

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

УДК 621.941.01 (043.3)

На правах рукописи

**МУКАНОВ РУСЛАН БАТЫРБЕКОВИЧ**

**Разработка сборной и комбинированной конструкций резцовых  
головок для торцового точения отверстий**

6D071200 – Машиностроение

Диссертация на соискание степени  
доктора философии (PhD)

Научные консультанты

кандидат технических наук,  
профессор Касенов А.Ж.

доктор технических наук,  
профессор Янюшкин А.С.

Республика Казахстан  
Алматы, 2021

## Содержание

Нормативные ссылки	3
Введение	4
1. Состояние проблемы и постановка задач исследований	8
1.1. Конструкции современных осевых металлорежущих инструментов	8
1.2. Качество и точность обработки отверстий	18
2. Теоретическое исследование обработки отверстий резцовыми головками	23
2.1. Разработка конструкции резцовых головок	23
2.2. Методика уравнивания осевых сил резцовых головок	30
2.3. Обоснование конструктивных параметров резцовых головок	36
2.4. Моделирование процесса обработки отверстий	40
3. Экспериментальные исследования	57
3.1. Методика проведения исследований	57
3.2. Экспериментальные исследования влияния режимов резания	63
3.3. Обработка результатов исследований	66
4. Экономическая эффективность применения сборной резцовой головки	77
Заключение	79
Список использованных источников	81
Приложение А. Патент на изобретение	89
Приложение Б. Акт внедрения на ТОО «ПТПЗ»	91
Приложение В. Акт внедрения в учебный процесс	92

## Нормативные ссылки

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:  
ГОСТ 8161-75 (СТ СЭВ 1667-79) Рельсы железнодорожные типа Р65.  
Конструкция и размеры.

ГОСТ Р 55601-2013 Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Крепление труб в трубных решетках. Общие технические требования

ГОСТ 25557-2006 (СТ СЭВ 147-75) Конусы инструментальные. Основные размеры

ГОСТ 19086-80 Пластины сменные многогранные твердосплавные. Технические условия

ГОСТ 19042-80 (ИСО 1832-85) Пластины сменные многогранные. Классификация. Система обозначений. Формы

ГОСТ 19077-80 Пластины опорные сменные многогранные твердосплавные квадратной формы с задним углом. Конструкция и размеры.

## **Введение**

Согласно Государственных программ индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015–2019 годы и 2020–2025 годы главный барьер на пути обеспечения качественного роста экономики – это цифровизация и технологическое перевооружение.

Для создания основы будущих высокоэффективных предприятий или высокотехнологичных стартапов, диверсификации существующего производства и повышения конкурентоспособности необходима технологическая модернизация [1].

Обеспечение высокоточной обработки невозможно без использования прогрессивного высокопроизводительного оборудования и инструмента, который обеспечивает достижение заданных экономических и технологических показателей технологического процесса изготовления деталей машин.

Для обработки отверстий в настоящее время применяют металлорежущий инструмент: Seco Tools, Sandvik Coromant, Walter, Mitsubishi и Iscar и др.

Диссертационная работа направлена на выполнение основных задач ГП ИИР-2, ГП ИИР-3, грантовых финансирований университета НИР проекта «Проектирование и разработка сборных и комбинированных конструкций резцовых головок» по программе «Жас ғалым» 2015–2016 годы (приказ № 6/1-07/625 от 01.11.2013 г.) и молодых ученых на 2021–2023 годы по проекту ИРН АР09058231 «Исследование и проектирование ресурсо-энергосберегающих металлорежущих инструментов», финансируемого Комитетом Науки МОН РК с разработкой конструкции металлорежущего инструмента – сборной и комбинированной конструкций резцовых головок, конструктивные и геометрические особенности которых обеспечивают высокую производительность и эффективность торцового точения отверстий, увеличение точности обработки и уменьшение шероховатости обрабатываемых деталей.

### **Актуальность темы исследования**

Повышение качества деталей машин достигается совершенствованием технологических процессов, а, именно создание новых способов обработки и конструкций металлорежущих инструментов. Затраты на изготовление металлорежущих инструментов составляют 22–30 % общих затрат на изготовление. С учётом значимости совершенствования технологических процессов механической обработки с применением современных металлорежущих инструментов, направление теоретических и экспериментальных исследований является актуальными.

Разработки новых металлорежущих инструментов осуществляются по следующим направлениям: улучшение геометрии режущих поверхностей инструмента для уменьшения усилия резания, разработка новых износостойчивых сплавов и покрытий, совершенствование инструментов с целью расширения области их применения.

### **Объект исследования**

Сборная резцовая головка для торцового точения отверстий.

### **Предмет исследования**

Технология обработки отверстий сборной резцовой головки.

**Цель исследования** Обеспечение высокой точности обработки отверстий с разработкой новых конструкций сборной и комбинированной конструкций резцовых головок

### **Основные задачи исследования**

- 1 Выполнить анализ исследований обработки отверстий.
- 2 Разработать новые конструкции сборной резцовой головок для торцового точения отверстий с целью повышения качества;
- 3 Составление математических и эмпирических зависимостей, описывающих процесс обработки и характер влияния конструктивных и геометрических параметров сборных резцовых головок на точность обработки отверстий;
- 4 Разработать методику расчета конструктивных и геометрических параметров сборной резцовой головки на основе компьютерного моделирования.

### **Научная новизна**

Научная новизна работы заключается:

- разработаны конструкции новых металлорежущих инструментов – сборных и комбинированных резцовых головок, с созданием благоприятных условий в процессе резания путём уравнивания возникающих при резании моментов, положительно влияющих на точность и качество обработки отверстий;
- разработана схема процесса обработки отверстий сборной резцовой головкой, позволяющая описать условия резания; механизм действия и распределения сил резания;
- выполнен расчет сборной резцовой головки с использованием программы АРМ Multiphysics и установлено их уравнивание, что приводит к равенству моментов, равномерному вращению в процессе обработки, уменьшению колебаний и вибраций, а, следовательно, уменьшению погрешности, повышение точности обработки и снижение шероховатости поверхности отверстия.

### **Метрологическое обеспечение диссертации**

Экспериментальные исследования по теме диссертации проведены в лабораториях КазНИТУ имени К. И. Сатпаева, факультета инженерии Торайгыров университета и на базе ТОО «Павлодарский трубопрокатный завод».

Проведение экспериментальных исследований осуществлялось на сверлильно-фрезерно-расточном станке 400V с ЧПУ. Точность обработки отверстий проверялась при помощи измерительного прибора MarForm MMQ 200, а шероховатость поверхности – мобильным прибором MarSurf M 300.

### **Практическая ценность работы**

Практическая значимость заключается в разработке оригинальных конструкций сборной и комбинированной резцовых головок для торцового точения с высокой точностью обработки отверстий.

В производственных условиях проведены испытания разработанной конструкции нового металлорежущего инструмента – сборной резцовой головки с твёрдосплавными пластинами, применение которой даёт меньшее отклонение по сравнению со стандартным инструментом в продольном и поперечном сечениях в 1,2 раза, т.е. повышается точность и качество обрабатываемых отверстий. Помимо этого, уменьшается нагрузка на твёрдосплавные пластины в 1,2 раза и повышается их прочность в 1,1 раза, что увеличивает стойкость инструмента и его ресурс и результаты диссертационной работы внедрены в производство ТОО «Павлодарский трубопрокатный завод», а также в учебный процесс Торайгыров университета (Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова) для специальности «Машиностроение» по дисциплине «Проектирование и производство металлорежущих инструментов».

### **Положения, выносимые на защиту**

1 Конструкции сборных резцовых головок для торцового точения отверстий, обеспечивающие 7–9 квалитет точности с шероховатостью поверхности Ra 2,5–3,2 мкм

2 Результаты экспериментальных исследований процесса обработки отверстий сборной резцовой головкой и влияние режимов резания (частоты вращения и подачи) на точность и качество обработки отверстий;

3 Обоснование конструктивных и геометрических параметров сборной резцовой головки на основе компьютерного моделирования с использованием АРМ Multiphysics;

4 Рекомендации по применению конструкций сборной резцовой головок для торцового точения отверстий.

**Личный вклад автора** состоит в постановке цели и задач исследования; анализе публикаций, научно-технической и патентной литературы по исследованиям учёных, направленных на обработку отверстий металлорежущими инструментами, проектированию и разработке конструкции инструмента; участие в разработке конструкций нового металлорежущего инструмента; в непосредственном проведении экспериментальных исследований, обработке и обобщении полученных результатов.

### **Апробация работы**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на заседании научного семинара факультета инженерии и научно-методических заседаниях КазННТУ имени К.И. Сатпаева; на международной научно-практической конференции «Конкурентоспособность технической науки и образования» (Алматы, КазННТУ, 2016); международной научной конференции молодых учёных, студентов и школьников «XVI Торайгыровские чтения», (Павлодар, ПГУ имени С. Торайгырова, 2016); международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в машиностроении» (Томск, Россия, 2018).

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 10 научных трудов, из них 3 в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, 1 патент на изобретение РК, 3 статьи в изданиях входящих в международную базу Scopus и 3 в материалах международных конференций.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа изложена на 92 страницах, содержит 19 таблиц и 71 рисунок и состоит из введения, 4 разделов и выводов, заключения, списка использованных источников, состоящего из 116 наименования и приложений.

## **1 Состояние проблемы и постановка задач исследований**

Машиностроение одна из важнейших отраслей, развитие которой отражает экономический уровень страны [2]. В свою очередь вопросы обработки материалов резанием, в частности получение и обработка отверстий являются немаловажным фактором в машиностроительном производстве.

Обработка отверстий является распространённой операцией в машиностроительном производстве [3], в связи с этим существует множество методов и соответственно целый ряд инструментов для обработки отверстий [4–6]

Для обработки отверстий в настоящее время применяют металлорежущий инструмент фирм: Seco tools, Sandvik Coromant, Mitsubishi, Walter, Iscar, Widia, Nikko Tools и др. [7–17].

Работоспособность эксплуатации сборных инструментов во многом зависит от конструкции, инструментального материала, режимов резания, способов базирования, крепления и геометрических параметров режущего элемента [13, 14, 17].

### **1.1 Конструкции современных осевых металлорежущих инструментов**

Большое количество деталей машин различного назначения имеют отверстия: цилиндрические, конические, фасонные и т.д., а их получение возможно различными методами и способами.

В настоящее время существуют различные методы обработки материалов, как механическая, лазерная обработка, гидроабразивная и т.д. [4, 5, 15–22]. Каждому из этих способов присущи как достоинства, так и недостатки. Так, например, лазерная резка имеет ограничения по толщине обрабатываемого материала, при гидроабразивной резке получается низкое качество поверхности. В связи с многими факторами на сегодняшний день механическая обработка материалов, в частности для получения отверстий занимает ведущее положение.

Наибольшее распространение получили стержневые (осевые) металлорежущие инструменты, рисунок 1.1, (сверла, зенкера, развертки, протяжки), но для получения отверстий в сплошном материале в основном применяются сверла [16].

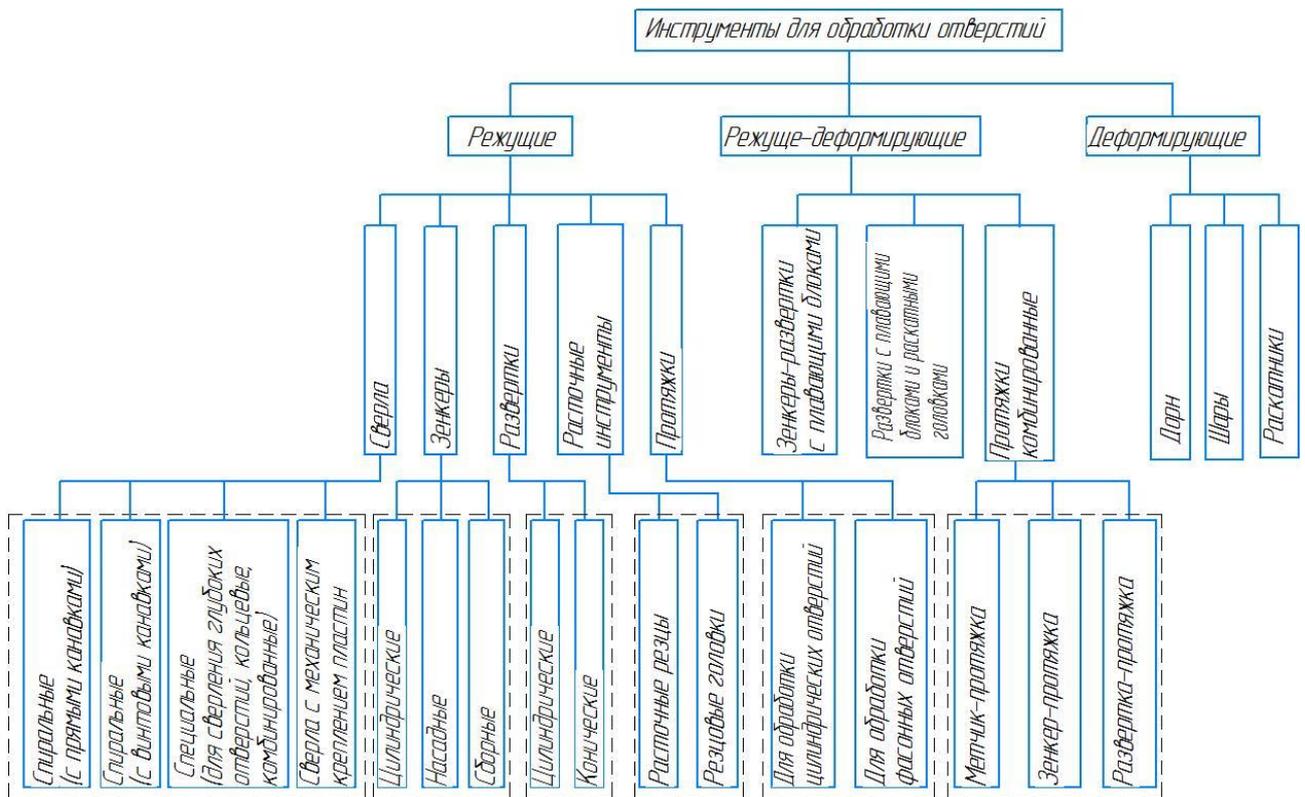


Рисунок 1.1 – Металлорежущие инструменты для обработки отверстий

### Рассмотрим некоторые конструкции.

Сверла спиральные – универсальный инструмент и применяются для обработки различных материалов с различным углом наклона винтовой канавки (рисунок 1.2). С увеличением угла наклона передний угол тоже увеличивается и облегчается стружкообразование, но уменьшается прочность сверла. Для обработки большинства конструкционных сталей угол при вершине  $2\varphi = 118^\circ$ , а задний угол  $\alpha = 8...12^\circ$ . Для обработки мягких материалов –  $2\varphi = 60...90^\circ$  и  $\alpha = 12...15^\circ$ . Для твердых и вязких материалов – с  $2\varphi = 135...150^\circ$  и  $\alpha = 6...8^\circ$ . Для уменьшения крутящего момента, силы трения и тепловыделения уменьшают длину режущих кромок [23].



Рисунок 1.2 – Сверла спиральные

Традиционные спиральные сверла могут эффективно обрабатывать отверстия глубиной  $L < 3d$ . При обработке глубоких отверстий возникает ряд факторов отрицательно влияющих на условия работы инструмента (плохой отвод стружки, тепла, некачественный подвод СОЖ). Это приводит к необходимости уменьшения скорости резания и подачи (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Влияние глубины отверстий на скорость резания и подачу

Относительная глубина отверстия, L/d	Снижение скорости резания от номинальной, %	Снижение подачи номинальной, %
3...4	5	5
4...5	10	10
5...6	30	20
6...8	30...40	20

Сверла с СМП по сравнению со спиральными сверлами имеют следующие преимущества [24]:

- повышение производительности обработки, за счёт сокращения вспомогательного времени на замену затупившегося инструмента [25, 26];
- до 90 % количества СМП после использования возвращается в повторную переработку и сокращаются потери вольфрама, титана и кобальта за счет регенерации и повторного использования пластин [27];
- уменьшение количества инструмента, находящегося в обороте, упрощение его складирования, увеличение степени унификации сверл;
- возможность использования одного и того же корпуса сверла для закрепления пластин из разных марок твердого сплава;

- взаимозаменяемость многогранных пластин;
- большая жесткость, что гарантирует минимальный увод сверла при достаточно высоких подачах и обеспечивает высокую точность отверстия;
- возможность обрабатывать материалы высокой твердости;
- простота смены пластины после затупления;
- возможность получения отверстия любого диаметра без предварительного сверления сверлом меньшего диаметра [28].

### 1.1.1 Конструкции инструментов для обработки отверстий Seco Tools

Конструкции сверл со сменными пластинами Seco Tools, классифицируются по следующим признакам: конструкцией хвостовиков, глубине сверления, типу стружечной канавки.

Основные параметры инструментов Seco Tools приведены на рисунке 1.3 и таблице 1.2.

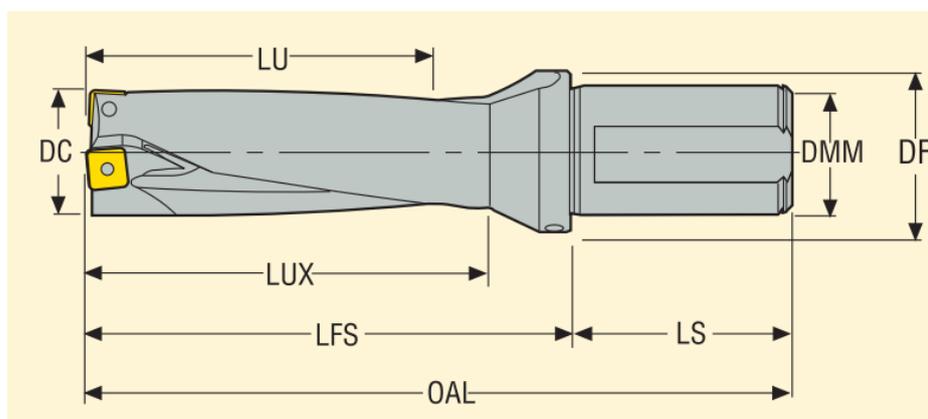


Рисунок 1.3 – Основные параметры инструментов SECO TOOLS

Таблица 1.2 – Диапазон основных размеров инструментов SECO TOOLS, мм

DC	LU	Размеры					
		OAL	LFS	LS	LUX	DMM	DF
15,0–59,0	30–118	91–216	60–148	31–68	35–123	20–50	30–63

### 1.1.2 Конструкции инструментов Sandvik Coromant

Каталог Sandvik Coromant инструменты для обработки отверстий условно можно поделить на следующие три группы (рисунок 1.4) [29, 30]:

- цельные твердосплавные сверла;
- сверла серии CoroDrill;
- сверла со сменными пластинами.

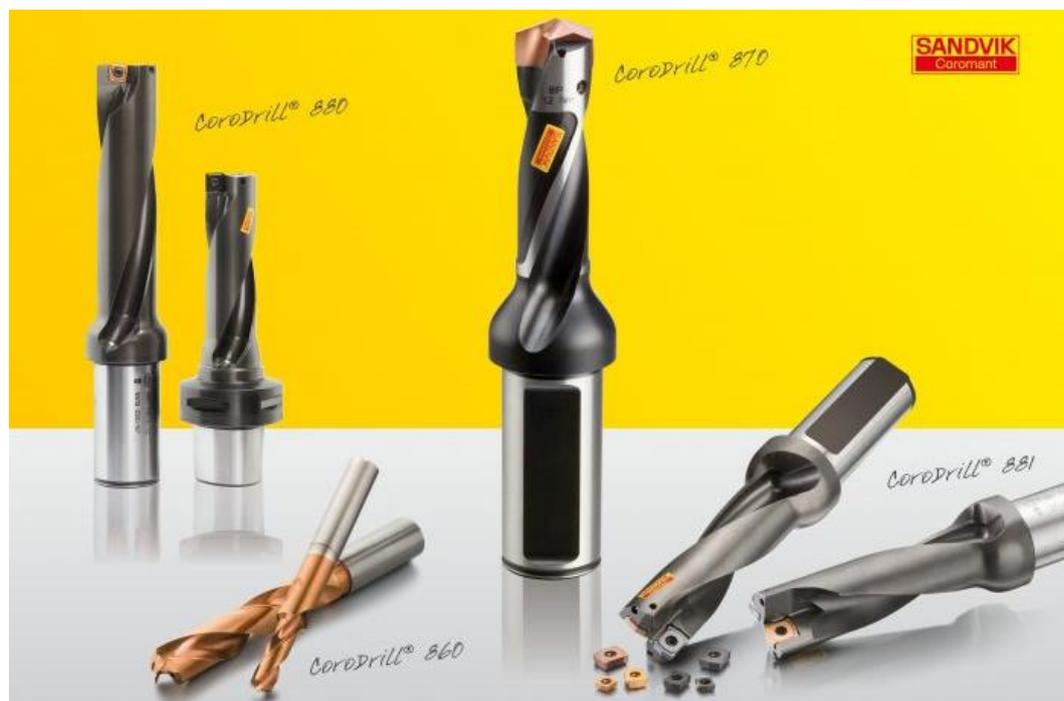


Рисунок 1.4 – Инструменты Sandvik Coromant

Каждый из этих них имеет свои достоинства и недостатки, поэтому правильный выбор сверла и его правильное применение имеют большое значение, т.к. оказывают огромное влияние на эффективность и качество обработки.

### 1.1.3 Конструкции инструментов Walter

Диапазон диаметров инструментов для обработки отверстий варьируется в пределах 0,05 мм ... 100 мм, что покрывает практически все распространенные размеры (рисунок 1.5).

В зависимости от требований к качеству получаемого отверстия, параметрам шероховатости и т.д., существуют инструменты с аналоговой или цифровой настройкой, что обеспечивает точность и надежность.

Для развёртывания Walter предлагает цельные твердосплавные и быстрорежущие развёртки, а также различные варианты сборных развёрток с пластинами [31].



Рисунок 1.5 – Инструменты для обработки отверстий Walter, лист 1



Рисунок 1.5, лист 2

#### 1.1.4 Конструкции инструментов Mitsubishi Carbide

Инструмент, выпускаемый данной компанией, является одним из мировых лидеров на рынке металлорежущих инструментов (рисунок 1.6). Большое распространение получили инструменты для токарной и фрезерной обработки, инструменты для обработки отверстий [32].



Рисунок 1.6 – Металлорежущие инструменты Mitsubishi Carbide

#### 1.1.5 Конструкции инструментов Iscar

Iscar специализируется на производстве металлорежущего инструмента высокого качества (рисунок 1.7). Для получения отверстий заданной глубины и диаметра применяется сверление. Твердосплавные сверла нового поколения, разработанные компанией Iscar, имеют внутренние периферийные каналы для подачи охлаждающей жидкости и оснащаются сменными пластинами с титановым покрытием. Прочность новых сверл заметно увеличилась за счет

особого расположения каналов. Применение сверл Iscar позволяет получать отверстия с минимальными отклонениями от заданных геометрических параметров. Металлорежущие многолезвийные инструменты производства Iscar находят применение во всех отраслях современного производства, где требуются высокая скорость и точность обработки металла [33].



Рисунок 1.7 – Металлорежущие многолезвийные инструменты производства Iscar

Одним из вариантов инструмента производимых компанией являются сборные инструменты на основе спиральных сверл (рисунок 1.8). В данное время в связи с тем что инструмент в принципе не отличается высокими показателями обработки, то следовательно и не получил широкого признания. [7].



Рисунок 1.8 – Комбинированные сочетания разных видов твердосплавных сверл, лист 1



Рисунок 1.8, лист 2

### 1.1.6 Конструкции инструментов для обработки отверстий PRAMET

Продукция PRAMET для обработки отверстий включает в себя инструменты с механическим креплением режущих пластин, цельные твердосплавные сверла, а также инструмент для растачивания, включающий в себя расточные головки для обработки отверстий диаметром от 6 мм до 500 мм [34].

Сверла со сменными режущими пластинами имеют широкий диапазон размеров для обработки отверстий глубиной от  $2D$  до  $5D$  (рисунок 1.9) [35]. Они имеют одну режущую кромку и могут также работать со смещением от оси, в качестве вращающегося или неподвижного инструмента. Размер обрабатываемого отверстия можно регулировать от  $-0,2$  мм до  $+0,5$  мм при обработке со смещением.

Основные параметры инструментов PRAMET приведены на рисунке 1.9 и таблице 1.3.

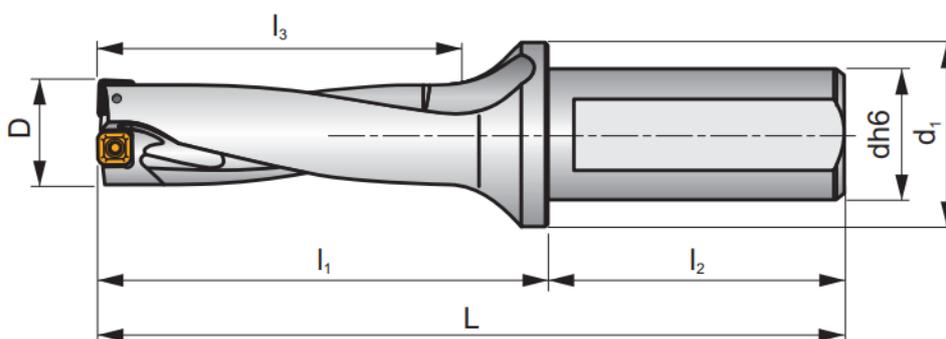


Рисунок 1.9 – Основные параметры инструментов PRAMET

Таблица 1.3 – Диапазон основных размеров инструментов PRAMET, мм

D	L	Размеры				
		11	12	13	Dh6	D1
15,0–58,0	136–270	80–200	56–70	49,5–186	25–40	35–58

### 1.1.7 Конструкции инструментов для обработки отверстий TUNGALOY

Инструменты для обработки отверстий компании TUNGALOY включает в себя линейку инструментов с механическим креплением режущих пластин (TungSix-Drill, TungDrillTwisted, DeepTri-Drill) рисунок 1.10, и цельные твердосплавные сверла (GigaMiniDrill, SolidDrill) рисунок 1.11 [36, 37, 38, 39].



