанин, М.Н. Гатитулин // Известия Челябинского научного центра УрО РАН, 2009-3. – С. 13 – 17.

12. ГОСТ 25751–83 Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 25 с.

13. Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: Учебное пособие для студентов вузов/ В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высш.шк., 2004: – 404 с.

14. Сметанин, С.Д. Геометрические параметры ротационных фрез / С.Д. Сметанин, Р.С. Свиначук // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2018. – С. 26 – 34.

15. Б.Ю. Лемешко, Е.П. Миркин. Критерии Бартлетта и Кохрена в измерительных задачах при вероятностных законах, отличающихся от нормального // Измерительная техника. — 2004 Т. №10. — С. 10-16.

16. Сметанин, С.Д. Методика экспериментального определения длины стружки при ротационном фрезеровании / С.Д. Сметанин, Р.С. Свиначук // WorldScience: материалы III Международной научно-практич. конф. – Czech Republic, Karlovy Vary - Russia, Moscow, 2018. – С. 124 – 134.

17. ГОСТ 19440-94 Порошки металлические. Определение насыпной плотности. Часть 1. Метод с использованием воронки. Часть 2. Метод волюмометра Скотта. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации СССР. – 12 с.

18. ГОСТ 9849–86. Порошок железный. Технические условия. – М: Государственный комитет СССР по стандартам 1986. – 9 с.

19. ГОСТ 6058–73. Порошок алюминиевый. Технические условия. – М: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1973. – 10 с.

										Лист
										117
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР					

20. ГОСТ Р 57135–2016. Ферросплавы. Методы отбора и подготовки проб для количественного химического анализа. Часть 1. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. 2016. – 20 с.

21. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. С74 Т. 2 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985, 496 с.

22. Техническое нормирование операций механической обработки деталей: Учебное пособие. Компьютерная версия. — 2-е изд., перер. /И.М. Морозов, И.И. Гузеев, С.А. Фадюшин. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005 — 65 с.

23. ГОСТ 16229–81 Фрезы дисковые двухсторонние со вставными ножами из быстрорежущей стали для обработки легких сплавов. Конструкция и размеры. Государственный комитет СССР по стандартам 1981 – 12 с.

24. ГОСТ 16222–81 Фрезы торцовые насадные для обработки легких сплавов. Конструкция и размеры. Государственный комитет СССР по стандартам 1981 – 7 с.

25. ГОСТ 7.1-2003 СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации 2003 г.

					<i>ЮУрГУ–15.04.05.2019.180 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		118