Рисунок 1.10 – Инструменты для обработки отверстий компании TUNGALOY с механическим креплением режущих пластин



Рисунок 1.11 – Цельные твердосплавные сверла компании TUNGALOY

Инструменты с механическим креплением режущих пластин TUNGALOY, отличаются помимо вышеуказанных характеристик, основными параметрами и типами хвостовика (рисунки 1.12–1.13), (таблицы 1.3–1.5) [40, 41, 42].

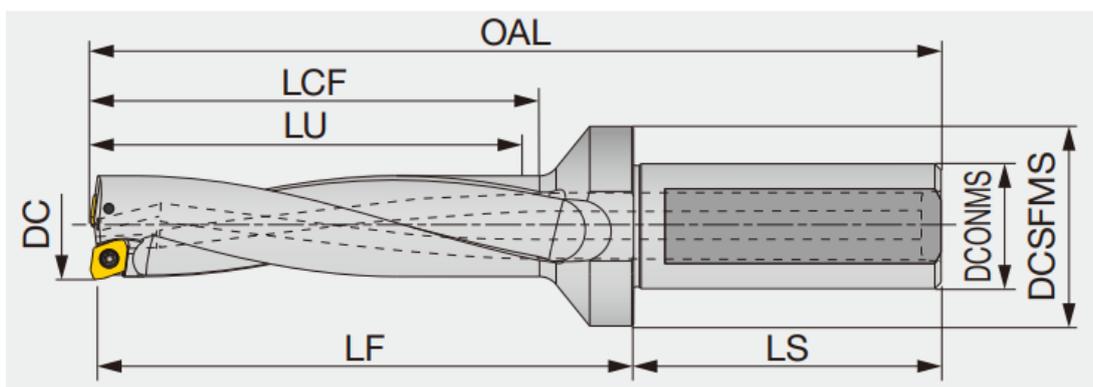


Рисунок 1.12 – Основные параметры инструментов для обработки отверстий компании TUNGALOY с механическим креплением режущих пластин

Таблица 1.4 – Диапазон основных размеров инструментов TUNGALOY, мм

DC	LU	Размеры					
		LS	LCF	LF	OAL	DCONMS	DCSFMS
12,5–32,0	25,4–64,7	49–59	28,4–69	41–92,3	90,4–152	20–32	25–40

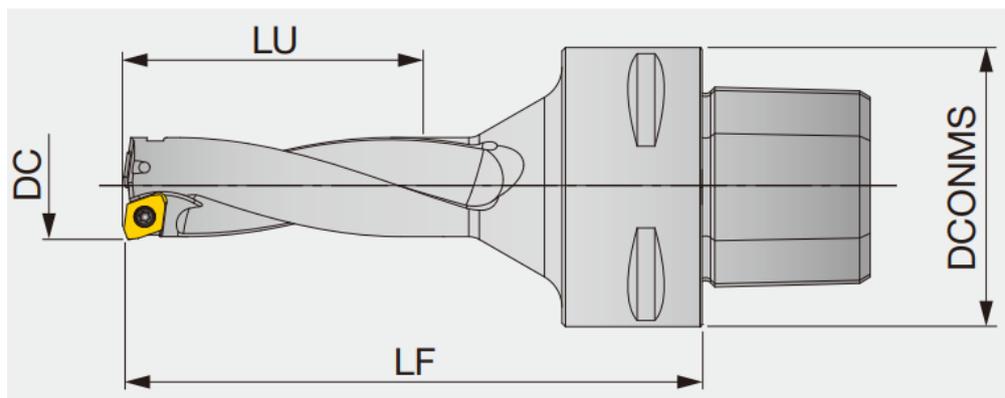


Рисунок 1.13 – Основные параметры инструментов для обработки отверстий компании TUNGALOY с механическим креплением режущих пластин

Таблица 1.5 – Диапазон основных размеров инструментов TUNGALOY хвостовик типа С-TDX, мм

DC	LU	Размеры	
		LF	DCONMS
15,0–40,0	45–63	82–177	40–63

### 1.1.8 Конструкции инструментов для обработки отверстий Nikko Tools

Серия инструментов для сверления DRS Nikko Tools, длиной от  $2 \times D$  до  $5 \times D$  и диаметром от 12,5 до 50 мм представлена на рисунках 1.14 и 1.15. Основным

отличием является форма пластин с четырьмя резцами для обеспечения стабильности и снижения усилия резания [43].



Рисунок 1.14 – Инструменты для обработки отверстий компании Nikko Tools с механическим креплением режущих пластин

Основные параметры инструмента компании Nikko Tools, представлены на рисунке 1.15 и таблице 1.6 [44].

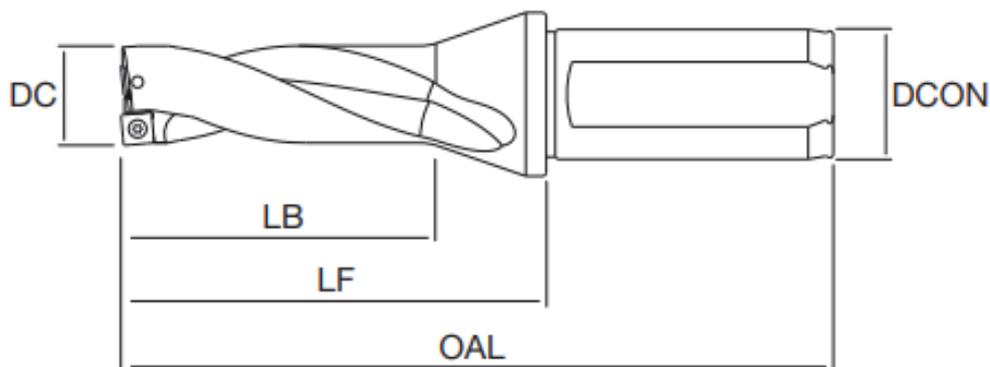


Рисунок 1.15 – Основные параметры инструментов для обработки отверстий компании Nikko Tools с механическим креплением режущих пластин

Таблица 1.6 – Диапазон основных размеров инструментов Nikko Tools мм

DC	LB	Размеры		
		LF	OAL	DCON
13,0–50,0	26–200	44–245	94–315	20–40

## 1.2 Качество и точность обработки отверстий

Сверление – способ обработки отверстий в сплошном материале, при котором сложно получить идеальные размеры и форму. Сечения, образуемые при обработке часто принимают форму овала в поперечном сечении и конуса в продольном [7].

При этом получаемый при сверлении диаметр из-за так называемой разбивки сверла больше на 0,15...0,25 мм. [45].

При отсутствии соосности инструмента и шпинделя станка или несимметричности режущих кромок, возникают радиальные колебания инструмента и вибрации, что приводит к дисбалансу радиальных составляющих сил резания и совокупность всех данных факторов приводит к разбивке получаемого отверстия [7, 45, 46].

В случае отсутствия режущих кромок, как в сборных инструментах с твердосплавными пластинами на разбивку отверстия влияет то что процесс резания начинается с центральной пластины, которая смещена от оси и вследствие этого возникает неуравновешенность радиальных сил резания. Помимо разбивки отверстия из-за влияния неуравновешенности могут происходить такие явления как радиальные колебания и вибрации, увод инструмента и повышенный износ периферийной пластины [7].

Для исключения влияния данных факторов на качество обработки отверстий производитель Iscar предлагает использовать твердосплавную пластину, имеющую режущую кромку, специальной формы с помощью которой и минимизируют факторы, влияющие на отклонение инструмента, а значит и к меньшей разбивке отверстия (рисунок 1.16).



Рисунок 1.16 – Сборное сверло Iscar

Sandvik Coromant [29, 30, 47], предлагают сборный инструмент, у которого режущая кромка центральной твердосплавной пластины имеет ломаную грань а периферийная имеет прямоугольную форму (рисунок 1.17).



Рисунок 1.17 – Сборное сверло CoroDrill-880 Sandvik Coromant

Одним из вариантов решения вопроса по улучшению условий работы инструмента является метод предложенный Бакановым А.А. [28] который заключается в развороте пластины на угол  $\psi$  (рисунок 1.18), при этом за счет данного угла происходит уравнивание сил резания, которые зависят от распределяются по режущим кромкам пластины.

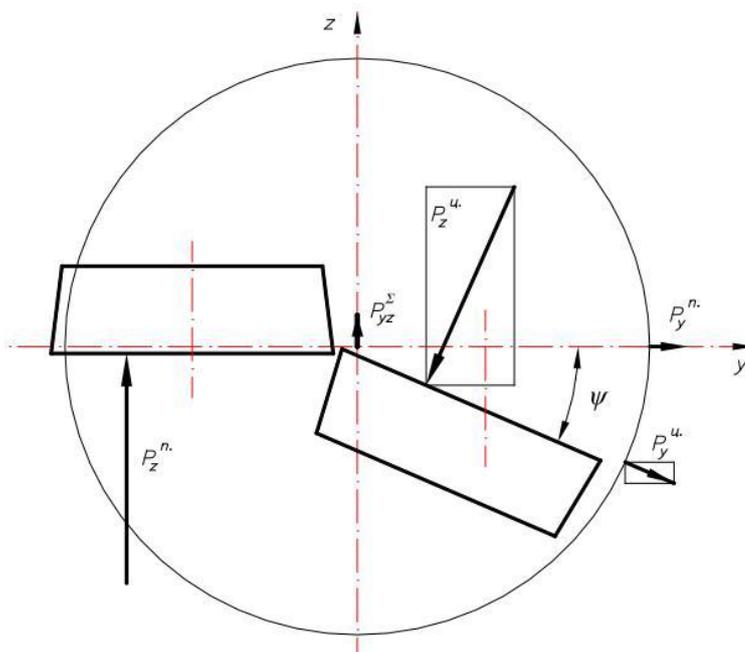


Рисунок 1.18 – Сборное сверло с разворотом пластин

Петрушин С.И. создал научное направление – оптимальное проектирование формы и материала режущей части инструмента на основе изучения закономерностей процесса резания [48–51].

Автором Василега Д.С. предложена интегрируемая в САПР методика, позволяющая подобрать материал сменных пластин с учетом материала

заготовки и распределения температуры возникающей в процессе резания для обеспечения высокой работоспособности инструмента [52].

Разработаны пластины повышенной прочности с криволинейными режущими кромками с радиусом равным или меньшим длины грани ( $R < L$ ), обеспечивающими снижение опасных напряжений растяжения до 5 раз, а также конструкции сборных резцов и торцовых фрез с этими пластинами [53].

Исследования [54–58] направлены на повышение прочности сменных многогранных пластин (СМП) из инструментальных твердых сплавов (ИТС) и работоспособности сборных инструментов путем управления напряженно-деформированным состоянием (НДС) и прочностью пластин на основе результатов экспериментальных, с применением разработанного метода лазерной интерферометрии, и численных, методом конечных элементов, исследований НДС и прочности СМП, и установленных зависимостей изменений механических характеристик ИТС от температуры резания.

При обработке отверстий сборным инструментом с твердосплавными режущими элементами получают допуск IT11-12 (таблица 1.7). [30, 31, 59–61].

Таблица 1.7 – Точность обработки отверстий

№ п/п	Поле допуска	Интервалы диаметров, мкм							Область применения
		3–6	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120	
1	IT 6	8	9	11	13	16	19	22	Ответственные отверстия в корпусных деталях
2	IT 7	12	15	18	21	25	30	35	
3	IT 8	18	22	27	33	39	46	54	Ступенчатые или гладкие отверстия в деталях тела вращения
4	IT 9	30	36	43	52	62	74	87	
5	IT 10	48	58	70	84	100	120	140	Крепежные отверстия в различных деталях
6	IT 11	75	90	110	130	160	190	220	
7	IT 12	120	150	180	210	250	300	350	
8	IT 13	180	220	270	330	390	460	540	

Ряд авторов приводят сведения о преимуществах инструментов со сменными пластинами перед инструментами изготовленных из быстрорежущей стали, либо имеющие напайваемые твердосплавные пластины [7, 19, 62]

- 1 Высокая стойкость (выше на 25–30 %);
- 2 Высокие скорости обработки;
- 3 Сокращенное время наладки инструмента;
- 4 Высокие экономические показатели
- 5 Улучшенная логистика, как в поставках, так и при использовании инструмента.

В настоящее время учитывая современные тенденции развития инструментов для обработки отверстий, для улучшения эксплуатационных показателей применяют методы состоящих из трех этапов (этап выбора, этап

проектирования и этап эксплуатации), на каждом из них проводится следующий комплекс мероприятий [7, 63]:

1 проводятся мероприятия, направленные на улучшение свойств материалов пластин, методов упрочнения режущих кромок применяемых твердосплавных пластин;

2 оптимизируются параметры при модернизации или разработке конструкции сборного инструмента;

3 оптимизируются режимы обработки.

Диссертационное исследование направлено на повышение точности и производительности с разработкой и проектированием сборной и комбинированной конструкций резцовых головок для торцового точения отверстий на основе оптимизации конструктивных и геометрических параметров и компьютерного моделирования.

## 2 Теоретическое исследование обработки отверстий резцовыми головками

### 2.1 Разработка конструкции резцовых головок

При обработке отверстий спиральными сверлами, необходимо учитывать конструктивные недостатки и малую стойкость которые вынуждают применять режимы для которых характерны низкие значения скорости резания [92].

Конструктивные недостатки обусловлены наличием поперечной режущей кромки и вследствие в процессе обработки возникают высокие температуры и механические напряжения за счет того, что нарушается процесс резания, что в свою очередь отрицательно влияет на точность обработки и стойкость инструмента [92].

В общем виде процесс резания представляет собой следующую модель предложенную автором (рисунок 2.1) [66].

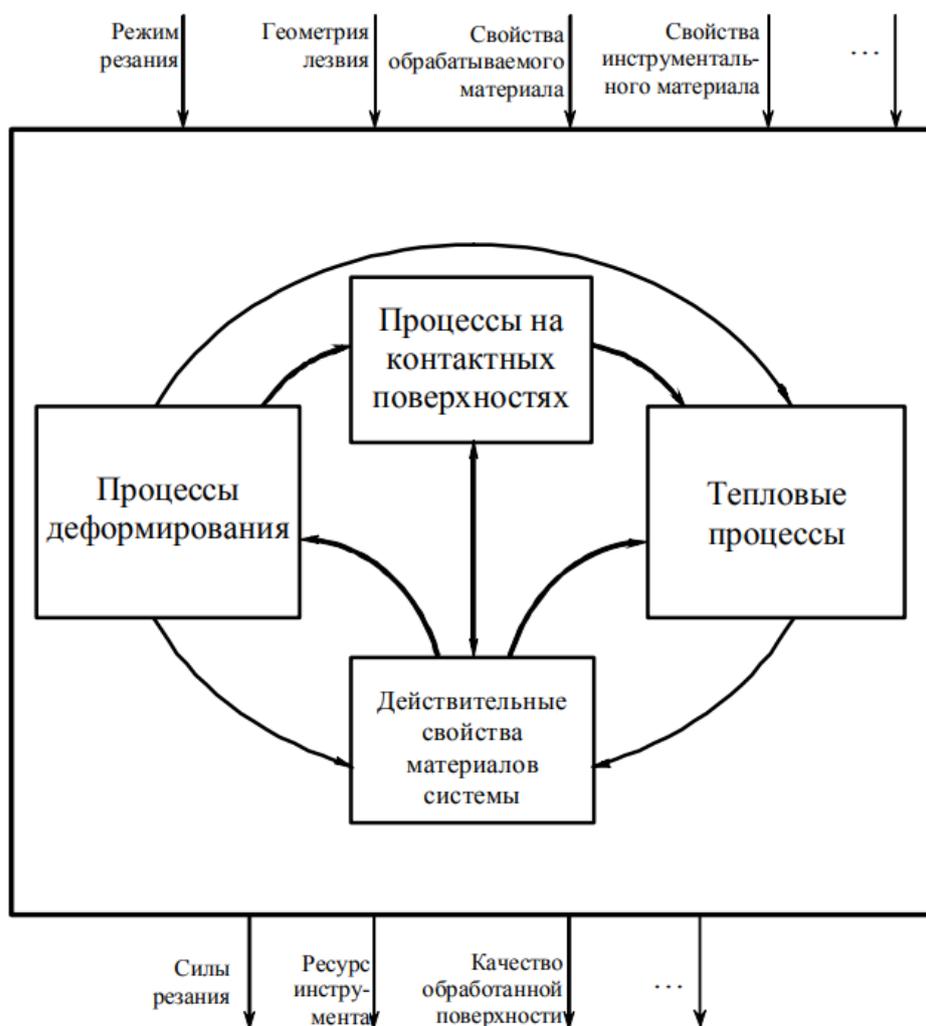


Рисунок 2.1 – Физическая модель процесса резания

Данная модель описывает процессы, в которых работа направлена на преодоление сил трения на контактных поверхностях, т.е. на резание срезаемого слоя и процесс стружкообразования [93, 94, 95].

Исходя из вышеуказанной модели одним из входных параметров в физической модели резания является геометрия лезвия и свойства инструментального материала, однако следует учитывать что и геометрические параметры инструмента влияют на процесс обработки, в частности при получении отверстий в сплошном материале.

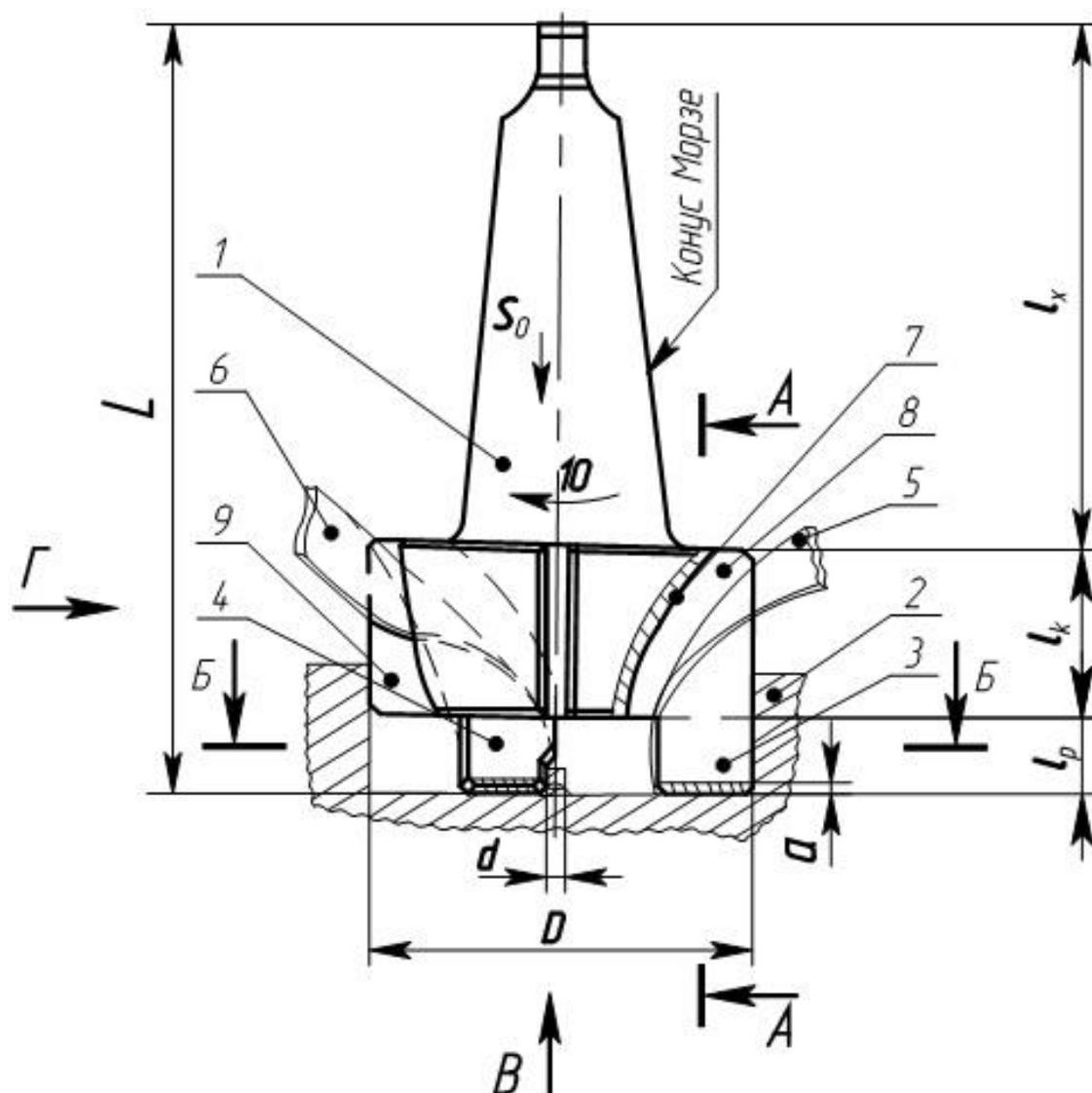
Для обеспечения нормального протекания процессов резания и стружкообразования возникает необходимость в создании инструментов без поперечной кромки, улучшая геометрические параметры с использованием новых материалов с высокой стойкостью [96–98].

Описываемая резцовая головка (РГ) – это новый инструмент для точения сплошных отверстий. РГ имеет ассиметрично расположенные резцы [90–92].

У представленной РГ нет поперечной кромки, следовательно условия работы при точении отверстий значительно легче и можно повысить скорость резания, при этом повышается точность обработки так как нет дисбаланса от влияния поперечной кромки [97].

Конструктивные элементы конструкции РГ представлены на рисунке 2.1. Она имеет режущие кромки, перпендикулярные оси головки: 1 – РГ; 2 – заготовка; 3 – резец, расположенный у периферии РГ (внешний резец); 4 – резец, расположенный у оси РГ (внутренний резец); 5 – срезаемая внешним резцом стружка ( $a$  – толщина среза); 6 – срезаемая внутренним резцом стружка; 7 – грязевая канавка (условно совмещена на чертеже с осью РГ); 8 – стружечная канавка 1; 9 – стружечная канавка 2; 10 – вращательное движение РГ при точении отверстия [91].

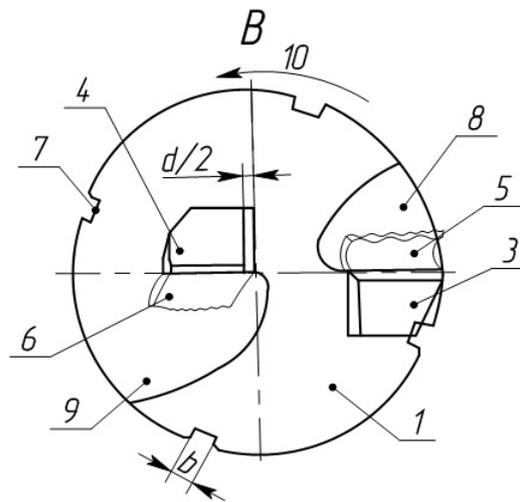
Сечение А-А – сечение геометрии резца в плоскости, касательной к траектории выбранной точки режущей кромки резца; сечение Б-Б – сечение геометрии резцов в плоскости, перпендикулярной оси РГ.



$S_0$  – осевая подача;  $D$  – диаметр отверстия;  $d$  – диаметр стержня, остающийся вдоль оси заготовки, периодически обламывающегося и уносящегося стружкой;  $l_k$  – длина корпуса РГ;  $l_p$  – вылет (высота) резца;  $l_x$  – длина хвостовика;  $L$  – длина РГ

Рисунок 2.2 – Конструкция РГ

На рисунке 2.2 показан вид на РГ по стрелке В, с исполнением корпуса с грязевыми канавками на цилиндрической направляющей части и снимаемой стружкой: 1 – РГ; 3 – внешний резец РГ; 4 – внутренний резец РГ; 5 – стружка, снимаемая внешним резцом; 6 – стружка, снимаемая внутренним резцом, 7 – грязевая канавка на корпусе РГ; 8 – стружечная канавка 1; 9 – стружечная канавка 2; 10 – вращательное движение при работе РГ [91, 92].

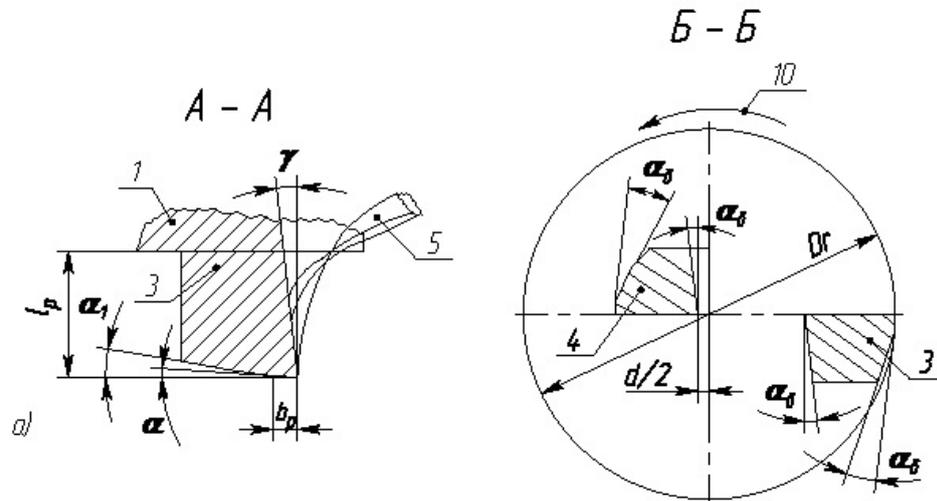


$d/2$  – размер подточки внутреннего реза;  $b$  – ширина грязевой канавки

Рисунок 2.3 – Вид В на РГ

На рисунке 2.3, а показана конструкция и геометрия внешнего реза (продольное сечение А-А): 1 – корпус РГ; 3 – внешний резец; 5 – стружка у внешнего реза.

На рисунке 2.4, б показано поперечное сечение Б-Б по резакам резцовой головки: 3 – внешний резец РГ; 4 – внутренний резец РГ; 10 – вращение РГ [91, 92].

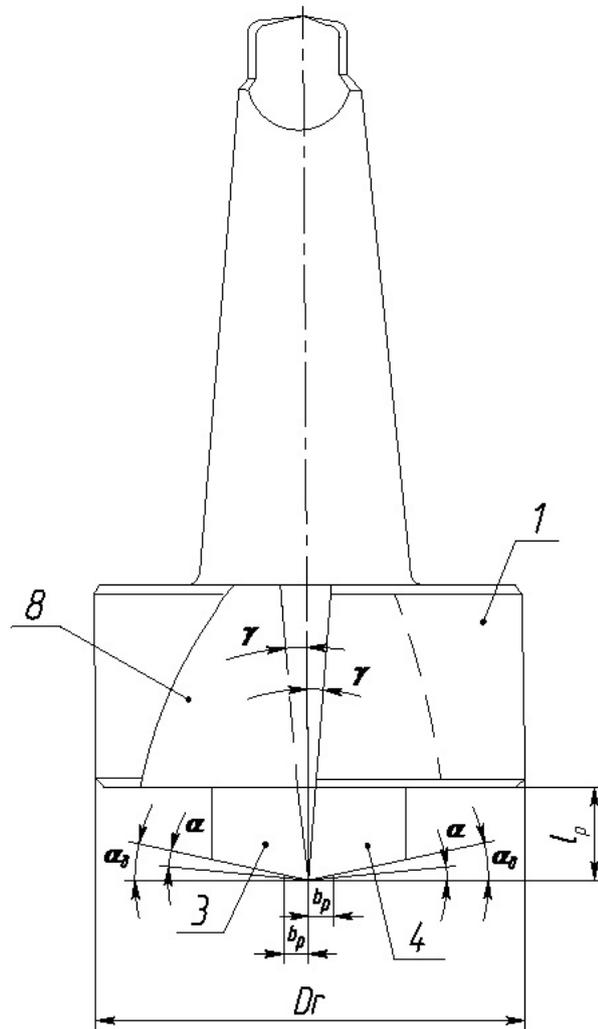


а – продольное сечение А-А плоскостью, нормальной к главной режущей кромке реза; б – сечение Б-Б по резакам РГ

$l_p$  – вылет реза;  $b_p$  – ширина задней поверхности;  $\alpha$  – задний угол;  $\alpha_1$  – угол на корпусе реза,  $\gamma$  – передний угол реза;  $\alpha_6$  – задние боковые углы па резах;  $D_r$  – диаметр РГ

Рисунок 2.4 – Геометрические параметры в плоскости, перпендикулярной оси РГ

На рисунке 2.5 показан вид на РГ (с режущими кромками, перпендикулярными оси головки) сбоку по стрелке Г: 1 – корпус РГ; 3 – внешний резец РГ; 4 – внутренний резец РГ; 8 – стружечная канавка у внешнего резца РГ [91, 92].



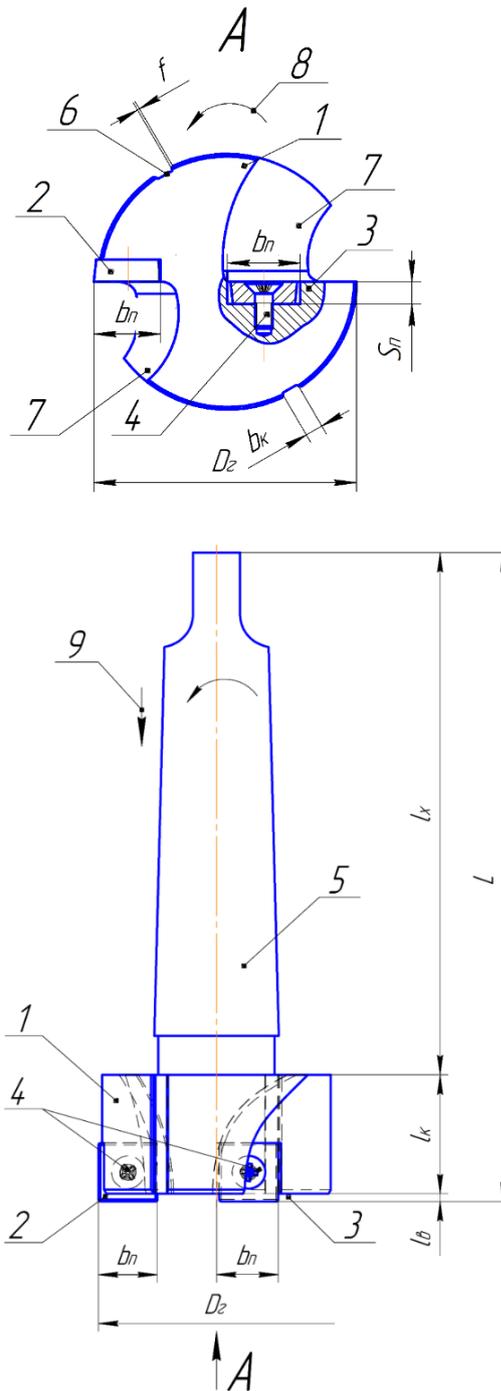
$l_p$  – высота (вылет) резца;  $b_p$  – ширина задней поверхности;  $\alpha$  – задние углы резцов;  $\alpha_d$  – дополнительные углы заточки резцов у задней поверхности;  $\gamma$  – передние углы резцов;  $D_r$  – диаметр РГ

Рисунок 2.5 – Вид на РГ по стрелке Г

Следует отметить что при точении отверстий резцовой головкой особенностью является то что РГ не вращается, но подается продольно, при том что вращается заготовка. Резцы имеют ассиметричное расположение относительно оси РГ, резец расположенный в центральной части РГ имеет «стружколом», периферийный резец может при наличии твердосплавных направляющих выполнять «калибрующие» функции [92].

На основе проведенного анализа конструкции РГ, с целью улучшения технологичности при производстве, и увеличения ресурса и срока эксплуатации была разработана РГ с креплением твердосплавных пластин винтами (рисунки 2.6, 2.7). В описываемой конструкции из-за расположения режущих пластин

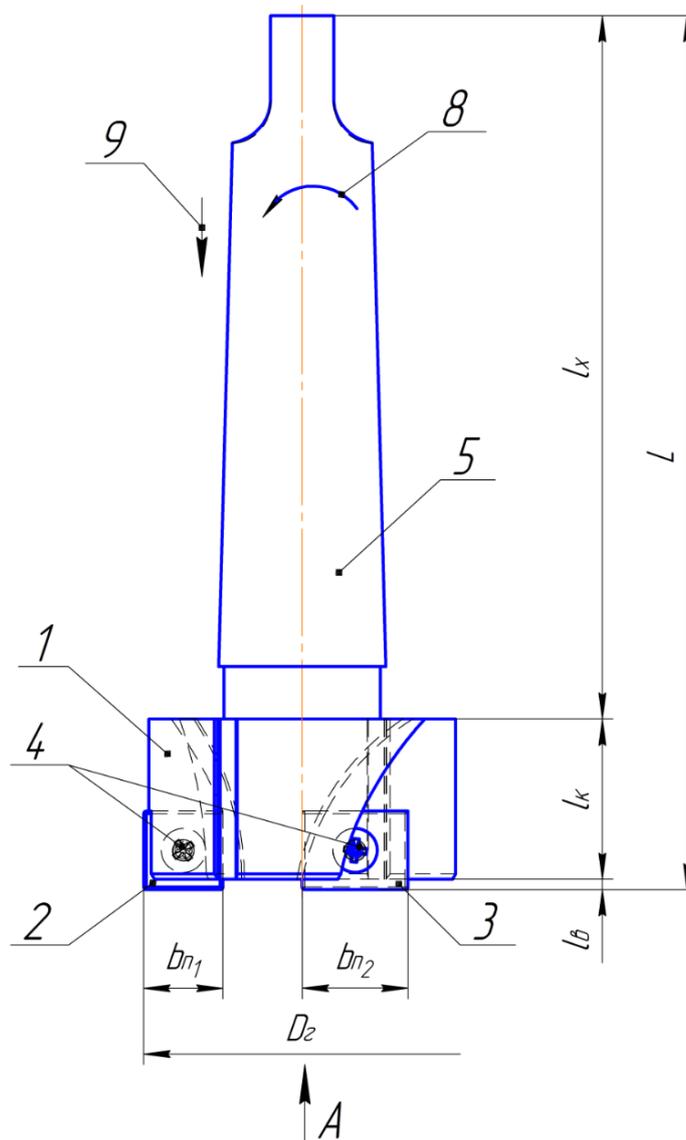
возникает разность моментов на центральной и периферийной пластинах, что отрицательно сказывается на точности и качестве получаемого отверстия вследствие влияния дисбаланса и вибрации [93, 97].



$L$  – длина сборной резцовой головки;  $l_x$  – длина хвостовика;  $l_k$  – длина корпуса СРГ;  $l_b$  – длина вылета твёрдосплавной пластины;  $b_n$  – ширина твёрдосплавной пластины;  $b_k$  – ширина грязевой канавки на корпусе СРГ;  $f$  – фаска на грязевой канавке;  $D_z$  – диаметр резцовой головки; вид  $A$  – вид для идентификации расположения твёрдосплавных пластин

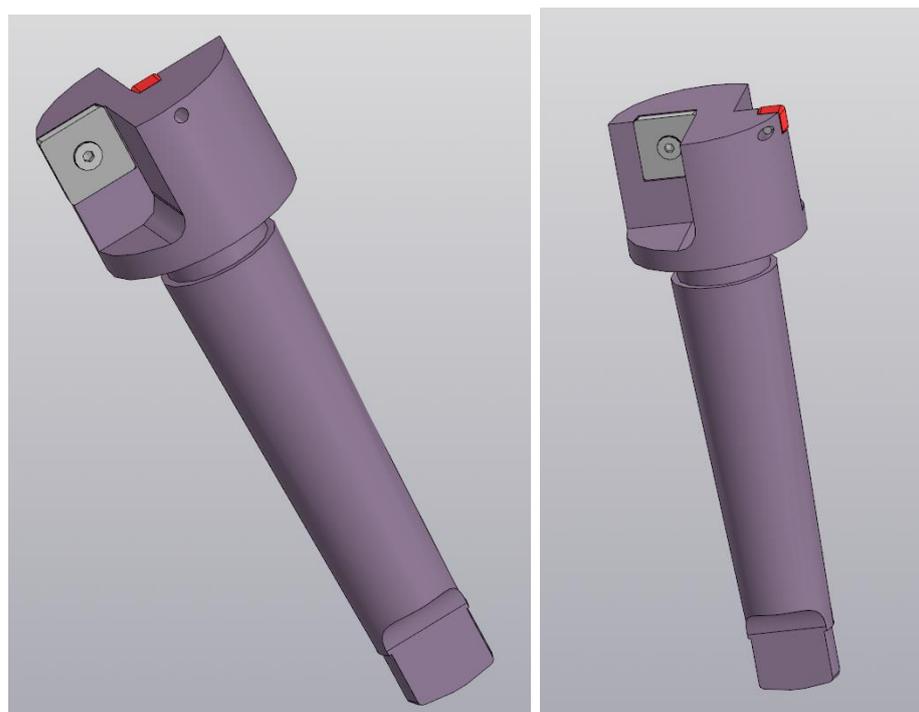
Рисунок 2.6 – СРГ с твёрдосплавными пластинами одинаковой ширины

Учитывая недостатки конструкции СРГ с твердосплавными режущими пластинами с одинаковой шириной (рисунок 2.7), с целью устранения дисбаланса на режущих кромках разработана СРГ с твердосплавными режущими пластинами с разной шириной режущей кромки (рисунок 2.7, 2.8), данное решение благодаря устранению дисбаланса между пластинами обеспечивает протекание процесса резания как при точении, а, значит отсутствие факторов и явлений отрицательно влияющих на качество обработки как высокая температура, скобления, выдавливание [97].



$b_{n1}$  – ширина наружной твёрдосплавной пластины;  $b_{n2}$  – ширина внутренней твёрдосплавной пластины

Рисунок 2.7 – СРГ с твёрдосплавными пластинами разной ширины



а)

б)

а – СРГ с центральной пластиной меньшей ширины; б – СРГ с пластиной меньшей ширины установленной на периферии

Рисунок 2.8 – 3D модель СРГ с твёрдосплавными пластинами разной ширины

Положительное влияние на качество обработки оказывает отсутствие поперечной кромки, при этом ширина снимаемого слоя зависит от рассчитаного соотношения размеров твердосплавных пластин.

Применение в конструкции твердосплавных пластин производимых серийно ведущими мировыми производителями позволяет упростить конструкцию, что уменьшает себестоимость изготовления инструмента. Кроме того, позволит обрабатывать отверстия сокращая количество переходов и количество применяемых инструментов [94].

Применение СРГ позволит повысить качество обработки отверстия, кроме того, являются комбинированными инструментами заменяют сверло, зенковка, зенкер и развертка, следовательно, уменьшаются энергозатраты и себестоимость изготовления изделия [96].

## 2.2 Методика уравнивания осевых сил резцовых головок

Указанные в разделе 2.1 улучшенные показатели обработки отверстий реализуемы, при обеспечении уравнивания моментов, возникающих на режущих кромках центральной и периферийной твердосплавных пластинах.

$$M_{кр.т.н.} = M_{кр.т.в.} \quad (2.1)$$

Для определения составляющих моментов необходимо составить схему действия сил резания при обработке отверстий СРГ с твёрдосплавными пластинами разной ширины (рисунок 2.9).

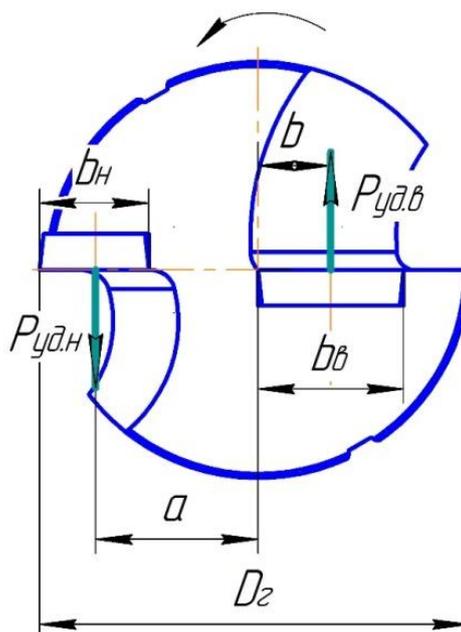


Рисунок 2.9 – Схема действия сил резания

Согласно схеме действия сил резания формула (2.1) принимает вид:

$$P_{уд.н} \cdot a \cdot b_n = P_{уд.в} \cdot b \cdot b_в \quad (2.2)$$

где  $P_{уд.н}$  – единичная удельная сила наружной твёрдосплавной пластины;  
 $a$  – расстояние от оси СРГ до оси отверстия крепления внутренней твёрдосплавной пластины;

$b_n$  – ширина наружной твёрдосплавной пластины;

$P_{уд.в}$  – единичная удельная сила внутренней твёрдосплавной пластины;

$b$  – расстояние от оси СРГ до оси отверстия крепления наружной твёрдосплавной пластины;

$b_в$  – ширина внутренней твёрдосплавной пластины;

$D_г$  – диаметр РГ.

В целом при точении отверстий СРГ с пластинами разной ширины, возникают силы и момент указанные на рисунке 2.10.

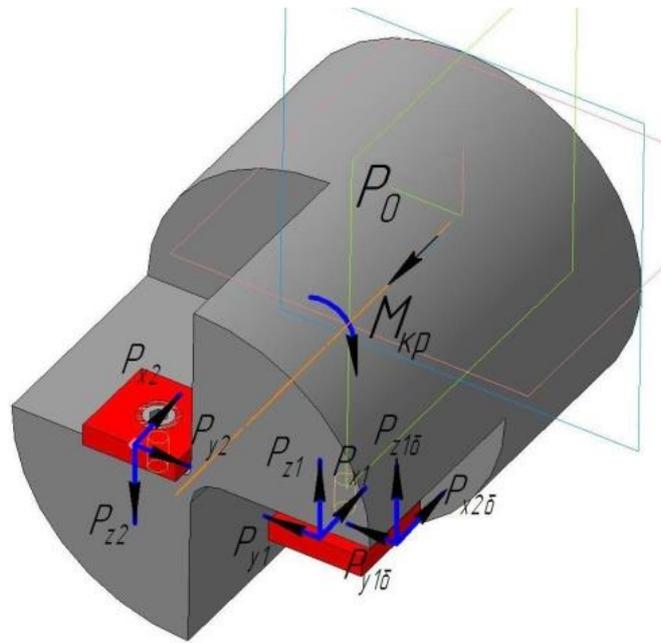


Рисунок 2.10 –Силы возникающие при при точении отверстий СРГ с пластинами разной ширины

Согласно рисункам 2.9 и 2.10 составим уравнение движения СРГ с твёрдосплавными пластинами разной ширины с учётом действующих сил:

$$m\ddot{x}_c = -P_{y_1} - P_{y_{1\delta}} + P_{y_2} - c_v x_c \quad (2.3)$$

$$m\ddot{z}_c = -P_{z_1} - P_{z_{1\delta}} + P_{z_2} - mg \quad (2.4)$$

где  $c_v$  – коэффициент пропорциональности;  
 $m$  – масса инструмента;  
 $x_c; z_c$  – координаты точки С – центра режущей части в неподвижной плоскости  $XOZ$ ;  
 $P_x; P_y; P_z$  – осевая, радиальная и тангенциальная силы;  
 $P_o; M_{кр}$  – продольная сила и крутящий момент [97].

Учитывая исследования авторов в работе [92] которые отметили, что при асимметричном расположении твёрдосплавных пластин возникает неуравновешенный изгибающий момент, создаваемый осевыми силами, который отрицательно влияет на качество обработки, возникает необходимость уравнивания данных моментов.

Для уравнивания возникающих моментов воспользуемся методикой, предложенной авторами Дудак Н.С., Янушкин А.С. [92]. Согласно методике, составляется схема действующих сил и моментов (рисунки 2.11 и 2.12).

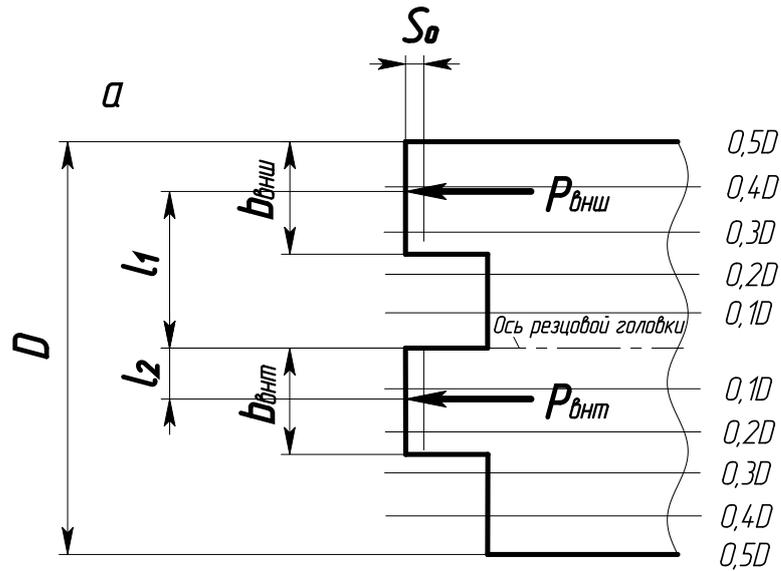


Рисунок 2.11 – Схема режущей части и действующих сил и моментов РГ с равными по ширине пластинами

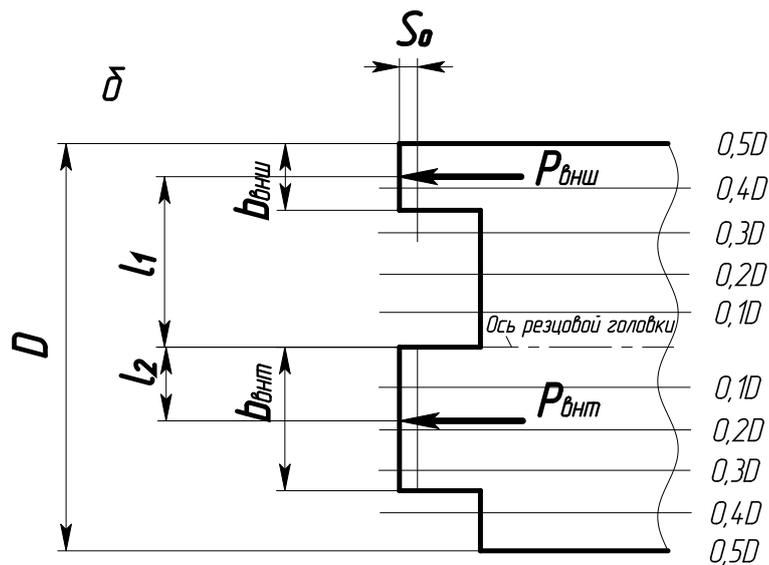


Рисунок 2.12 – Схема режущей части и действующих сил и моментов РГ с уравновешенными силами при разной ширине пластин

Следуя методике определяем силу на периферийной режущей пластине:

$$P_{\text{внш}} = 0,25 \cdot D \cdot p_{\text{уд}} \quad (2.5)$$

Так как мы рассчитываем условную величину, то принимаем единичную удельную силу  $p_{\text{уд}}$  давления на единицу длины режущей кромки. В таком случае условная сила резания будет равна:

$$P_{\text{внш}} = 0,25 \cdot D$$

Далее определяем расстояние от точки приложения суммарной силы до оси:

$$l_1 = \left( \frac{0,5D - b_{\text{ВНШ}}}{2} \right) = (0,5 - 0,125D) = 0,375D \quad (2.6)$$

Момент действующий на внешнюю твёрдосплавную пластину равен:

$$M_{\text{ВНШ}} = P_{\text{ВНШ}} \cdot l_1 = 0,25D \cdot 0,375D = 0,09375D^2 \quad (2.7)$$

Применяя аналогичную методику проведем расчет момента действующего на центральную пластину:

$$M_{\text{ВНТ}} = P_{\text{ВНТ}} \cdot l_2 = 0,25D \cdot 0,125D = 0,0375D^2 \quad (2.9)$$

$$M_{\text{ВНШ}} = 0,09375 D^2 > M_{\text{ВНТ}} = 0,0375 D^2$$

Как мы видим момент действующий на внешнюю пластину практически больше в 2,5 раза чем действующий на центральную пластину.

В случае применения пластин с режущей кромкой разной ширины изменяются и расстояния, влияющие на величину момента (рисунок 2.11).

Тогда

$$P_{\text{ВНШ}} = (0,25D - x) \cdot p_{\text{уд}} \quad (2.10)$$

где  $x$  – величина уменьшения длины режущей кромки.

Определяем расстояние от точки приложения суммарной силы до оси:

$$l_1 = (0,25D + x + 0,25x) = (0,25D + 1,5x) \quad (2.11)$$

В таком случае формула для определения момента действующего на периферийную пластину примет вид:

$$M_{\text{ВНШ}} = P_{\text{ВНШ}} \cdot l_1 = (0,25D - x) \cdot (0,25D + 1,5x) = 0,0625D^2 + 0,35Dx - 1,5x^2$$

Далее используя известные формулы [92] получим, что момент действующий на центральную режущую кромку равен:

$$M_{\text{ВНТ}} = P_{\text{ВНТ}} \cdot l_2 = (0,25D + x) \cdot \left( \frac{0,25D}{2} + 0,5x \right) = \frac{0,0625D^2}{2} + 0,25Dx + 0,5x^2$$

Используя условие равенства моментов на периферийной и центральной пластинах можно найти величину изменения размера режущих пластин.

$$P_{\text{ВНШ}} \cdot l_1 = P_{\text{ВНТ}} \cdot l_2$$

$$0,0625D^2 + 0,35Dx - 1,5x^2 = \frac{0,0625D^2}{2} + 0,25Dx + 0,5x^2$$

$$0,1Dx - x^2 = 0$$

$$x = 0,1D$$

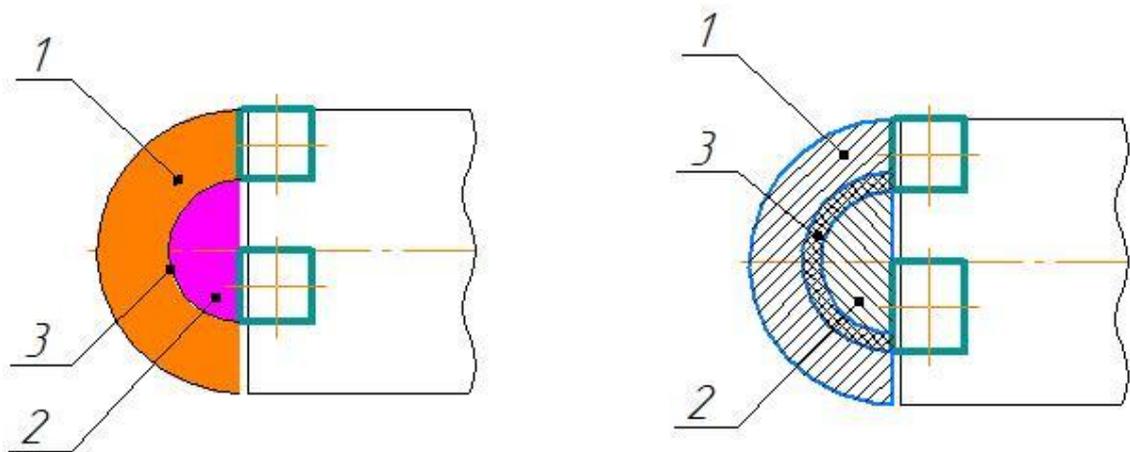
Принимая изменение размера периферийной пластины на  $0,1D$  получаем цифровые результаты:

$$P_{\text{внш}} \cdot l_1 = 0,06375D^2$$

$$P_{\text{внт}} \cdot l_2 = 0,06025D^2$$

Как мы видим из полученных нами данных значения моментов действующих на центральную и периферийную пластины практически равны, т.е. уравновешены, что требуется для обеспечения эффективной работы СРГ [92].

На рисунке 2.13 показана схема обработки отверстий СРГ с твёрдосплавными пластинами одинаковой ширины (а), разной ширины (б), где цифрами указаны: 1 – участок обработки твёрдосплавной наружной пластиной; 2 – участок обработки твёрдосплавной внутренней пластиной; 3 – участок обработки, перекрываемый наружной и внутренней твёрдосплавными пластинами.



а – одинаковой ширины; б – разной ширины

Рисунок 2.13 – Схема обработки отверстий СРГ с твёрдосплавными пластинами

Как видно из рисунка 2.13 при обработке отверстий СРГ с твёрдосплавными пластинами одинаковой ширины отсутствует зона обработки их перекрытия обоими резцами (участок 3), поэтому при обработке глухих отверстий возможно

на дне отверстия цапаины и риски. Что не характерно для сборной резцовой головки с твёрдосплавными пластинами разной ширины и обеспечивается высокая точность и качество обрабатываемого отверстия, в том числе глухих отверстия и его дна.

Кроме того, периферийной стороной наружной твёрдосплавной пластиной происходит калибрование поверхности обрабатываемого отверстия, тем самым уменьшается отклонение формы в поперечном и продольном направлениях повышая точность и качество обработки сборной резцовой головки.

### **2.3 Обоснование конструктивных параметров сборной резцовой головки**

Основными конструктивными параметрами СРГ являются (рисунок 2.7):

- диаметр обрабатываемого отверстия  $D_r$  (сборной резцовой головки);
- длина сборной резцовой головки  $L$ ;
- длина хвостовика  $l_x$ ;
- длина корпуса сборной резцовой головки  $l_k$ ;
- длина вылета твёрдосплавной пластины  $l_6$ ;
- ширина наружной твёрдосплавной пластины  $b_{n1}$ ;
- ширина внутренней твёрдосплавной пластины  $b_{n2}$ .
- толщина твёрдосплавной пластины  $S_n$ .

Диаметр сборной резцовой головки принимаем 36 мм исходя из [98], где диаметры отверстий не более 40 мм (рисунок 2.14), а также большинство диаметров отверстий трубной решетки в зависимости от производительности теплообменных аппаратов и аппаратов воздушного охлаждения (рисунок 2.15) [100].

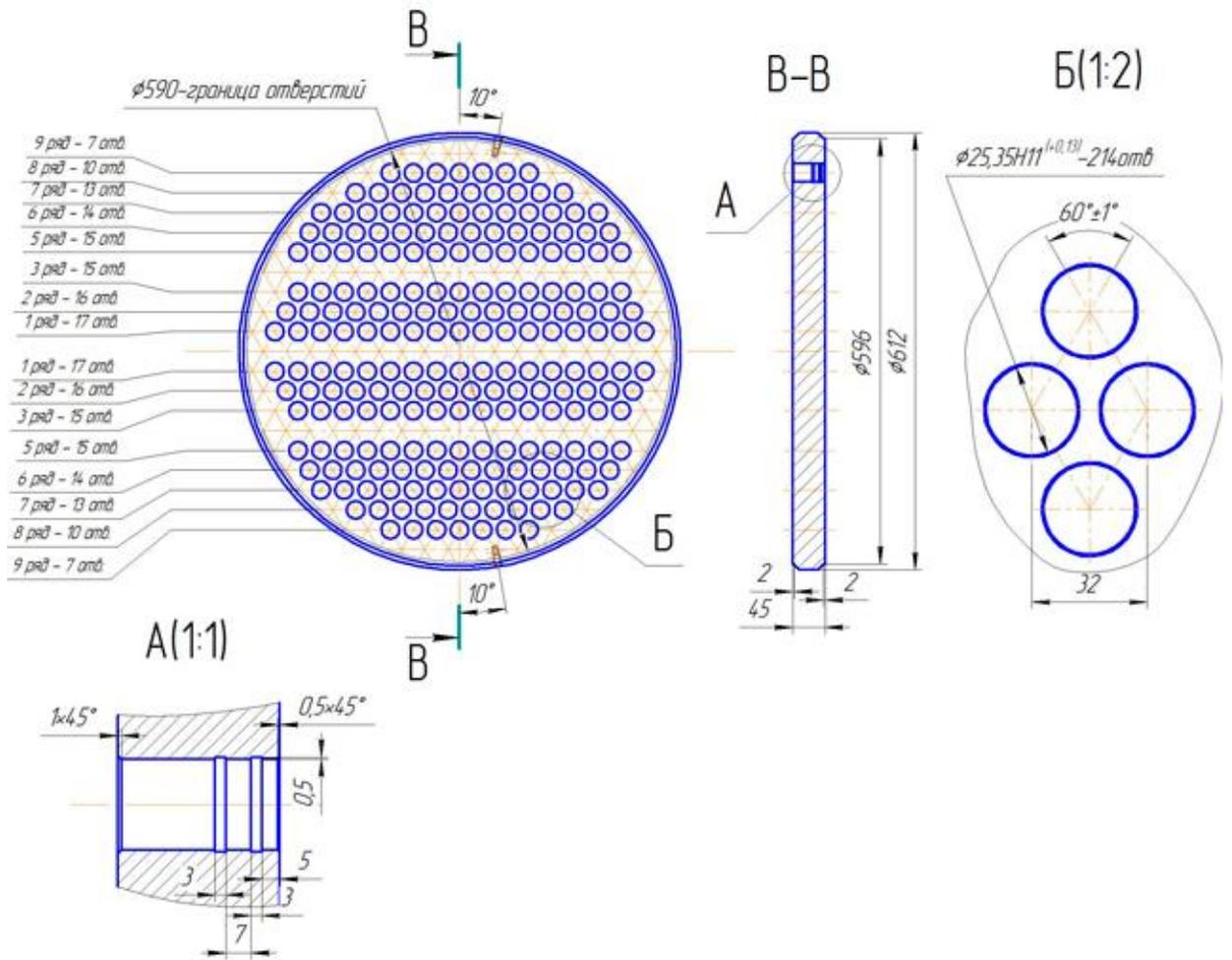


Рисунок 2.14 – Трубная решетка

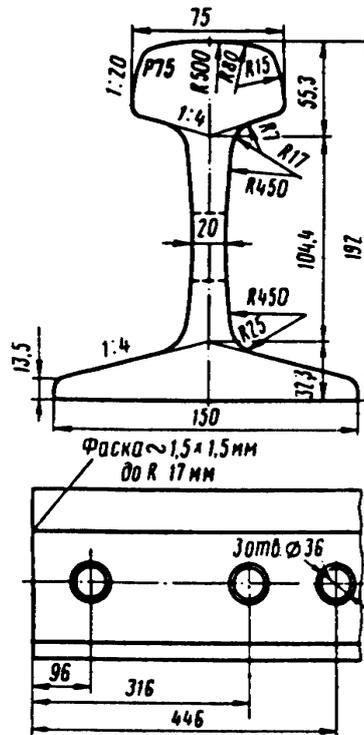


Рисунок 2.15 – Рельсы железнодорожные типа Р65

Согласно [99] основные характеристики рельса Р65:

- ширина подошвы рельса ( $B$ ): 150 (мм);
- ширина головки рельса ( $b$ ): 75 (мм);
- высота рельса ( $H$ ): 180 (мм);
- высота шейки ( $h$ ): 105 (мм);
- толщина шейки рельса ( $e$ ): 18 (мм);
- высота пера подошвы ( $m$ ): 11,25 (мм);
- мерная длина рельса ( $L$ ): от 12,5 (м) до 25,0 (м).

Рельса данного типа изготавливаются из высокоуглеродистой стали марок 90ХАФ, 76ХАФ, 76ХФ, 76ХСФ, 90АФ, 76АФ, 76Ф (таблицы 2.1 и 2.2) [101].

Таблица 2.1 – Химический состав

Химический элемент	90ХАФ	76ХАФ	76ХФ	76ХСФ	90АФ	76АФ	76Ф
С (Углерод)	0,83–0,95	0,71–0,82			0,83–0,95	0,71–0,82	
Si (Кремний)	0,25–0,60						
Mn (Марганец)	0,75–1,25						
P (Фосфор)	≤0,02						
S (Сера)	≤0,02						
Cr (Хром)	0,2–0,6	0,2 – 0,8			≤0,2		
Ni (Никель)	≤0,15	≤0,2			≤0,15		
V (Ванадий)	0,08–0,15	0,05–0,15	0,03–0,15	0,05–0,15	0,08–0,15	0,05–0,15	0,03–0,15
Ti (Титан)	≤0,01						
Al (Алюминий)	≤0,004						
Cu (Медь)	≤0,2						
N (Азот)	0,01–0,02		–		0,01–0,02		–
Fe (Железо)	основа марки стали						
O (Кислород)	≤0,002						

Таблица 2.2 – Механические свойства

Марка стали	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$d_5$ , %	$\psi$ , %
90ХАФ	≥670	≥990	≥19	≥35
76ХАФ	≥650	≥1000	≥10	≥15
76ХФ	≥650	≥1290	≥12	≥30
76ХСФ	≥650	≥1000	≥5	≥15
90АФ	≥900	≥1294	≥8	≥30
76АФ	≥850	≥1290	≥10	≥30
76Ф	≥850	≥1290	≥12	≥35

Примечание:  $\sigma_T$  – предел текучести;  $\sigma_B$  – предел прочности;  $d_5$  – относительное удлинение;  $\psi$  – относительное сужение.

По ГОСТ 25557-2006 принимаем длину хвостовика  $l_x=124$  мм (рисунок 2.16) для конуса Морзе 4 принятого диаметра СРГ  $D_T=36$  мм. Остальные размеры хвостовика приведены в таблице 2.3 [102].

Таблица 2.3 – Основные размеры конуса Морзе 4

$D$	$D_1$	$d_2$	$d_3$	$a$	$b$	$e$	$c$	$r$	$R$	$l_x$	$l_4$	$\alpha$
31,267	31,6	25,2	24,5	6,5	11,9	24,0	16,0	2,5	8,0	124	117,5	0,05194

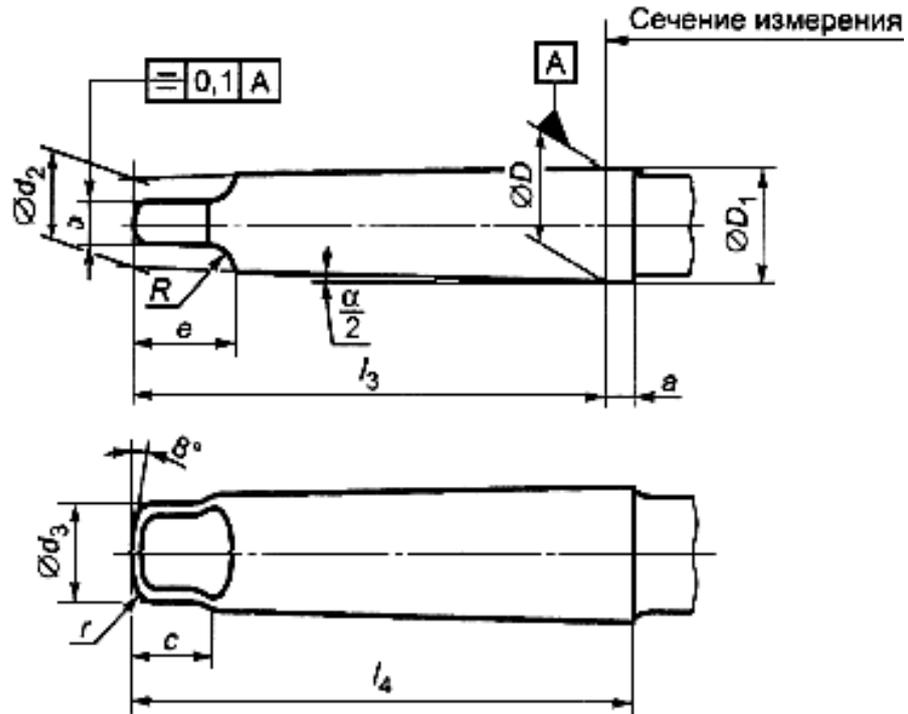


Рисунок 2.16 – Размеры хвостовика тип BE по ГОСТ 25557-2006

Длину корпуса СРГ  $l_k$  принимаем равную до  $1,5D_r$  диаметра СРГ,  $l_k = (0,8 \dots 1,5) D_r = 28 \dots 54$  мм из условия устойчивого базирования инструмента в процессе обработки отверстия.

Ширину наружной твёрдосплавной пластины принимаем, согласно методике, равную  $0,25D_r - x$ , а внутренней твёрдосплавной пластины  $0,25D_r + x$ , т.е. 6 и 14,30 мм, задний угол принимаем в соответствии с ГОСТ 19077-80 –  $\alpha = 11^\circ$  [100], (рисунки 2.17 и 2.18) и толщину, которой равна 2,38 мм и 5,2 мм соответственно (таблица 2.4).

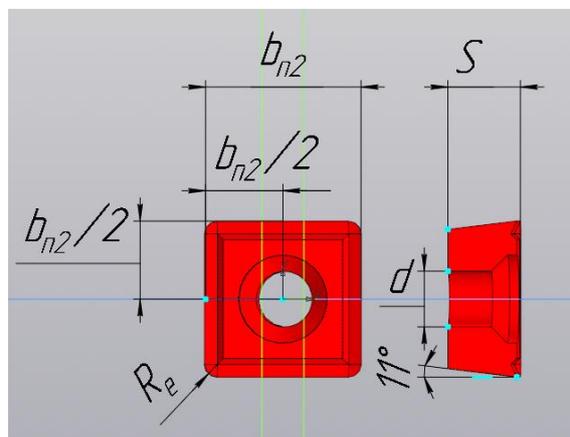


Рисунок 2.17 – Наружная твёрдосплавная пластина

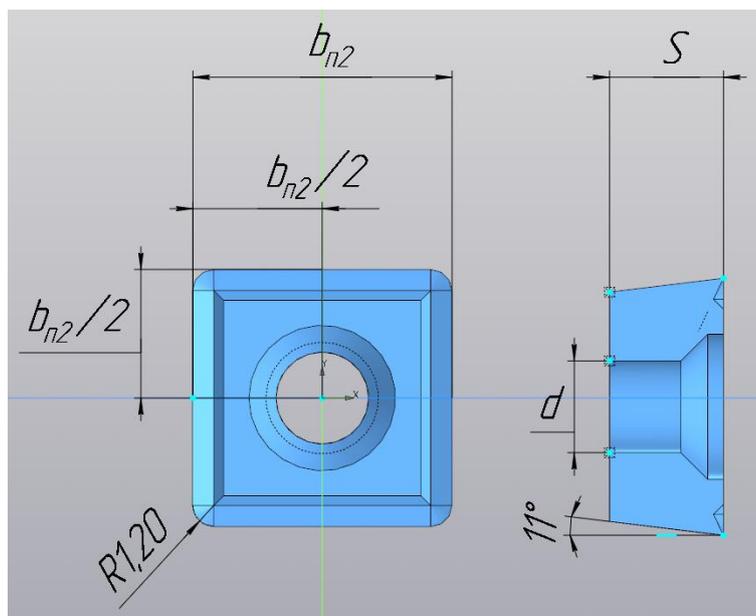


Рисунок 2.18 – Внутренняя твёрдосплавная пластина

Таблица 2.4 – Размеры наружной и внутренней твёрдосплавных пластин

Пластины	$b_{n1}$	$b_{n2}$	$S$	$d$	$Re$
Наружняя	6,00	-	2,38	2,80	0,40
Внутренняя		14,30	5,20	5,5	1,20

Длину вылета твёрдосплавной пластины принимаем исходя из условия не менее  $\text{tg}\alpha = l_6 / s$ , но не более половины разницы  $b_{n1} - d$ . Учитывая действующие силы, крутящие и изгибающие моменты, а также условия эксплуатации и прочности твёрдосплавной пластины принимаем минимальное значение  $l_6 = \text{tg}\alpha \cdot s = 0,618$  мм.

#### 2.4 Моделирование процесса обработки отверстий

Конечно-элементная модель процесса резания основана на математической теории пластичности. С учетом допущения об изотропной несжимаемой среде, деформируемый материал описывается поведением поверхность текучести и представляется уравнением (2.12) [66].

$$f_s = (\sigma^{ij}) = 0 \quad (2.12)$$

Данное выражение (2.12) позволяет получить опытным путем кривую течения, которую описывают уравнением (2.13) принимая условия пластичности Мизеса [66].

$$\bar{\sigma} = \sigma_s = \sigma_s(q, \bar{\epsilon}^p, T), \quad (2.13)$$

где  $\bar{\sigma}$  – интенсивность напряжения;  
 $\sigma_s$  – текущая граница текучести;

$\sigma^{ij}$  – компоненты тензора напряжения;  
 $q$  – параметр упрочнения;  
 $\bar{\varepsilon}^p$  – интенсивность скоростей пластических деформаций;  
 $T$  – температура [66].

Развитие определяющих уравнений, применяемых при моделировании процесса резания приведен в таблице 2.5 [66].

Таблица 2.5 – Развитие определяющих уравнений

Автор	Уравнение	
Фон Мизес	$\sigma_S = \sigma_T$	
И.Ньютон	$\sigma_S = \mu \dot{\varepsilon}^p$	
P.Ludwik, 1909	$\sigma_S = \sigma_T + A \bar{\varepsilon}^p$	
P.Perzyna, 1966	$\sigma_S = \sigma_T \left(1 + \frac{\dot{\varepsilon}^p}{\varepsilon_0^p}\right)^n$	
C.M.Sellars, W.J.Tegart, 1972	$\frac{\dot{\varepsilon}^p}{\varepsilon_0^p} = A \left(\sinh(a \cdot \sigma_{мерм})\right)^m e^{-\frac{Q}{RT^*}}$	
J.Litonski, 1977	$\sigma_S = \sigma_T (\bar{\varepsilon}_0^p + \bar{\varepsilon}^p) \cdot (1 + B \frac{\dot{\varepsilon}^p}{\varepsilon_0^p})^m (1 + C\theta)$	
T.Vinh и др., 1979	$\sigma_S = \sigma_T (\bar{\varepsilon}_0^p)^n \left(\frac{\dot{\varepsilon}^p}{\varepsilon_0^p}\right)^m e^{-mT^*}$	
J.R. Johnson, W.H. Cook	Исходная форма, 1983	$\sigma_S = (A + B(\bar{\varepsilon}^p)^n) \cdot \left(1 + C \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}^p}{\varepsilon_0^p}\right)\right) (1 - (T^*)^m)$
	T. Altan, 2000	$\sigma_S = (A + B(\bar{\varepsilon}^p)^n) \left(1 + C \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}^p}{\varepsilon_0^p}\right)\right) \cdot (1 - (T^*)^m + a \cdot e^{-m_0(T^* - T_H^*)^2})$
	К. С. Ее, 2004	$\sigma_S = (A + B(\bar{\varepsilon}^p)^n) \cdot \left(1 + C \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}^p}{\varepsilon_0^p} + a e^{-m_1 \frac{\dot{\varepsilon}^p}{\varepsilon_0^p}}\right)\right) (1 - (T^*)^m)$

Продолжение таблицы 2.5

<p>E. Usui, 1984 К. Maekawa и др., 1991</p>	$\sigma_S = \sigma_T \left[ \int_{T, \bar{\varepsilon} \equiv (\dot{\varepsilon})} e^{-\frac{kT}{N}} \left( \frac{\dot{\varepsilon}^{p^*}}{\bar{\varepsilon}} \right)^{-\frac{m}{N}} d\bar{\varepsilon} \right]^N \cdot \left( \frac{\dot{\varepsilon}^{p^*}}{\bar{\varepsilon}} \right)^{m_1} \left( \sum_{i=1}^n A_i e^{kT} + B e^{k(T-T_0)^2} \right)$
<p>R. J. Clifton и др., 1985</p>	$\sigma_S = \sigma_T \bar{\varepsilon}^n \left( \frac{\dot{\varepsilon}^{p^*}}{\bar{\varepsilon}} \right)^m T^{-m_1}$
<p>F. J. Zerilli, R.W. Armstrong, 1987</p>	$\sigma_S = \sigma_T + A(\bar{\varepsilon}^p)^n + B_0 e^{(-\beta_0 + \beta_1 \ln(\frac{\dot{\varepsilon}^{p^*}}{\bar{\varepsilon}}))T}$
<p>P. L. B. Oxley, 1989</p>	$\sigma_S = \sigma_T(T_m) \left( \frac{\dot{\varepsilon}^{p^*}}{\bar{\varepsilon}} \right)^{n(T_m)},$ $T_m = \left( 1 - A \ln \left( \frac{\dot{\varepsilon}^{p^*}}{\bar{\varepsilon}} \right) \right) T$
<p>P. S. Follansbee и U. F. Kocks, 1988</p>	$\sigma_S = \sigma_T + A(\bar{\varepsilon}^p)^n + \sigma_0^* \cdot \left( 1 - \left( \frac{-T \cdot k_B \ln(\frac{\dot{\varepsilon}^{p^*}}{\bar{\varepsilon}})}{\Delta G_0} \right)^{m_1} \right)^{m_1},$ <p><math>k_B</math> = постоянная Больцмана</p>
<p>Hensel, T. Spittel и др., 1990</p>	$\sigma_{xx} = \sigma_T (\bar{\varepsilon}^p)^{n_1} e^{n_2 \bar{\varepsilon}^p} \left( \frac{\dot{\varepsilon}^{p^*}}{\bar{\varepsilon}} \right)^m e^{-mT^*}$
<p>T.H.S. Childs, 1994</p>	$\sigma_S = \sigma_T (\bar{\varepsilon}^p)^{n(T)} \left( \frac{\dot{\varepsilon}^{p^*}}{\bar{\varepsilon}} \right)^{m(T)} \sum_{i=1}^n c_i T^i$
<p>T. D. Marusich, 1995</p>	$\sigma_S = \sigma_T (A + \bar{\varepsilon}^p)^n \left( 1 + B \frac{\dot{\varepsilon}^{p^*}}{\bar{\varepsilon}} \right)^m \sum_{i=1}^5 c_i T^i$
<p>E. El-Magd и С. Trepman, 2000</p>	$\sigma_S = \left( \sigma_T (A + \bar{\varepsilon}^p)^n + \eta \frac{\dot{\varepsilon}^{p^*}}{\bar{\varepsilon}} \right) e^{-mT^*}$
<p>E. El-Magd, 2001</p>	$\sigma_S = \sigma_T (\bar{\varepsilon}^p)^{n(T)} \cdot \left( 1 + A \ln \left( \frac{\dot{\varepsilon}^{p^*}}{\bar{\varepsilon}} \right) \right) e^{-\left(\frac{T}{T_2}\right)^m}$
<p>E. El-Magd, 2003</p>	$\sigma_S = \frac{\sigma_0}{\left( 1 + \left( \frac{\sigma_0}{\sigma^*} \right)^v e^{\frac{T}{T^*}} \frac{\dot{\varepsilon}^*}{\bar{\varepsilon}} \varepsilon \right)^{\frac{1}{v}}}$ $\sigma_0 = \left( (\sigma_T + A(\bar{\varepsilon}^p)^n) \left( \frac{\dot{\varepsilon}^{p^*}}{\bar{\varepsilon}} \right)^m + \eta \dot{\varepsilon} \right) \cdot \left( e^{-\frac{T}{T_1}} + B e^{-\left(\frac{T}{T_2}\right)^{m_1}} \right)$

В общем виде моделирование процесса резания осуществляется в последовательности представленной на рисунке 2.18.



Рисунок 2.18 – Схема моделирования процесса резания [104]

Моделирование процесса резания возможно осуществить в САЕ программах, например – ANSYS, LS-DYNA, NASTRAN или Deform 3D. Однако на данном этапе исследования принимаем условия для проведения статического анализа.

Модуль конечно-элементного анализа APM Multiphysics, или входящий в состав CAD/CAE Системы Компас 3D модуль FEM, позволяет решать стоящие перед исследователем задачи [105–111].

Учитывая все предпосылки выполняем расчёт сборной резцовой головки в CAD/CAE системе APM Multiphysics. Исходные данные для проведения моделирования приведены в таблице 2.6 [97].

Таблица 2.6 – данные для расчета СРГ

Вариант СРГ	Материал корпуса головки	Материал пластин	Диаметр отверстия, мм	S, подача мм/об	n, частота вращения	Нагрузки, Н
1	Сталь 45	T30K4	36	0,25	800	$P_x = 814;$ $P_y = 1222;$ $P_z = 2036;$
2	Сталь 45	T30K4	36	0,25	800	$P_x = 814;$ $P_y = 1222;$ $P_z = 2036;$
3	Сталь 45	T30K4	36	0,25	800	$P_x = 814;$ $P_y = 1222;$ $P_z = 2036;$

Процесс подготовки к прочностному расчету состоит из нескольких этапов: создание 3D модели; присвоение составным деталям параметров материала; моделирование действующих нагрузок; задание опор (закрепление); определение совпадающих поверхностей деталей. Система автоматически моделирует КЭ сеть и присваивает параметры (APM Studio).

Далее в APM Multiphysics выполняется статический расчет для трех различных вариантов конструкций резовых головок:

- твердосплавные пластины одинаковой ширины (вариант 1);
- твердосплавные пластины разной ширины с установкой пластины меньшей ширины в центре (вариант 2);
- твердосплавные пластины разной ширины с установкой пластины меньшей ширины на периферии (вариант 3).

Карты результатов расчета приведены:

- вариант 1 – на рисунках 2.18–2.24;
- вариант 2 – на рисунках 2.25–2.31;
- вариант 3 – на рисунках 2.32–2.38.

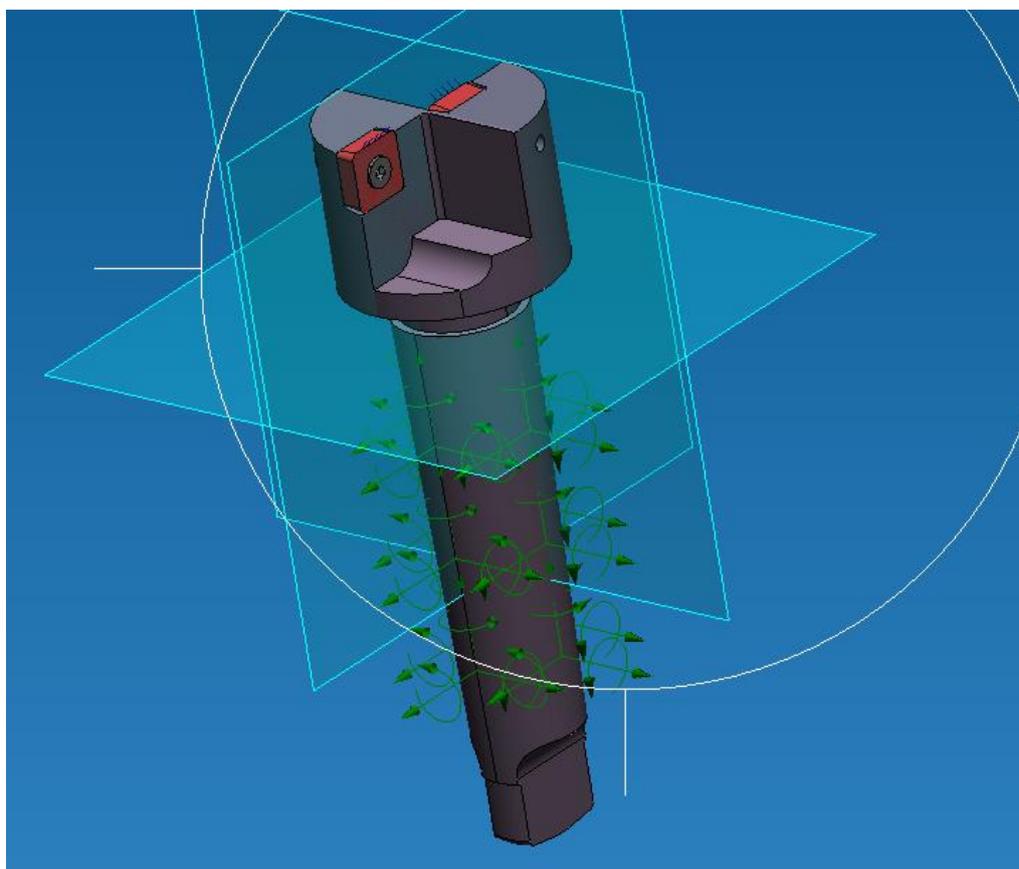


Рисунок 2.18 – СРГ с твердосплавными пластинами одинаковой ширины

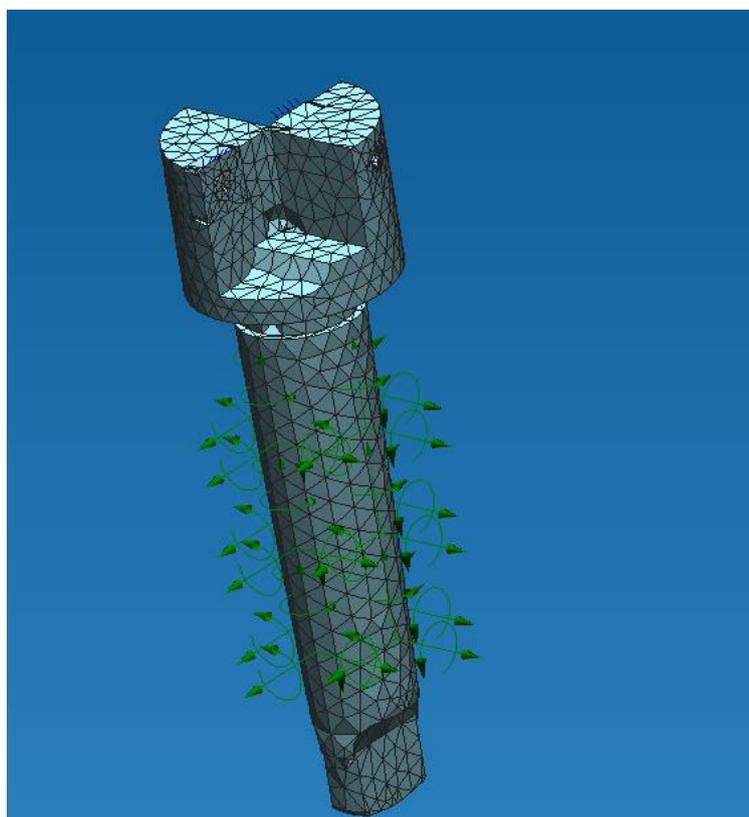


Рисунок 2.19 – Конечно-элементная модель СРГ с твердосплавными пластинами одинаковой ширины в APM Studio

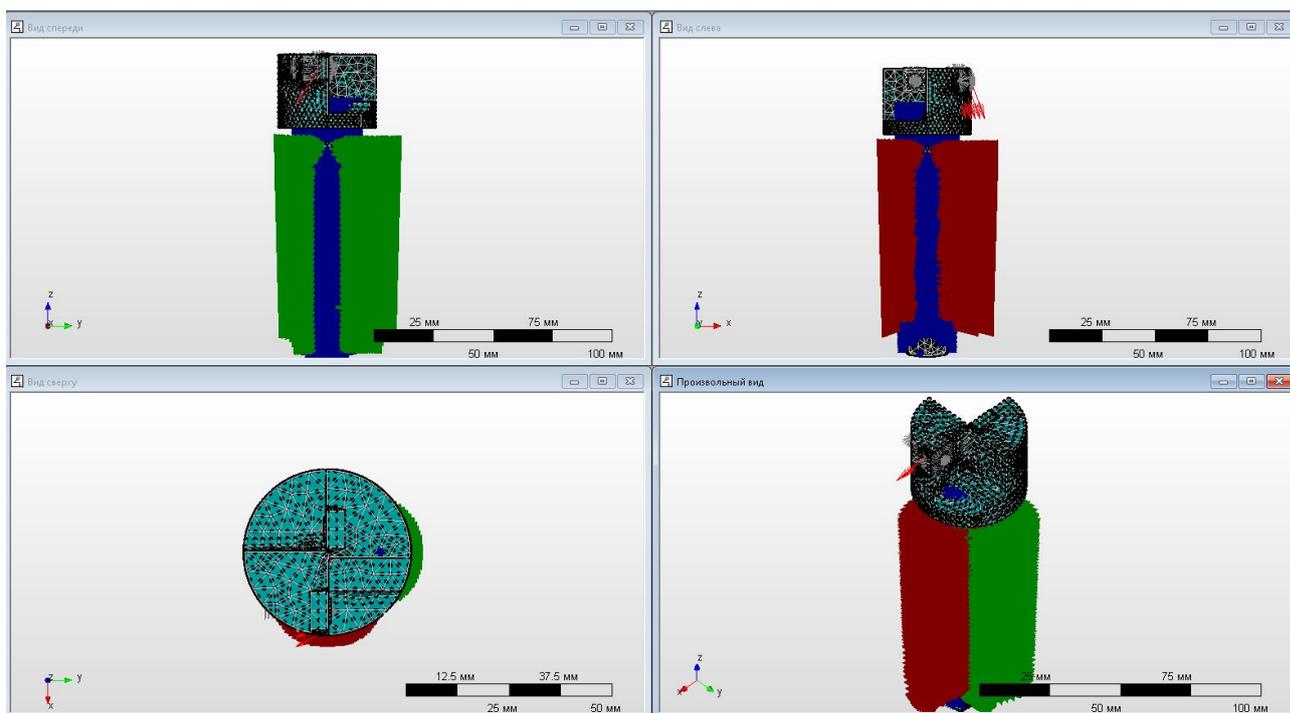


Рисунок 2.20 – Конечно-элементная модель СРГ с твердосплавными пластинами одинаковой ширины в APM Multiphysics

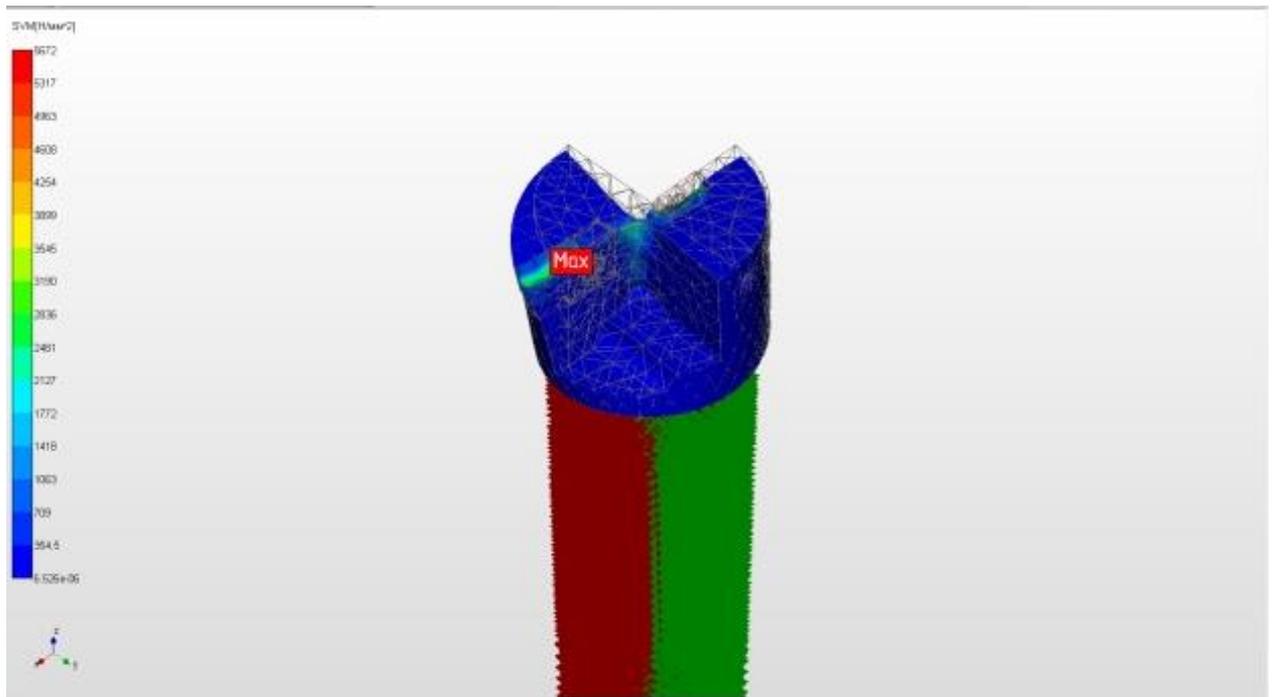


Рисунок 2.21 – Эквивалентное напряжение по Мизесу расчета СРГ с твердосплавными пластинами одинаковой ширины

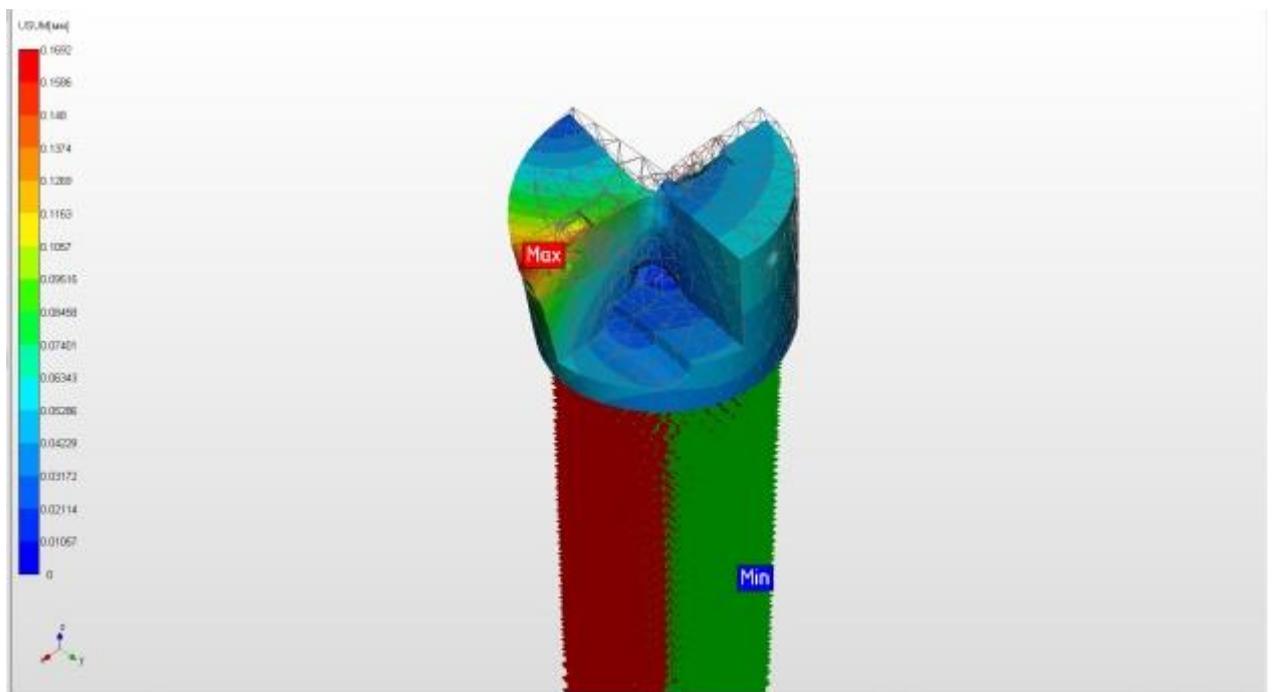


Рисунок 2.22 – Суммарное линейное перемещение расчета СРГ с твердосплавными пластинами одинаковой ширины

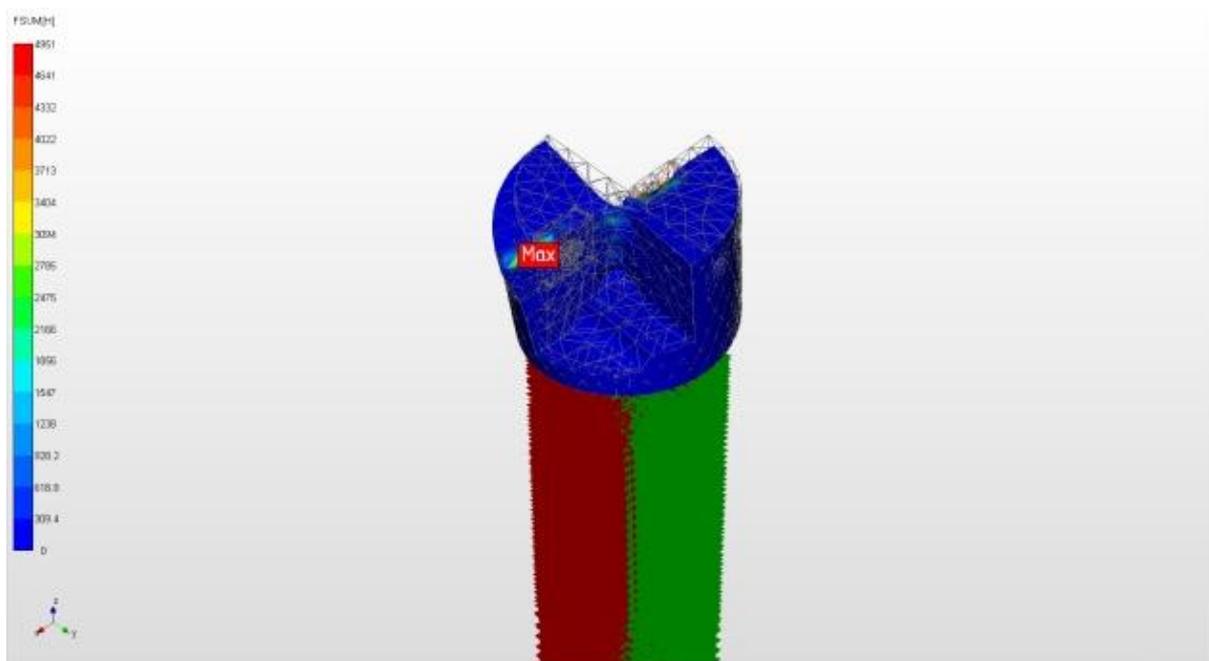


Рисунок 2.23 – Значение суммарных сил расчета СРГ с твердосплавными пластинами одинаковой ширины

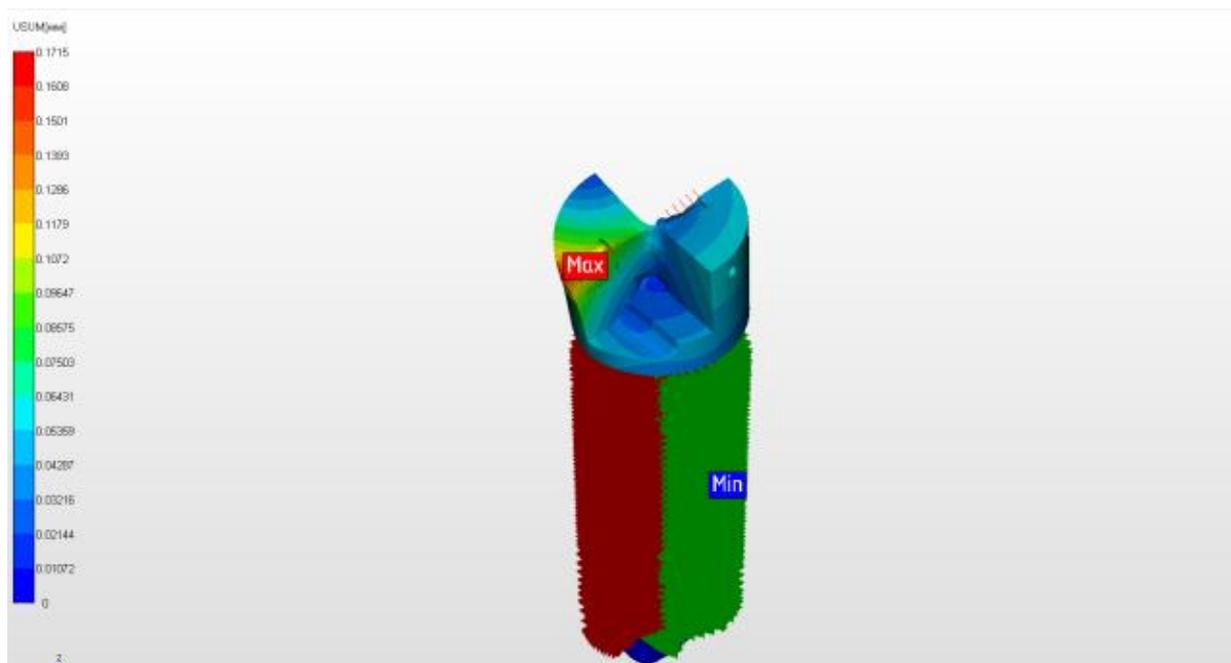


Рисунок 2.24 – Карты результатов линейных перемещений с учетом собственных колебаний СРГ с твердосплавными пластинами одинаковой ширины

Результаты выполненного расчета конструкции СРГ вариант 1, показывают, что периферийная пластина нагружена больше чем центральная и вследствие чего происходит ее перемещение в плоскости резания и увеличивается «разбивка» обрабатываемого отверстия. Тем самым уменьшается точность и

качество обработки. Максимальные значения перемещения режущей части СРГ составляют: периферийной – 0,169 мм и центральной – 0,052 мм.

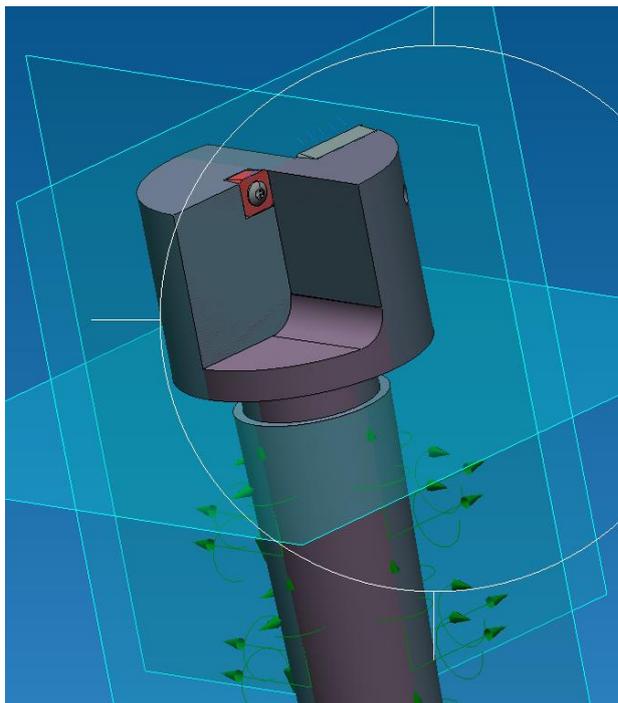


Рисунок 2.25 – СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины в центре

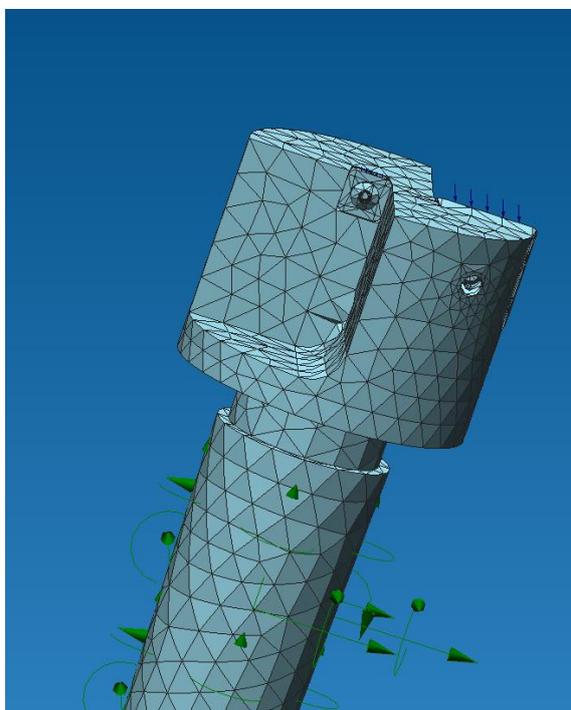


Рисунок 2.26 – Конечно-элементная модель СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины в центре в APM Studio

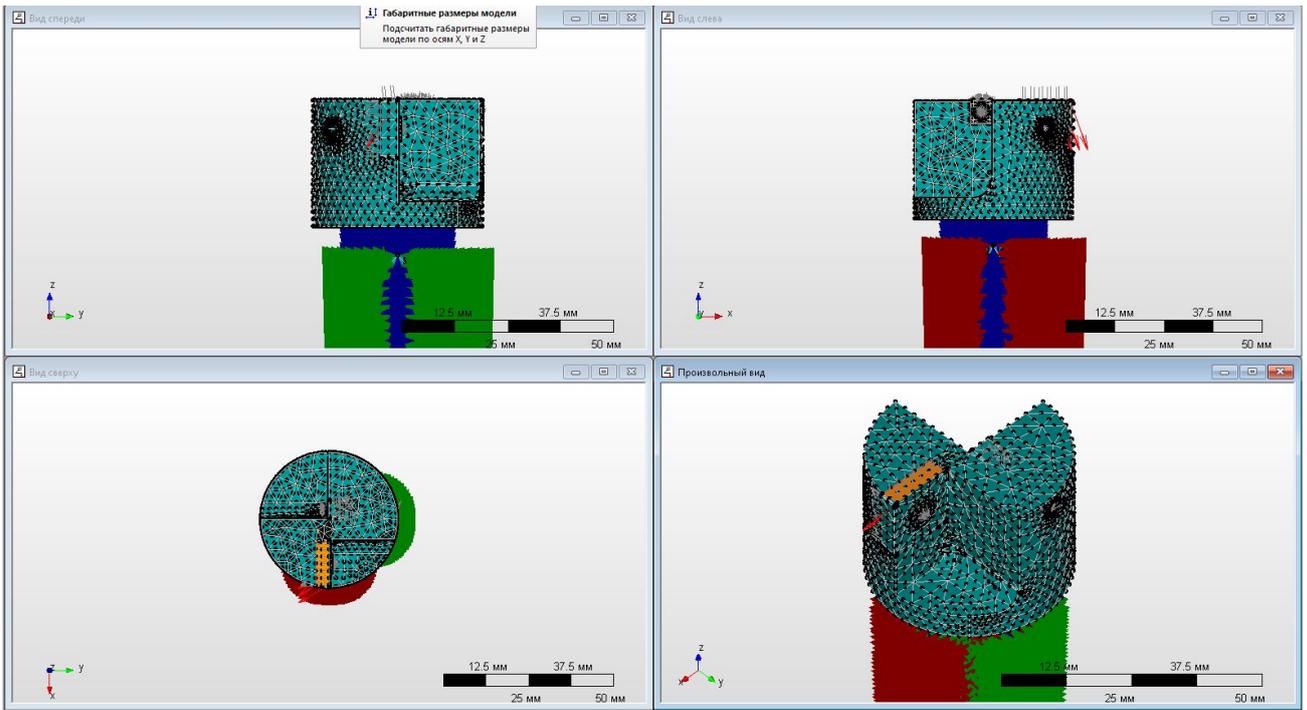


Рисунок 2.27 – Конечно-элементная модель СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины в центре в APM Multiphysics

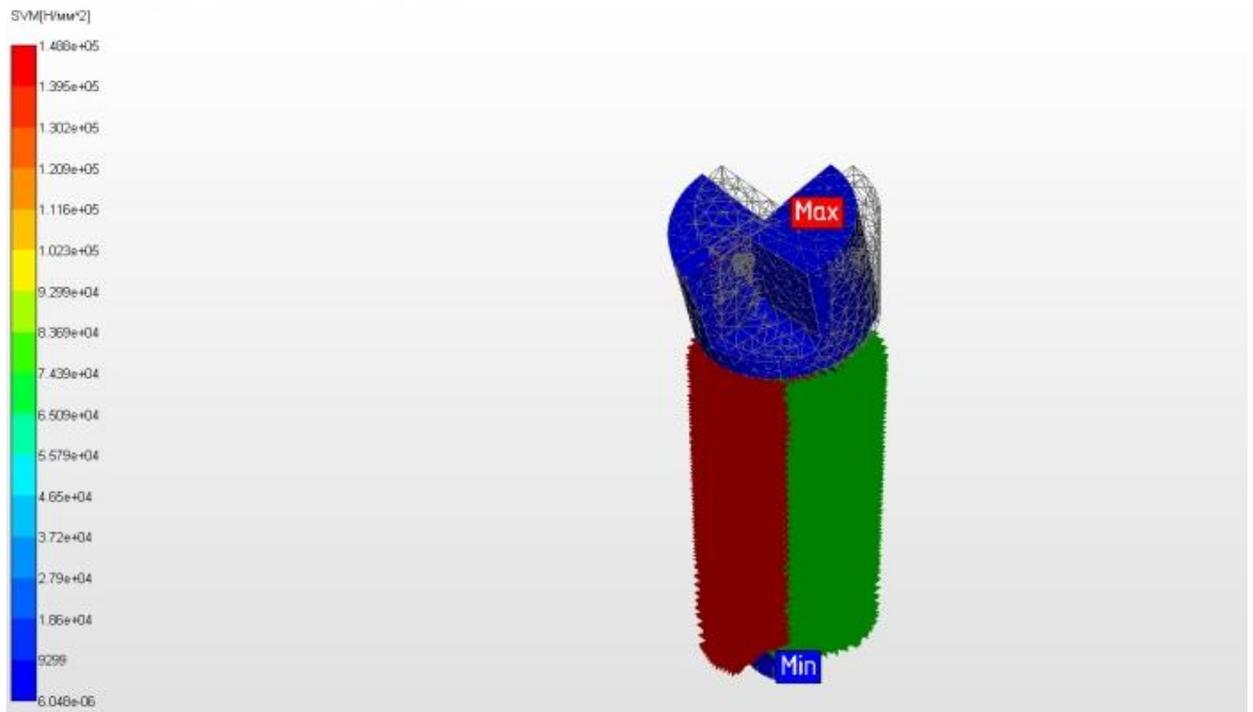


Рисунок 2.28 – Эквивалентное напряжение по Мизесу расчета СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины в центре

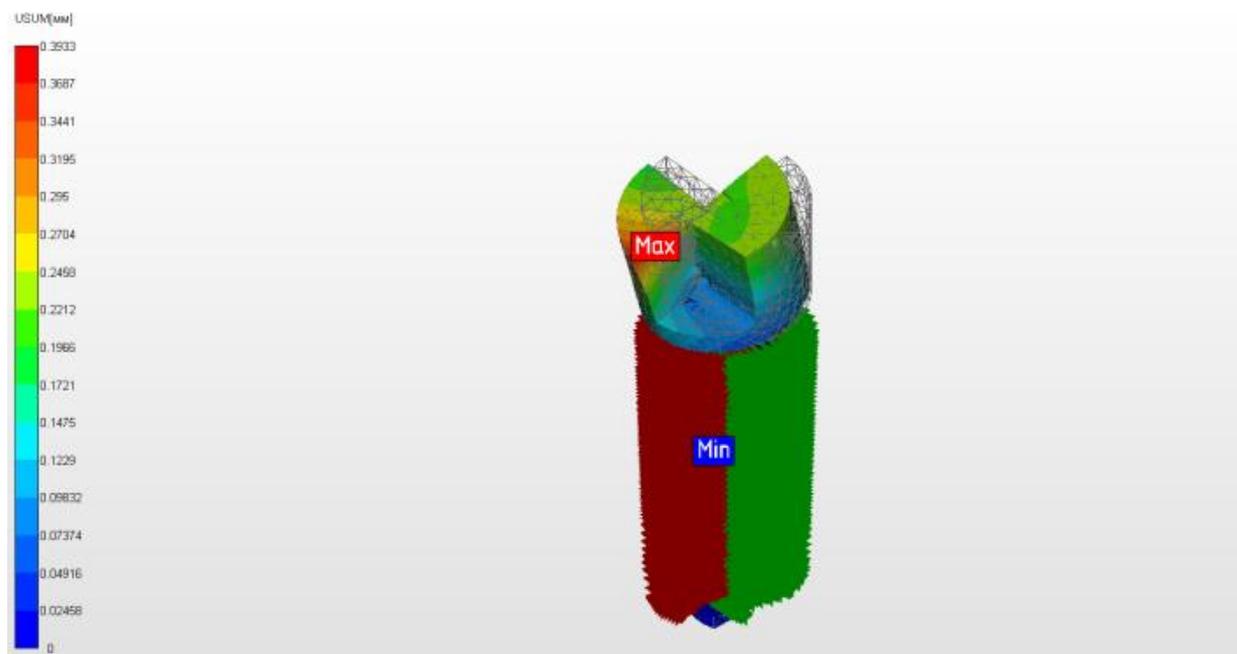


Рисунок 2.29 – Суммарное линейное перемещение расчета СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины в центре

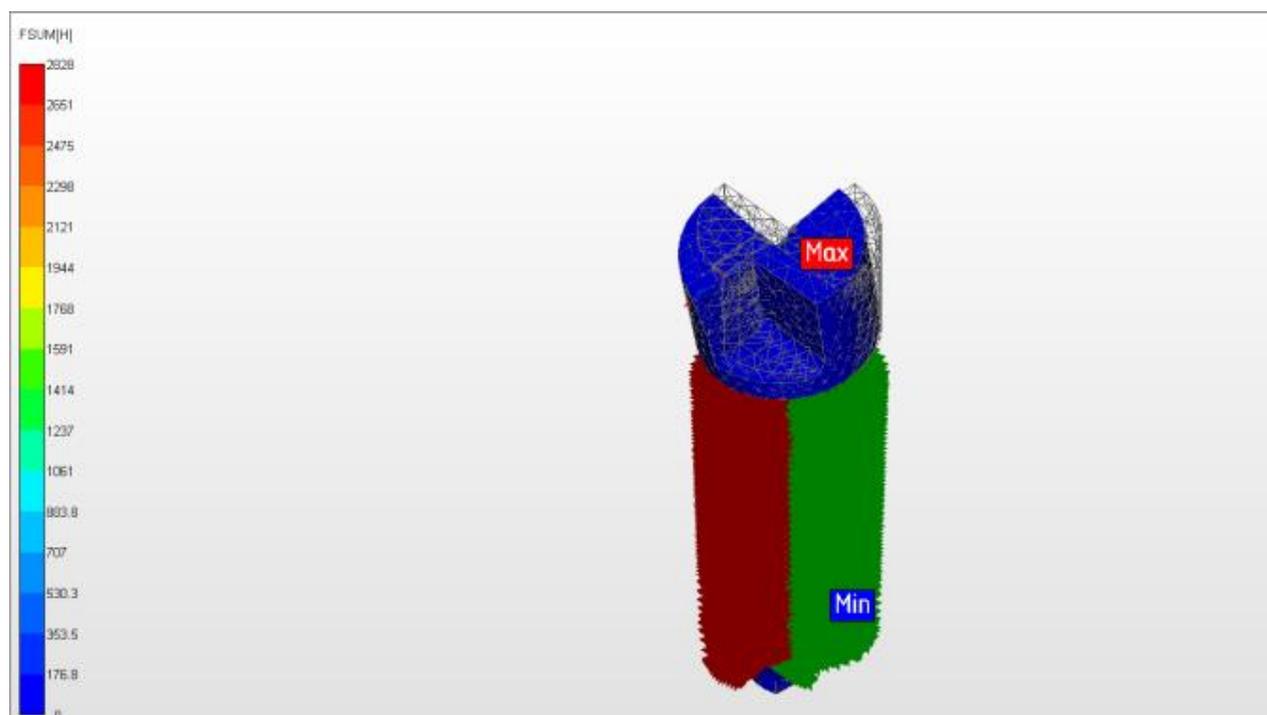


Рисунок 2.30 – Значение суммарных сил расчета СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины в центре

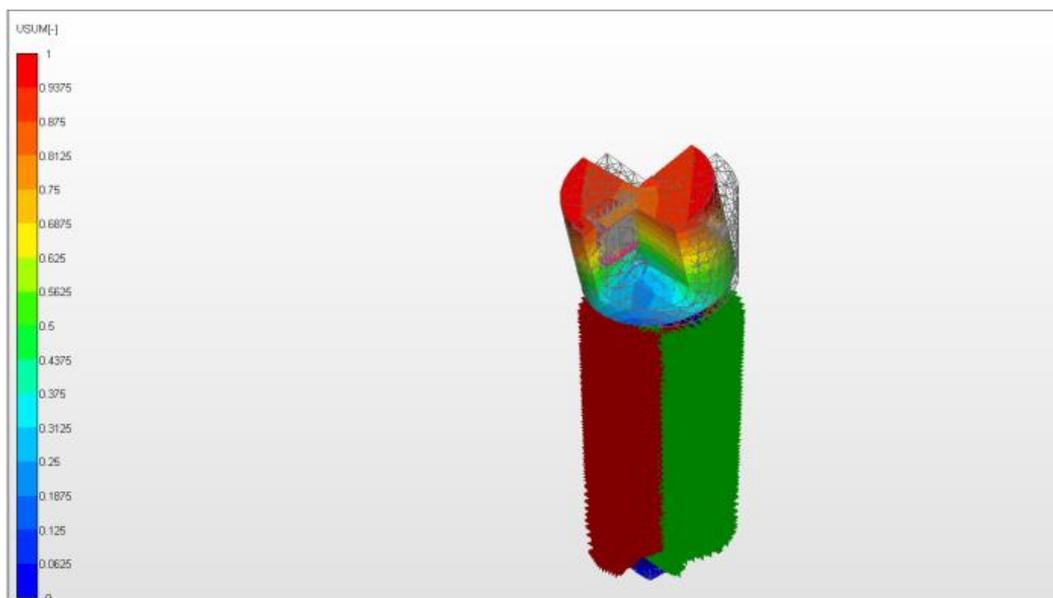


Рисунок 2.31 – Карты результатов линейных перемещений с учетом собственных колебаний СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины в центре

Результаты выполненного расчета конструкции СРГ вариант 2, показывают, что периферийная пластина большей ширины нагружена больше чем центральная и вследствие чего происходит ее перемещение в плоскости резания и увеличивается «разбивка» обрабатываемого отверстия. Тем самым уменьшается точность и качество обработки. Максимальные значения перемещения режущей части СРГ составляют: периферийной – 0,393 мм и центральной – 0,221 мм. В сравнении с вариантом 1 перемещение режущей части периферийной пластины увеличивается в 2,3 раза, а центральной в 4,3 раза.

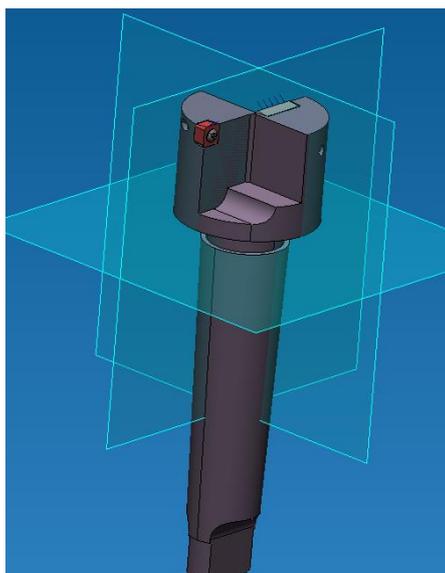


Рисунок 2.32 – СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины на периферии

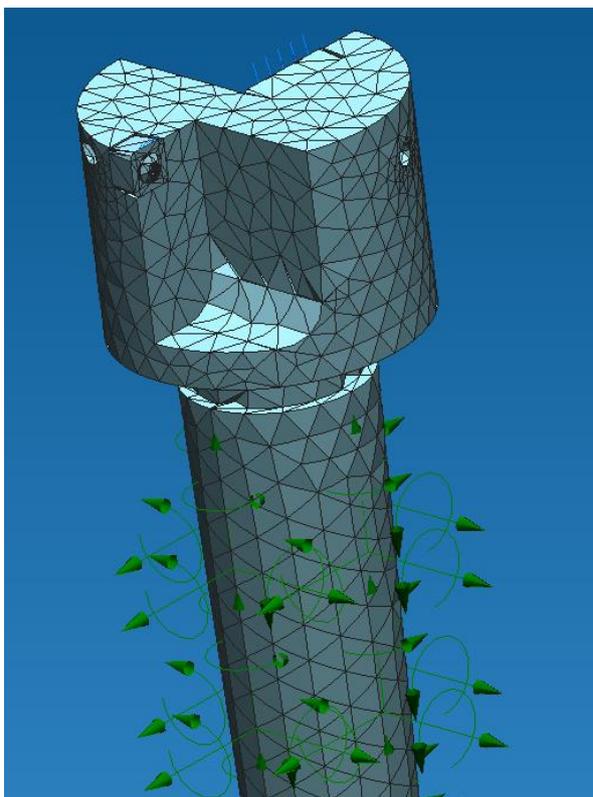


Рисунок 2.33 – Конечно-элементная модель СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины на периферии

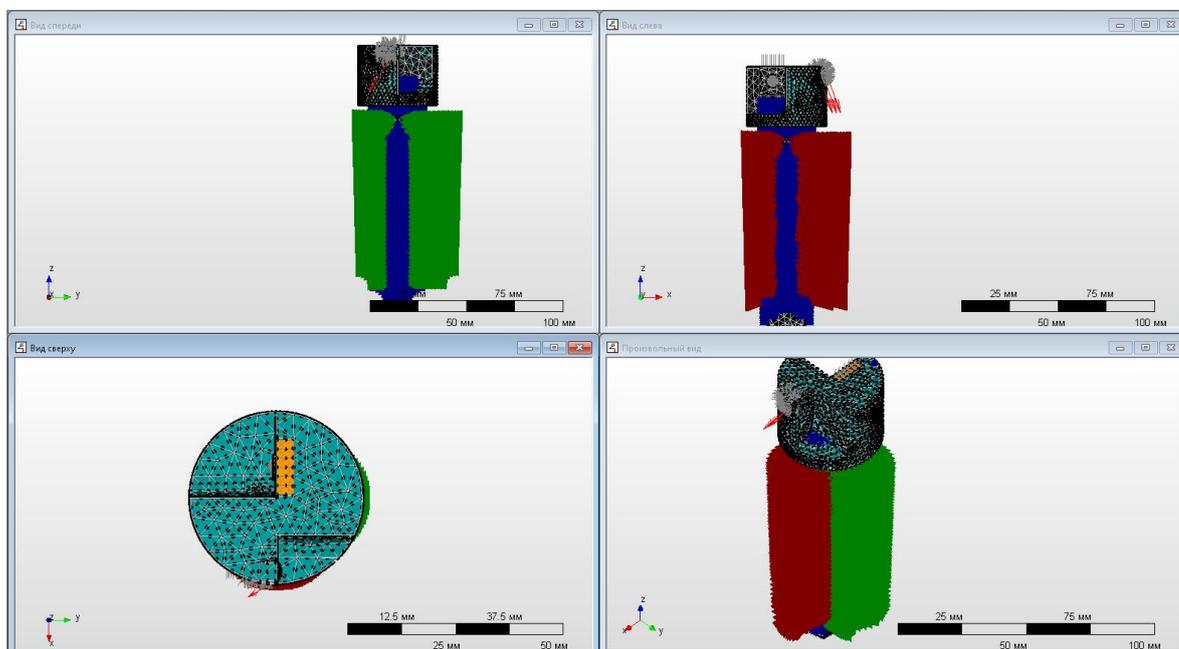


Рисунок 2.34 – Конечно-элементная модель СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины на периферии

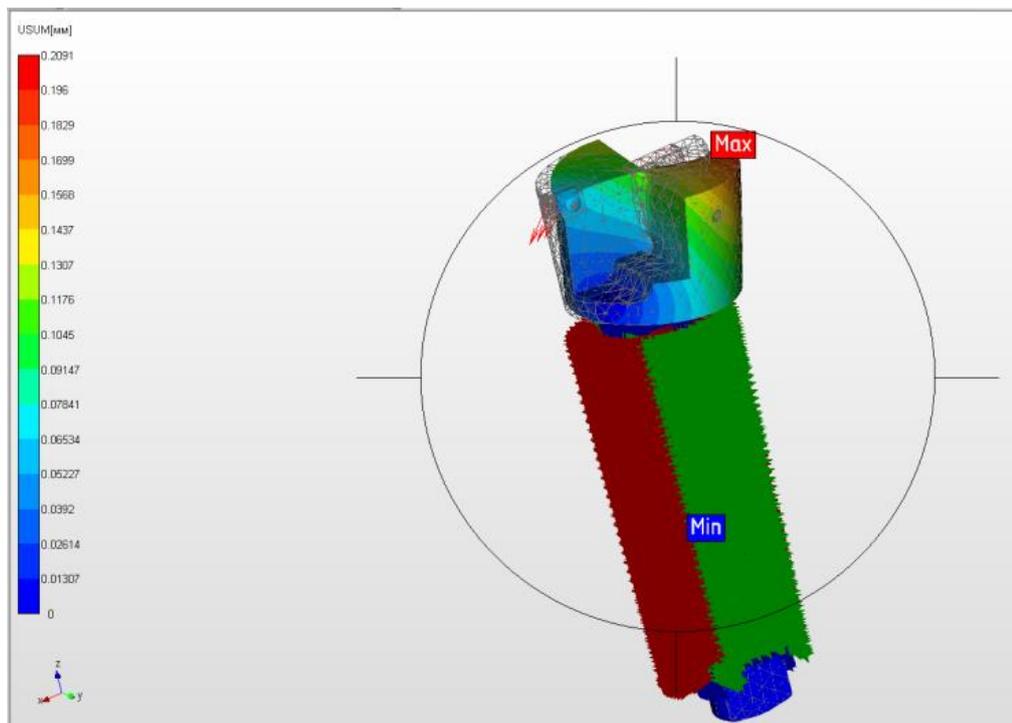


Рисунок 2.35 – Эквивалентное напряжение по Мизесу расчета СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины на периферии

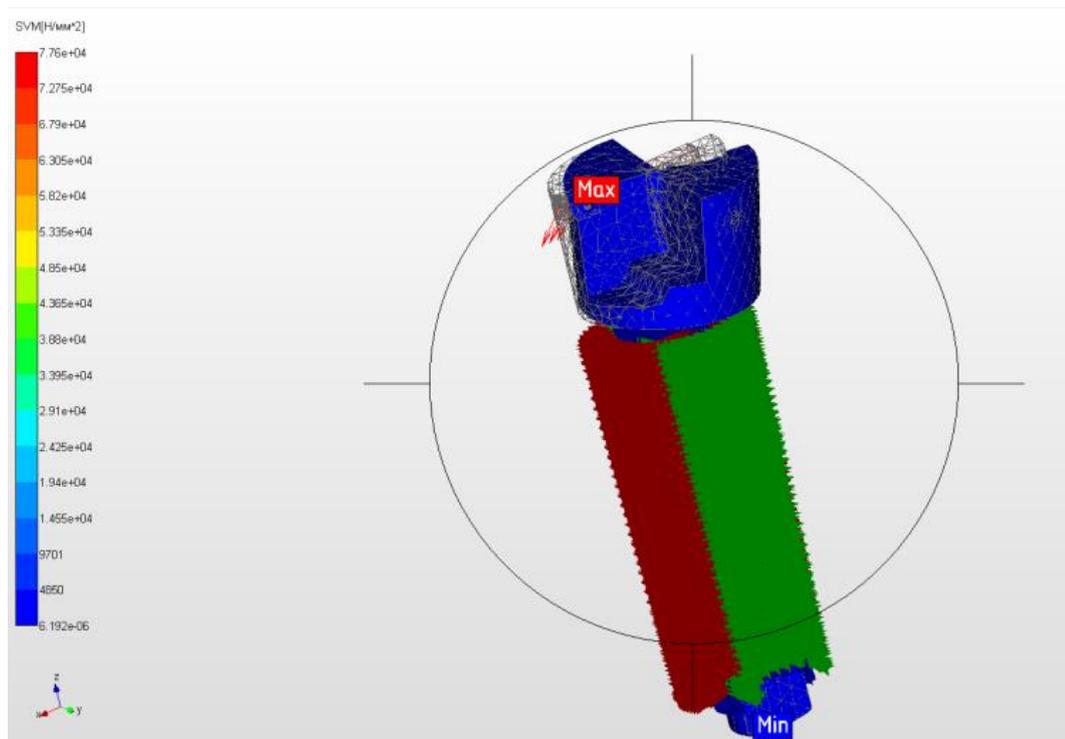


Рисунок 2.36 – Суммарное линейное перемещение расчета СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины на периферии

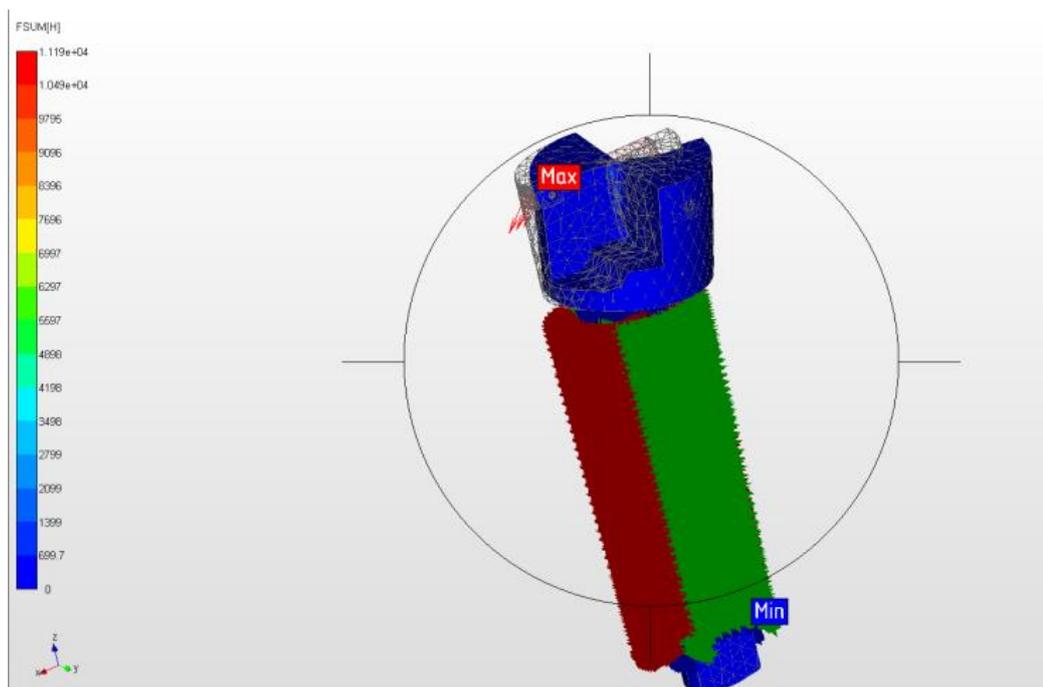


Рисунок 2.37 – Значение суммарных сил расчета СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины на периферии

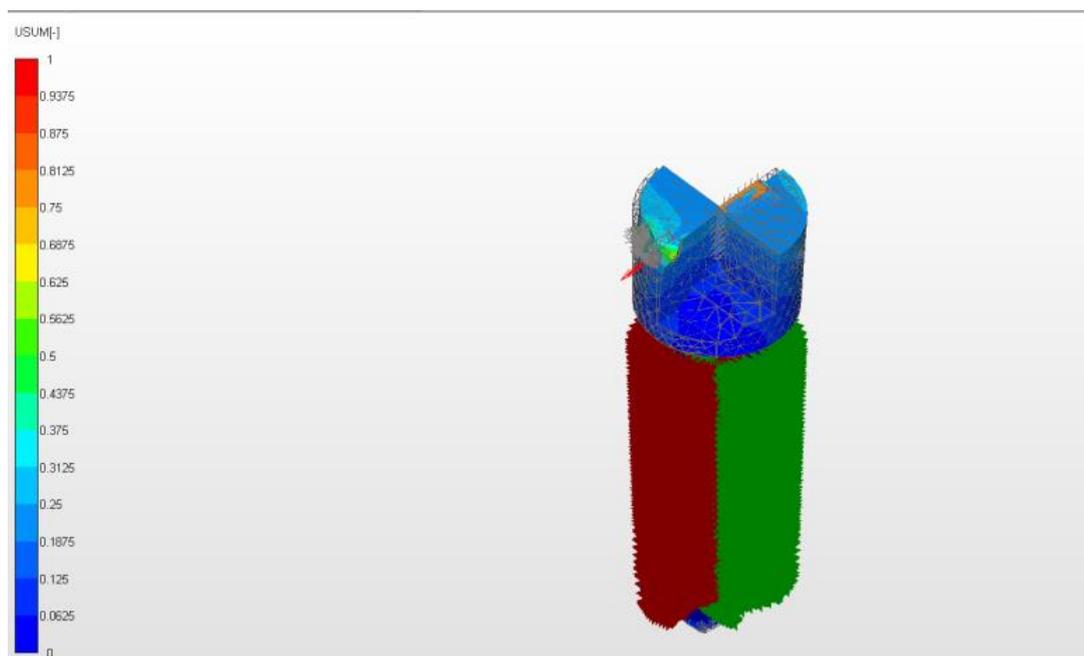


Рисунок 2.38 – Карты результатов линейных перемещений с учетом собственных колебаний расчета СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины на периферии

Результаты выполненного расчета конструкции СРГ вариант 3, показывают, что периферийная пластина меньшей ширины нагружена меньше чем центральная и вследствие чего ее перемещение в плоскости резания стремится к

минимальному и тем самым уменьшается «разбивка» обрабатываемого отверстия, а, следовательно, повышается точность и качество обработки. Максимальные значения перемещения режущей части СРГ составляют: периферийной – 0,052 мм и центральной – 0,209 мм. В сравнении с вариантом 2 перемещение режущей части периферийной пластины уменьшается в 7,6 раза, а центральной в 1,1 раза. А в сравнении с первым вариантом уменьшается в 3,3 раза, центральной пластины увеличивается в 4 раза.

Анализ результатов прочностного расчёта показал, что применение СРГ с твёрдосплавными пластинами разной ширины причем меньшей ширины на периферии даёт меньшие упругие отжатия, чем с вариантами 1 и 2, что повышает точность и качество обрабатываемых отверстий деталей машин.

Применение СРГ с твёрдосплавными пластинами разной ширины даёт меньшее перемещение по сравнению с одинаковыми пластинами, а, следовательно, меньше отклонение в продольном и поперечном сечениях в 1,2 раза, т.е. повышается точность и качество обрабатываемых отверстий. Помимо этого, уменьшается нагрузка на твёрдосплавные пластины в 1,2 раза и повышается прочности в 1,1 раза, что увеличивает стойкость инструмента и его ресурс.

Компьютерным моделированием и на основании распределения действующих сил резания на твёрдосплавные пластинки установлено их уравнивание и приводит к равенству моментов, равномерному вращению в процессе обработки, уменьшению колебания и вибраций, а, следовательно, уменьшение погрешности и повышение точности и шероховатости обработки отверстий.

При проектировании установлены конструктивные и геометрические параметры, разработаны рабочие чертежи и изготовлены опытные образцы – СРГ с твёрдосплавными пластинами одинаковой и разной ширины (рисунки 2.39 и 2.40).



Рисунок 2.39 – Опытные образцы СРГ с твёрдосплавными пластинами одинаковой ширины



Рисунок 2.40 – Опытные образцы СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины

СРГ с ассиметрично расположенными твёрдосплавными пластинами разной ширины повышает стойкость, эффективность и качество обработки отверстий при условии равновесия крутящих торцовых моментов и условий резания, присущих точению, значительно более лёгких, чем при сверлении в условиях неблагоприятной геометрии, скобления и выдавливания поперечной кромкой материала вместо резания, повышенных температур, сил резания и повышенного износа инструмента.

Применение системы APM Multiphysics при прочностном расчёте металлорежущих инструментов позволяет повысить производительность проектирования и исследовать его многовариантность [101].

### 3 Экспериментальные исследования

#### 3.1 Методика проведения исследований

Автоматизация исследований является одним из факторов в повышении эффективности и производительности научных работников при проведении экспериментальных исследований и обеспечивает получение данных о сущности физико-технического процесса обработки, т.е. применение математических методов и теории планирования эксперимента [112].

При исследовании количественной оценки только одного фактора применяется однофакторный эксперимент, где влияние нескольких факторов определить сложно.

Поэтому на практике многофакторный эксперимент – одновременно варьируется несколько факторов, а не каждый в отдельности.

При планировании эксперимента экспериментатор определяет объект исследования и оптимизации. В зависимости от характера объекта, задач и целей исследования определяется тип планирования эксперимента:

- экстремальный;
- отсеивающий;
- сравнительный;
- описательный и др.

Цель и задачи планирования эксперимента – это получение максимальной информации, достаточной для их решения, при заданных затратах либо минимальных затрат для соизмерения числа опытов поставленной в задаче и затрат.

Поэтому является эффективным методом повышения исследований и сокращение затрат времени и средств на эксперимент.

Этапы проведения и планирования экспериментальных исследований, следующие:

- 1 анализ задачи, определение измеряемых величин;
- 2 обоснование необходимой точности измерений, выбор методов и средств измерений;
- 3 составление методики проведения эксперимента (измерительные схемы, план проведения измерений, методика обработки результатов);
- 4 проведение измерительного эксперимента;
- 5 обработка результатов измерений, установление графических зависимостей, подбор аппроксимирующих функций;
- 6 нахождение параметров модели;
- 7 анализ результатов [114].

Технологический процесс точения отверстий СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины выполняется на сверлильном станке с ЧПУ.

Обработку отверстий осуществляем диаметрами  $d = 36$  мм, длиной 18 мм, 36 мм и 54 мм с СОЖ и без неё на различных материалах (сталь, алюминий).

Исследования проводились с применением математического аппарата многофакторного эксперимента типа  $2^3$ .

В таблице 3.1 представлены параметры оптимизации (точность и шероховатость), а в качестве критериев – режимы резания (частота вращения, подача и длина обработки).

Таблица 3.1 – Значения варьируемых факторов

Пределы варьирования факторов	Значения факторов					
	частота вращения, $n$		подача, $S$		длина обработки, $l$	
	нат.	код.	нат.	код.	нат.	код.
	об/мин	$X_1$	мм/об	$X_2$	мм	$X_3$
Основной	600	0	0,15	0	36	0
Верхний	800	+1	0,25	+1	54	+1
Нижний	400	-1	0,05	-1	18	-1
Интервал варьирования	200	$\Delta X_1$	0,10	$\Delta X_2$	18	$\Delta X_3$

По таблицам [114] определяем критерии эксперимента (глубину и частоту резания, подачу) на основании паспортных данных Сверлильно-фрезерно-расточный станок 400V с ЧПУ, а также пределы варьирования (таблица 3.1) и матрицу планирования (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Матрица планирования

Номер опыта			Порядок реализации			Факторы						
						$Z_0$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
						$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_2X_3$
1	9	17	22	8	1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1
2	10	18	17	10	3	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1
3	11	19	5	7	13	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1
4	12	20	24	21	9	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1
5	13	21	18	14	11	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1
6	14	22	4	16	20	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1
7	15	23	2	15	12	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
8	16	24	19	23	6	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Согласно таблице 3.2 выполняем экспериментальные исследования по известным формулам [114] и результаты сводим в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты расчёта шероховатости поверхности обработки отверстия диаметром 36 мм

Номер опыта			Результаты опытов, $y_{il}$			Среднее значение, $\bar{y}$	Дисперсия, $S_i^2$	Параметр оптимизации, $\hat{y}$
1	9	17	2,70	2,20	3,25	2,72	0,2758	2,579
2	10	18	2,12	2,15	2,12	2,13	0,0003	2,268
3	11	19	2,30	2,40	2,40	2,37	0,0033	2,505
4	12	20	2,80	2,80	2,60	2,73	0,0133	2,595
5	13	21	3,20	2,80	2,60	2,87	0,0933	2,895
6	14	22	3,22	3,62	3,20	3,35	0,0561	3,209
7	15	23	2,40	2,20	2,40	2,33	0,0133	2,195
8	16	24	3,20	2,54	2,25	2,66	0,0918	2,801

По  $m$  параллельным опытам находится среднее значение функции отклика каждой строки матрицы планирования:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m y_{il} \quad l = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, N, \quad (3.1)$$

где  $y_{il}$  – значение функции отклика в  $l$ -ом параллельном опыте;  
 $i$  – номер опыта в матрице планирования;  
 $N$  – число опытов в матрице планирования.

В первом опыте среднее значение равно:

$$y_1 = (2,70 + 2,20 + 3,25) / 3 = 2,72.$$

Аналогично определяем и заполняем средние значения  $y_i$  опытов.

Осуществляем проверку воспроизводимости эксперимента и записываем в таблицу 3.3:

- гипотезу однородности дисперсии по -критерию:

$$G = S_{i_{\max}}^2 \sum_{i=1}^N S_i^2 \quad (3.2)$$

- оценку дисперсии опыта:

$$S_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^m (y_{il} - \bar{y}_i)^2 \quad (3.3)$$

$$S_1^2 = \frac{1}{3-1} [(2,70 - 2,72)^2 + (2,20 - 2,72)^2 + (3,25 - 2,72)^2] = 0,2758$$

- дисперсию ошибки опыта:

$$S_{\text{ош}}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2 = \frac{0,547}{8} = 0,068 \quad (3.4)$$

- максимальное значение дисперсии:

$$S_{i_{\max}}^2 = 0,276$$

- сумму дисперсий:

$$\sum S_i^2 = 0,547$$

$$G = \frac{0,276}{0,547} = 0,504$$

По таблице [114] значение критерия Кохрена при пятипроцентном уровне значимости равно  $G_{\text{табл}} = 0,5157$ , которое меньше табличного, значит, эксперимент – воспроизводимый.

Выполняем оценку воспроизводимости эксперимента:

- величины коэффициентов уравнения регрессии:

$$b_q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{iq} \cdot y_i; \quad q=0\dots n, \quad (3.5)$$

где  $z_{iq}$  – таблица 3.2;

$n$  – число коэффициентов.

Используя формулу (3.5) вычисляем величины коэффициентов уравнения регрессии и заносим в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты коэффициентов уравнения регрессии

Коэффициенты						
$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$
0,08	0,138	0,151	0,03958	0,08958	-0,1005	0,06042

- проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии и вычисляем дисперсии коэффициентов:

$$S^2\{b_q\} = \frac{S_{\text{ош}}^2}{m \sum_{i=1}^m z_{iq}^2} = 0,003 \quad (3.6)$$

и среднеквадратичное отклонение:

$$S\{b_q\} = \sqrt{S^2\{b_q\}} = 0,053 \quad (3.7)$$

Табличное значение  $t$ -критерия для пятипроцентного уровня значимости и числа степеней  $8(3-1) = 16$  равно 2,12 распределения Стьюдента [114, с. 13]. Вычисляем критическое значение коэффициентов уравнения регрессии из формулы (3.8)

$$t_q = \frac{|b_q|}{S\{b_q\}} \quad (3.8)$$

$$b_{q\text{крит}} = t_{\text{крит}} \cdot S\{b_q\} = 2,12 \cdot 0,053 = 0,113$$

Значение  $v_q$  меньше  $t_{крит}$ , поэтому его можно признать статистически незначимыми и исключить из уравнения регрессии. Тогда интерполяционная модель примет вид:

$$y = 0,08 + 0,138x_1 - 0,151x_2 \quad (3.9)$$

Для проверки адекватности полученной модели необходимо вычислить остаточную дисперсию, предварительно вычисляя параметр оптимизации  $\hat{y}_i$ :

$$S_{ост}^2 = \frac{1}{N-d} \sum_{i=1}^N m(\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2, \quad (3.10)$$

где  $d$  – число значимых коэффициентов в модели,  $d = 3$ ;

$y_i$  – значение функции отклика, вычисленное по полученной модели для условий  $i$ -го опыта.

$$S_{ост}^2 = \frac{1}{8-3} [3(2,72 - 2,579)^2 + 3(2,13 - 2,268)^2 + \dots + 3(2,66 - 2,801)^2] = 0,4$$

Однородность дисперсий  $S_{ост}^2$  и  $S_{ош}^2$  проверяется с помощью  $F$ -критерия, сопоставляя расчётное значение критерия Фишера с табличным [114, с. 14].

$$F = \frac{S_{ост}^2}{S_{ош}^2} = 4,37 < 4,49 = F_{табл} \quad (3.11)$$

Условие выполняется  $F < F_{табл}$  следовательно модель адекватно описывает процесс и признаётся пригодной.

Чтобы получить модель в натуральных переменных  $n, S$ , необходимо вместо  $X_1, X_2$  подставить выражения:

$$X_1 = \frac{2(\ln \hat{X}_1 - \ln 800)}{\ln 800 - \ln 400} + 1, \quad X_2 = \frac{2(\ln \hat{X}_2 - \ln 0,25)}{\ln 0,25 - \ln 0,05} + 1 \quad (3.12)$$

Проведя преобразования и подстановки в выражение (3.9) получаем:

$$\ln Ra = 0,08 + 0,138 \left[ \frac{2(\ln S - \ln 0,25)}{\ln 0,25 - \ln 0,05} + 1 \right] - 0,151 \left[ \frac{2(\ln S - \ln 0,25)}{\ln 0,25 - \ln 0,05} + 1 \right] \quad (3.13)$$

Решая выражение (3.13), находим зависимость шероховатости поверхности обработки отверстия от исследуемых факторов для стали 45:

$$Ra = 0,054 \frac{S^{0,188}}{n^{0,398}} \quad (3.14)$$

По формулам (3.1)–(3.11) определяем зависимость точности обработки отверстий от исследуемых факторов процесса обработки отверстия для алюминиевого сплава Д16:

$$Ra = 0,102 \frac{S^{0,50}}{n^{0,45}} \quad (3.15)$$

Аналогично выполняем необходимые расчёты по отклонению диаметра поверхности обработки отверстия диаметром 36 мм и полученные результаты сведены в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты расчётов по отклонению диаметра обработки отверстия диаметром 36 мм

Номер опыта			Результаты опытов, $y_{il}$			Среднее значение, $\bar{y}$	Дисперсия, $S_i^2$	Параметр оптимизации, $\hat{y}$
1	9	17	37,044	37,053	36,010	36,7023	0,359514	36,657642
2	10	18	36,012	36,031	36,010	36,0178	0,000140	36,062492
3	11	19	37,013	36,072	36,091	36,3920	0,289321	36,436692
4	12	20	36,079	36,070	36,024	36,0577	0,000870	36,012975
5	13	21	36,096	36,021	36,104	36,0737	0,002096	36,330370
6	14	22	36,074	36,037	37,017	36,3760	0,308503	36,331308
7	15	23	36,290	36,141	36,024	36,1517	0,017774	36,106975
8	16	24	36,087	37,160	36,093	36,4467	0,091817	36,491358

На основании данных таблицы 3.4 выполнены соответствующие расчёты и получены зависимости по отклонению диаметра обработки отверстия диаметром 36 мм от частоты вращения, подачи и длины обработки:

- стали 45:

$$\Delta d = 1,44 \frac{S^{0,441}}{n^{0,312}} \quad (3.16)$$

- цветных сплавов Д16:

$$\Delta d = 2,96 \frac{S^{0,533}}{n^{0,372}} \quad (3.17)$$

Таким образом, по полученным зависимостям модели, частоты вращения, подачи и длины обработки определены значения точности обработки отверстий, шероховатости поверхности при любом сочетании значений факторов.

Анализ полученных зависимостей показывает, что при увеличении частоты вращения и уменьшения подачи точность обработки отверстия повышается, а шероховатость поверхности уменьшается.

Кроме того, при обработке отверстий различной длины обработки (0,5D; D и 2D) на выбранных режимах резания на точность обработки отверстия и шероховатость существенного влияния не оказывает, о чем свидетельствуют полученные результаты экспериментальных исследований.

### 3.2 Оборудование для проведения экспериментальных исследований

Проведение экспериментальных исследований выполнялась на Сверлильно-фрезерно-расточный станок 400V с ЧПУ (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Сверлильно-фрезерно-расточной станок 400V с ЧПУ

Технические характеристики приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Техническая характеристика сверлильно-фрезерно-расточного станок 400V с ЧПУ [115].

Основные параметры	
Класс точности по ГОСТ 8-82	П
Модель устройства ЧПУ	Sinumerik 802D sl
Количество управляемых координат	3
Наибольший диаметр растачивания, мм	80
Наибольшая длина инструмента, устанавливаемого на станке, мм	250
Размеры рабочей поверхности стола (длина×ширина), мм	900×400
Точность позиционирования по координате X, Y, Z, мм	± 0,010
Частота вращения шпинделя, об/мин	0...8000
Емкость инструментального магазина, шт.	20
Время смены инструмента, с	12
Габариты станка (длина ширина высота), мм	2300×2450×2620
Масса станка, кг	5000

Точность отверстий проверялась при помощи измерительного прибора MarForm MMQ 200 (рисунок 3.2), а шероховатость поверхности – мобильным прибором MarSurf M 300 (рисунок 3.3).

Технические характеристики приведены в таблицах 3.6 и 3.7 [116].



Рисунок 3.2 – Измерительный прибор MarForm MMQ 200

Таблица 3.5 – Техническая характеристика измерительного прибора MarForm MMQ 200

Отклонение от круглости (мкм + мкм/мм измер. высоты)	0,015 + 0,0003
Отклонение от круглости (мкм + мкм/мм измер. высоты)	0,03 + 0,0006
Отклонение торцового биения (мкм + мкм/мм измер. радиуса)	0,02 + 0,0001
Отклонение торцового биения (мкм + мкм/мм измер. радиуса)	0,04 + 0,0006
Стол с регулировкой центрирования и наклона	вручную
Диаметр стола (мм)	160
Грузоподъемность стола, по центру (Н)	200
Скорость (об./мин) 50 Гц/60 Гц	0,2–15
Диапазон измерения, с приводом по оси Z (мм)	250
Отклонение от прямолинейности на 100 мм хода (мкм), ось Z	0,15
Отклонение от прямолинейности на протяжении всего измерительного хода (мкм), ось Z	0,3
Отклонение от параллельности осей Z-/C в направлении трассирования на протяжении измерительного хода (мкм)	0,5
Скорость измерения (мм/с), ось Z	0,5–30
Скорость позиционирования (мм/с), ось Z	0,5–100
Ход позиционирования (мм), ось X	150, с приводом
Скорость позиционирования (мм/с), ось X	0,5–30



Рисунок 3.3 – Мобильный прибор MarSurf M 300

Таблица 3.6 – Техническая характеристика мобильного прибора для измерения шероховатости MarSurf M 300

Принцип измерения	Метод ощупывания
Щуп	Индуктивный опорный щуп
Диапазон измерения, мм	0,35
Разрешение профиля, нм	8
Вертикальная шкала	автоматическая /с возможностью выбора
Горизонтальная шкала	в завис. от отсечки шага
Фильтр в соответствии с ISO/JIS	Гауссовский фильтр, фильтр Ls
Длина оценки $l_n$ в соответствии с ISO/JIS, мм	1,25; 4; 12,5
Число $n$ базовых длин в соответствии с ISO/JIS	С возможностью выбора: 1–5
Скорость контактирования, мм/с	0,5
Наконечник щупа	2 $\mu\text{m}$
Измерительное усилие, Н	0,00075
ЖК-дисплей	Цветной дисплей высокого разрешения, 3,5", 320×240 пикселей
Печать	Регистрация с указанием времени (автоматически/вручную)
Принтер	Термопринтер, 384 точки на горизонтальную строку, 20 символов на строку
Скорость печати, мм/с	прибл. 6 строк в секунду соответствует прибл. 25 мм/с
Относительная влажность, %	от 30 до 85
Класс защиты	M 300 = IP 42, RD 18 = IP 40
Диапазон температур эксплуатации	+5°... +40 °С
Диапазон температур хранения	-15°... +55 °С
Габариты (Д×Ш×В) измерительного прибора, мм	190×140×75
Вес, кг	1

### 3.3 Обработка экспериментальных исследований

#### 3.3.1 Влияние режимов резания на качество обработки

В ходе проведения экспериментальных исследований были обработаны заготовки из материалов сталь 45 и алюминиевый сплав Д-16Т, длиной 18; 36 и 54 мм (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Обработанные заготовки

Следует отметить что в процессе обработки заготовок из алюминиевого сплава с увеличением подачи происходит так называемое «пакетирование» стружки, (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Стружка, образуемая при подаче 0,25 мм/об при обработке заготовки из алюминиевого сплава

При увеличении числа оборотов «пакетирование» исчезает при увеличении числа оборотов (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Стружка, образуемая при  $n = 800$  об/мин при обработке заготовки из алюминиевого сплава

При обработке заготовок из стали 45 практически на всех режимах и вариациях режимов отвод стружки происходил беспрепятственно (рисунок 3.7), что в свою очередь благотворно влияет на качество обработки отверстия



Рисунок 3.7 – Стружка образуемая при обработке заготовки из стали 45

На основе данных полученных при проведении экспериментальных исследований построены графики влияния режимов резания на качество обработки отверстий диаметром 36 мм, в заготовках из материалов сталь 45 и алюминиевый сплав Д-16, длиной 18; 36 и 54 мм конструкциями сборной резцовой головки варианта 1 и варианта 3, т.е. с твердосплавными пластинами одинаковой ширины и твердосплавными пластинами разной ширины, с установкой на периферии пластины меньшего размера.

На рисунках 3.8–3.13 представлены графики влияния частоты вращения, подачи и длины обработки отверстий по варианту 1. На графиках цифрами обозначены материалы заготовок: 1 – сталь 45, 2 – алюминиевый сплав Д-16.

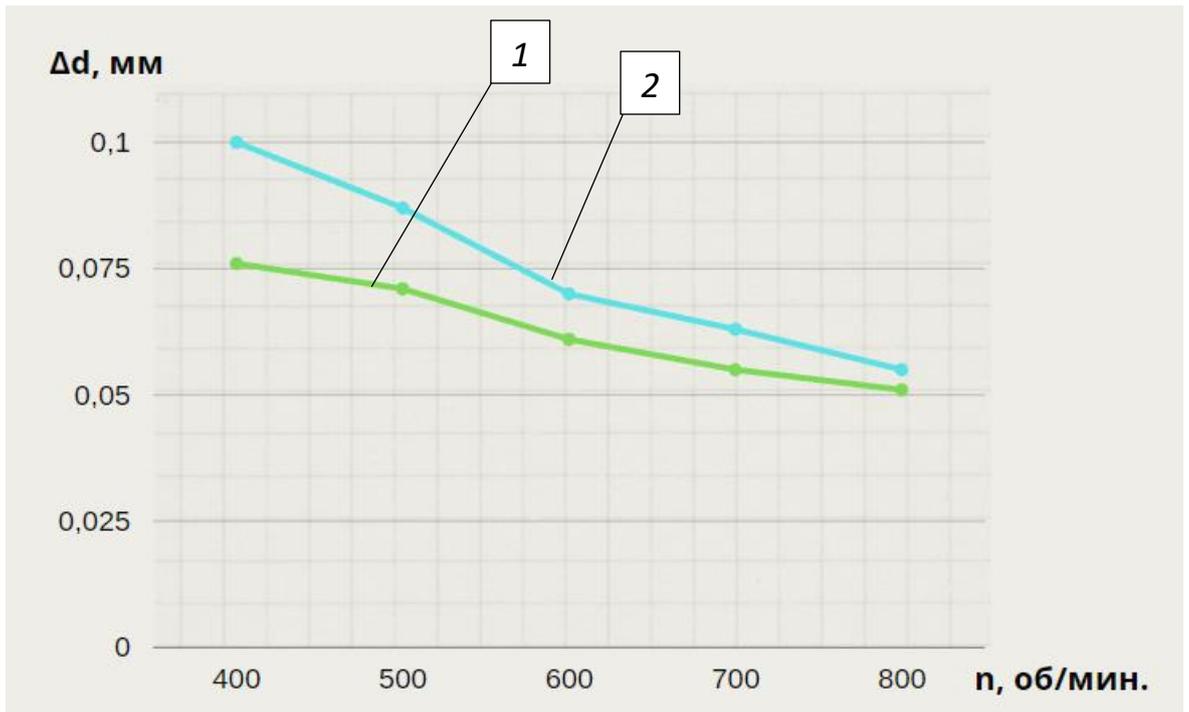


Рисунок 3.8 – Влияние частоты вращения на отклонение диаметра вариант 1

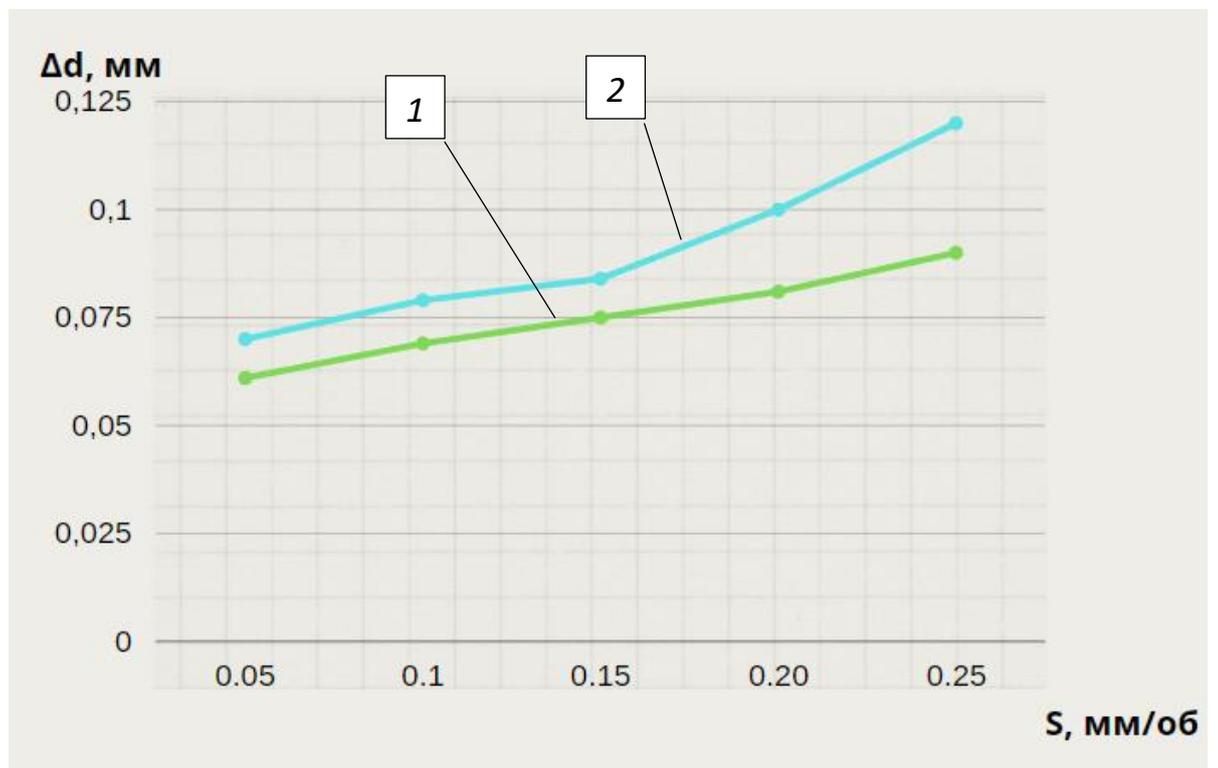


Рисунок 3.9 – Влияние подачи на отклонение диаметра вариант 1

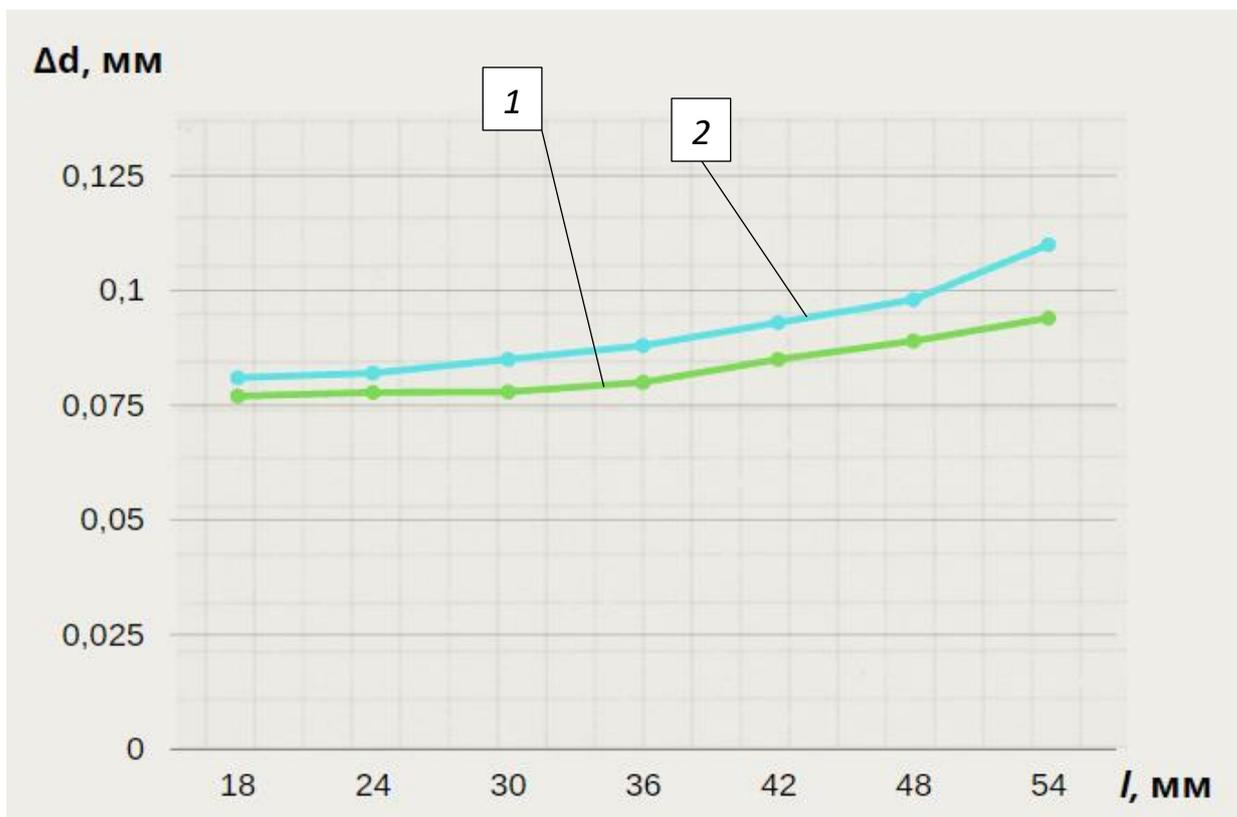


Рисунок 3.10 – Влияние длины обработки на отклонение диаметра вариант 1

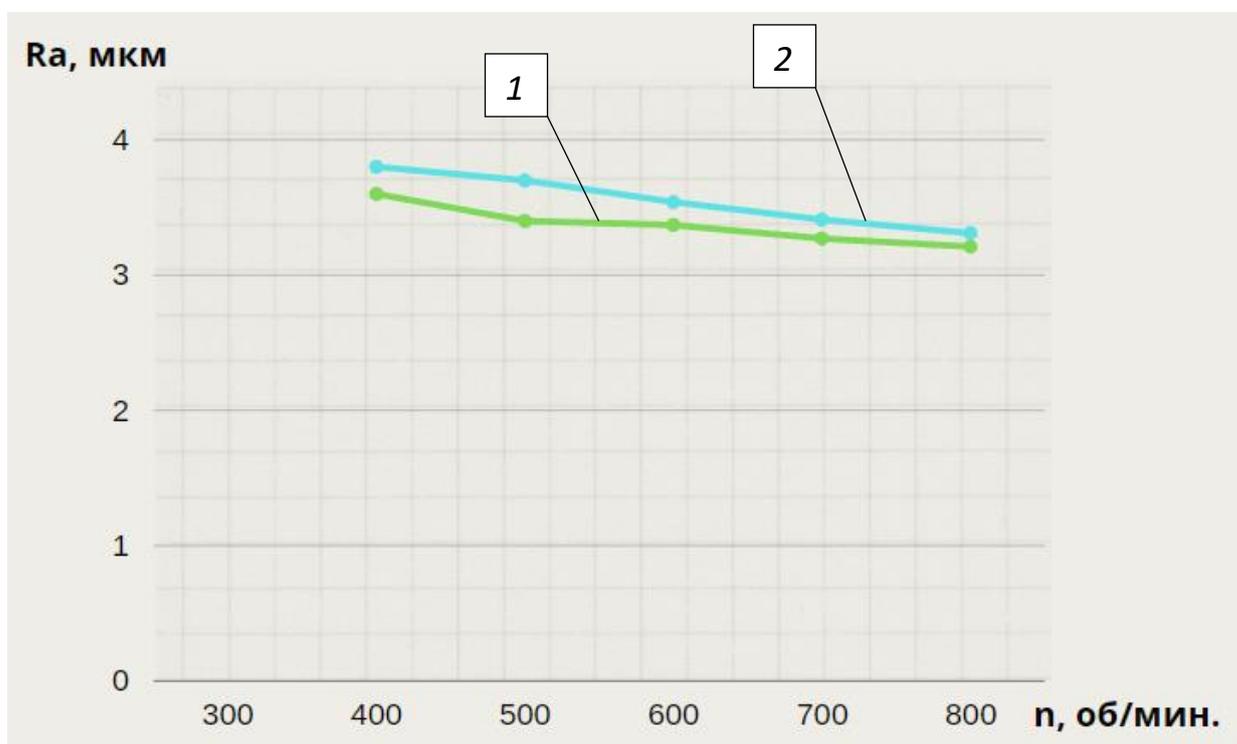


Рисунок 3.11 – Влияние частоты вращения на шероховатость поверхности вариант 1



Рисунок 3.12 – Влияние подачи на шероховатость поверхности вариант 1

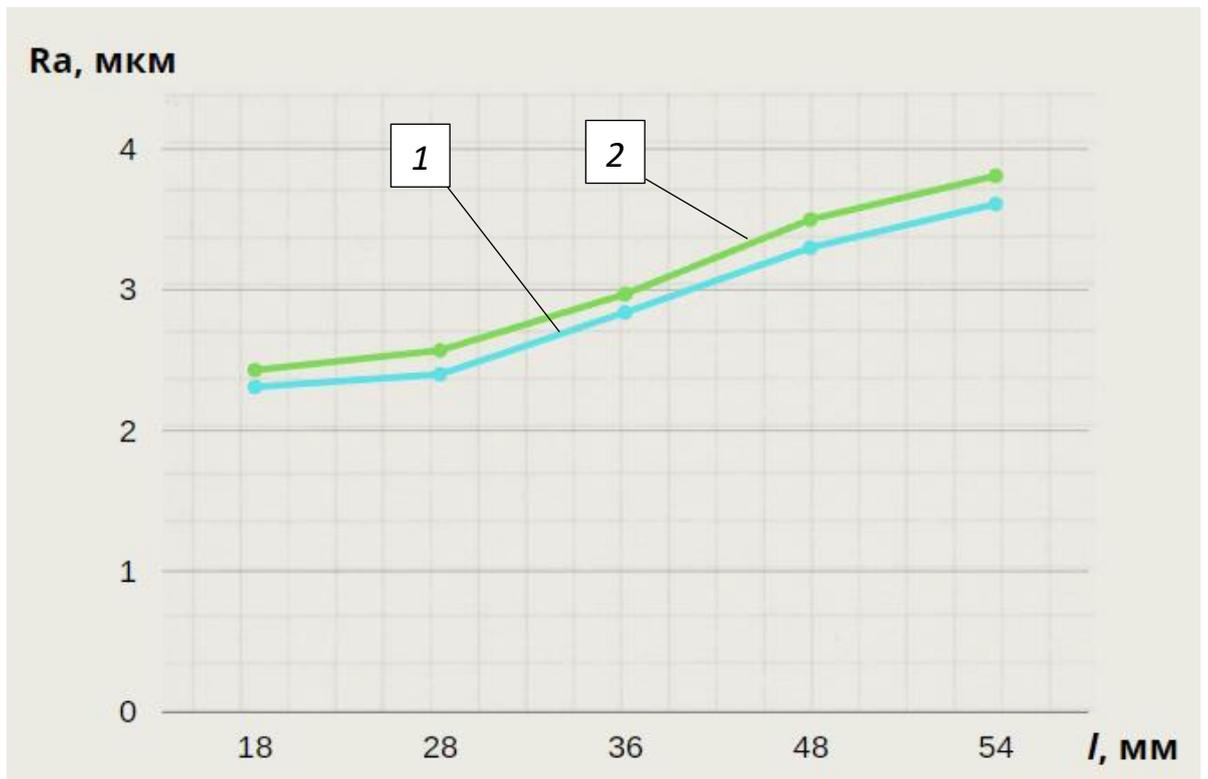


Рисунок 3.13 – Влияние длины обработки на шероховатость поверхности вариант 1

Анализируя графики на рисунках 3.8 и 3.11 пришли к выводу что с увеличением частоты вращения отклонения диаметра находятся в пределах 0,57–0,19 мм для заготовки из стали 45, и 0,58–0,21 мм для заготовки из алюминиевого сплава Д-16. Это соответствует 9–10 качеству точности, а шероховатость поверхности обрабатываемого отверстия в пределах 3,2–3,9 мкм – 6–7 классу шероховатости.

С увеличением подачи в пределах 0,005–0,25 мм/об происходит увеличение отклонения диаметра от 0,06 до 0,122 мм и шероховатость обрабатываемого отверстия (рисунок 3.9, 3.12).

Частота вращения и подача существенно не оказывают влияния на отклонения диаметра и шероховатости поверхности в зависимости от изменения длины обработки, для отверстий с глубиной до двух диаметров, за счет относительно высокой жесткости СРГ.

На рисунках 3.12–3.19 представлены графики влияния частоты вращения, подачи и длины обработки отверстий по варианту 3. На графиках цифрами обозначены материалы заготовок: 1 – сталь 45, 2 – алюминиевый сплав Д-16.

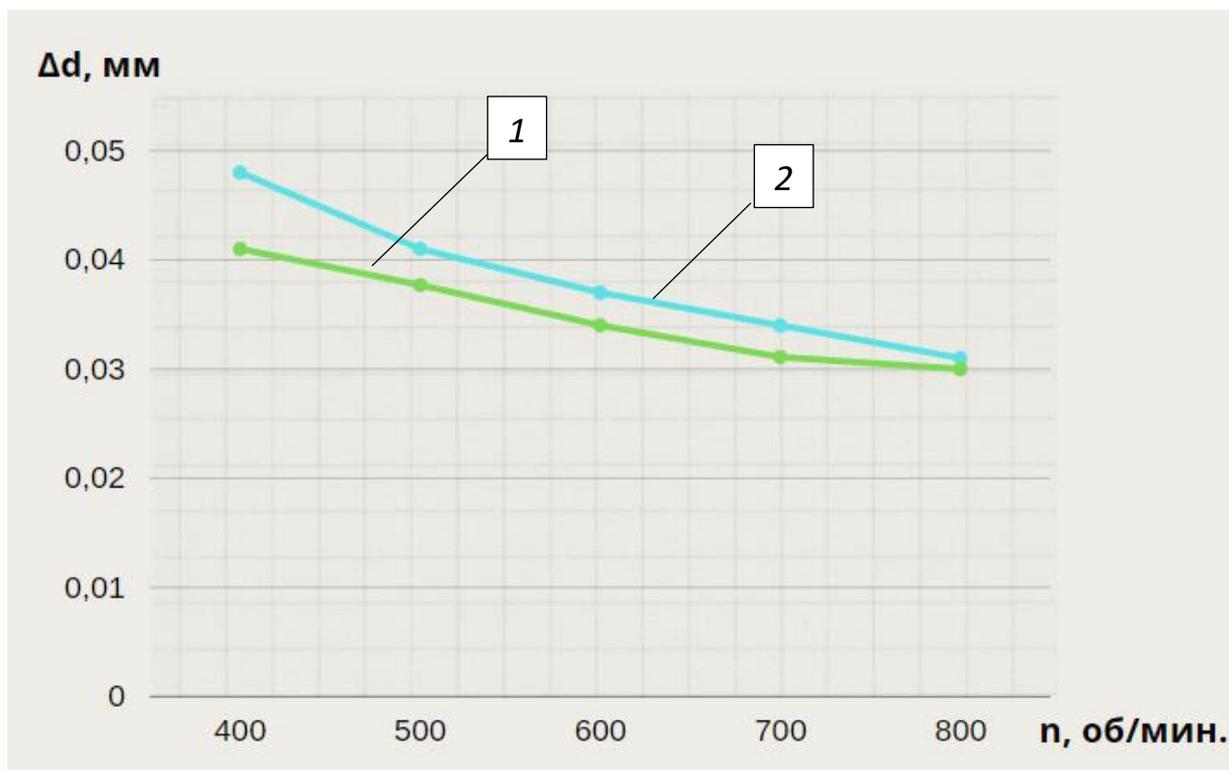


Рисунок 3.14 – Влияние частоты вращения на отклонение диаметра вариант 3

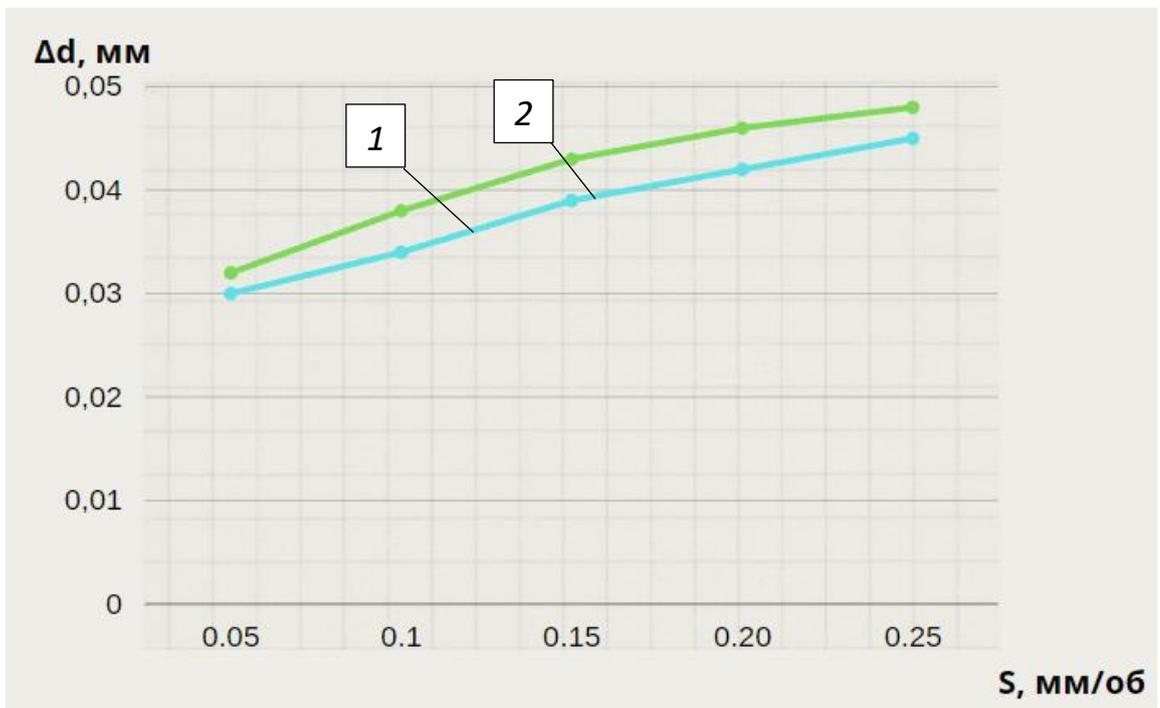


Рисунок 3.15 – Влияние подачи на отклонение диаметра вариант 3

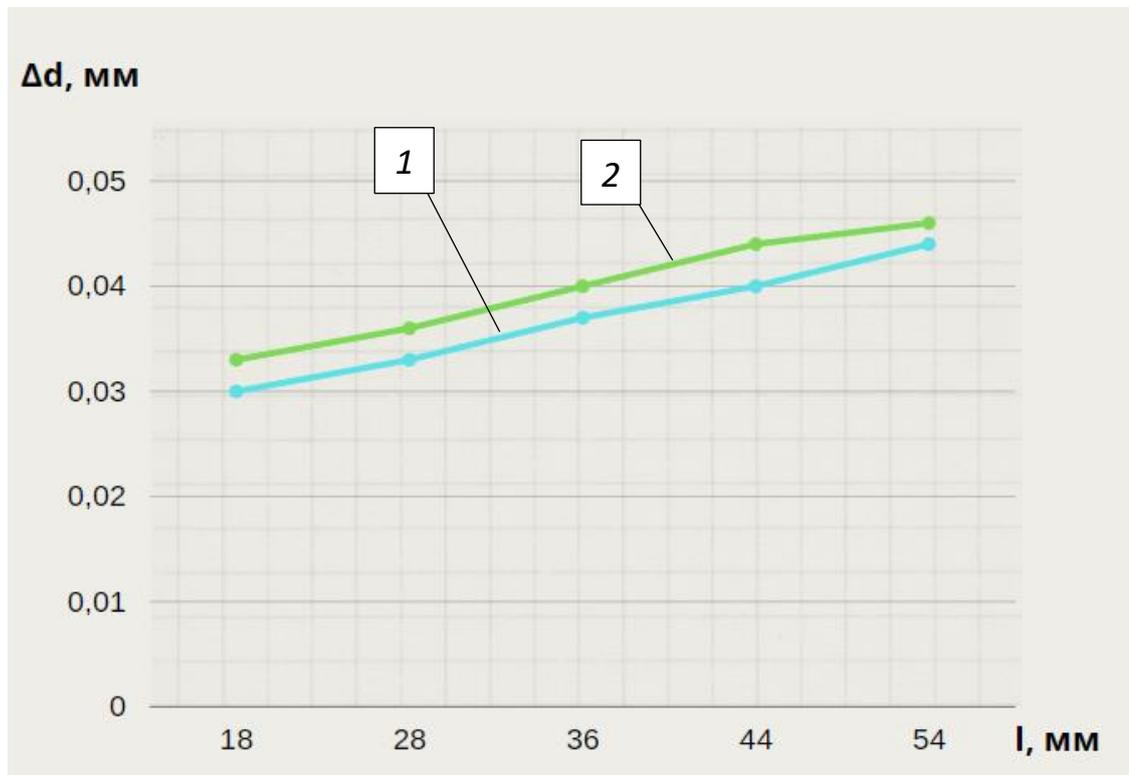


Рисунок 3.16 – Влияние длины обработки на отклонение диаметра вариант 3

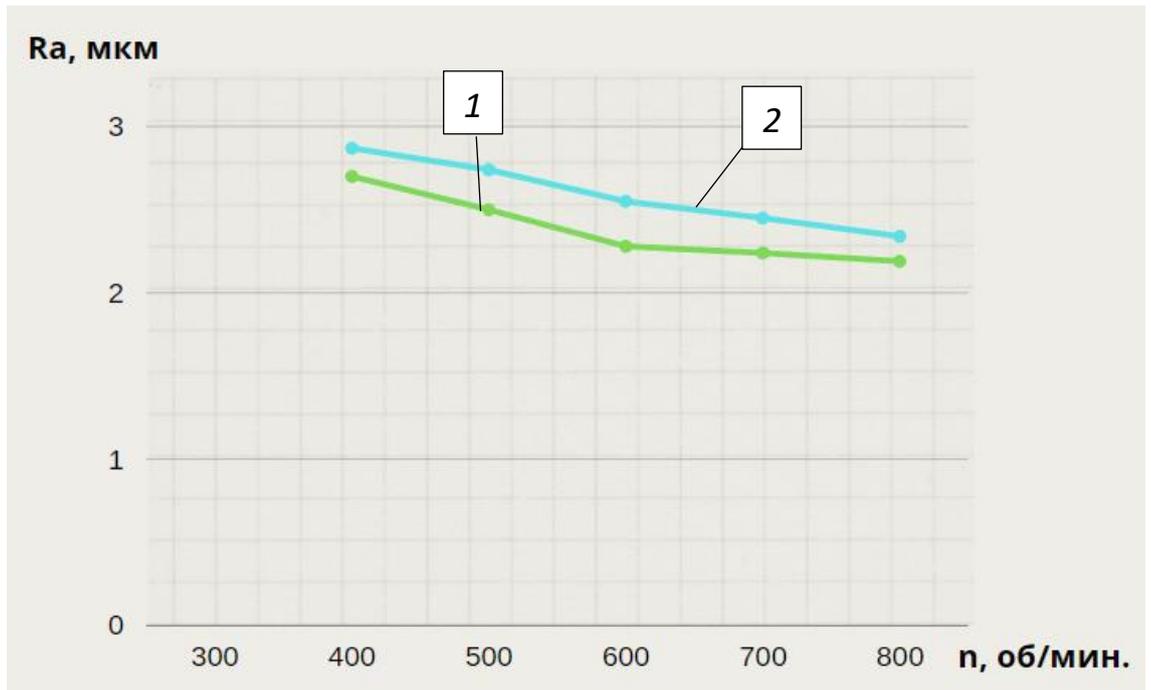


Рисунок 3.17 – Влияние частоты вращения на шероховатость поверхности вариант 3

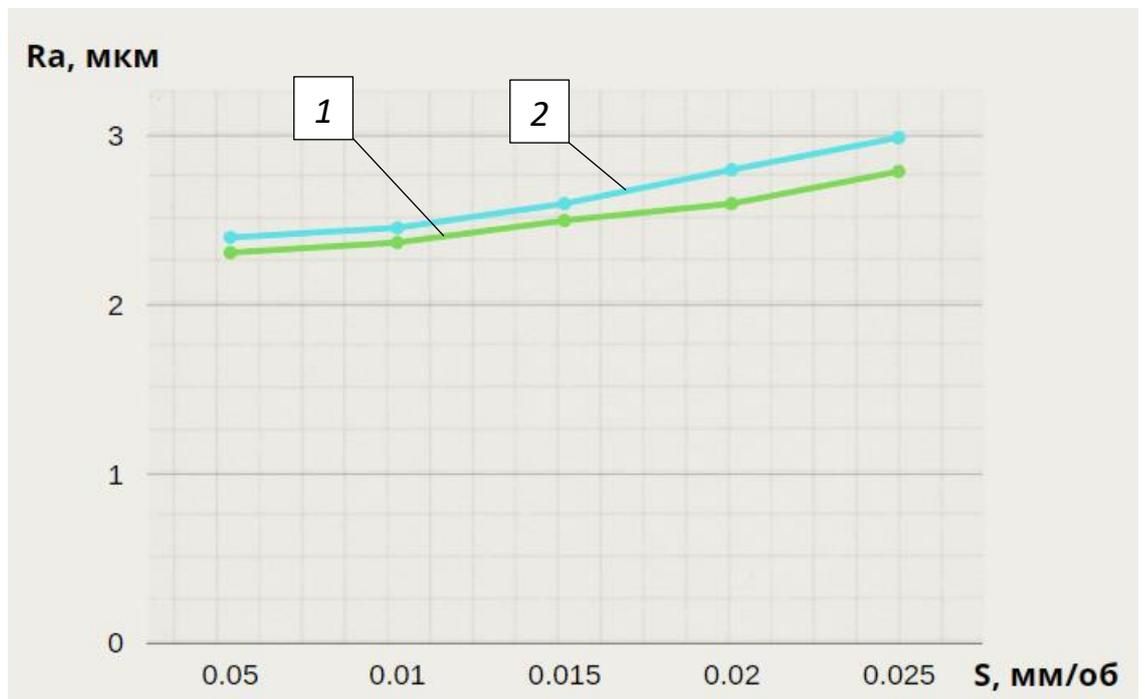


Рисунок 3.18 – Влияние подачи на шероховатость поверхности вариант 3

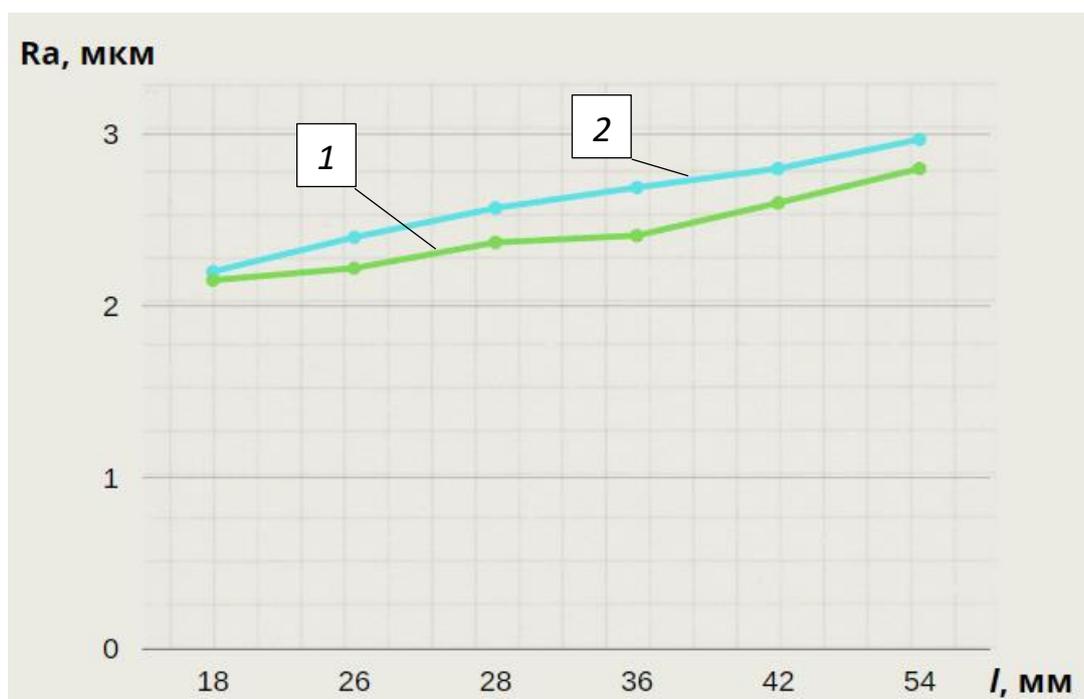


Рисунок 3.19 – Влияние длины обработки на шероховатость поверхности вариант 3

Анализируя графики на рисунках 3.14 и 3.17 пришли к выводу что с увеличением частоты вращения отклонения диаметра находятся в пределах 0,030–0,042 мм для заготовки из стали 45, и 0,032–0,047 мм для заготовки из алюминиевого сплава Д-16. Это соответствует 7–8 качеству точности, а шероховатость поверхности обрабатываемого отверстия в пределах 2,2–2,9 мкм – 6 классу шероховатости.

С увеличением подачи в пределах 0,005–0,25 мм/об происходит увеличение отклонения диаметра от 0,03 до 0,048 мм и шероховатости обрабатываемого отверстия от 2,3 до 2,8 мкм (рисунок 3.15, 3.12).

Как мы видим из графиков, изображенных на рисунках 3.16, 3.19 частота вращения и подача существенно не оказывают влияния на отклонения диаметра и шероховатости поверхности в зависимости от изменения длины обработки, для отверстий с глубиной до двух диаметров. Это объясняется относительно высокой жесткостью инструмента.

Анализ графиков на рисунках 3.8–3.19 показал, что при обработке отверстий конструкцией СРГ по варианту 3 посредством уравнивания крутящих моментов режущей части инструмента происходит меньшее нагружение и деформация периферийной пластины меньшей ширины, тем самым обеспечивается точность 7–9 качества, с шероховатостью 2,5–3,2 мкм за счет многократного калибрования обрабатываемого отверстия.

В процессе проведения диссертационного исследования параллельно получены результаты обработки композиционных материалов СРГ, проводимых в рамках проекта ИРН АР09058231 «Исследование и проектирование ресурсо-энергосберегающих металлорежущих инструментов», финансируемого Комитетом Науки МОН РК. В данном опыте рассматривалась проблема так

называемого выхода инструмента при сверлении листовых материалов, в данном случае текстолита (рисунки 3.20–3.23).



Рисунок 3.20 – Отверстие в листе из гетаникса полученное при обработке спиральным сверлом



Рисунок 3.21 – Отверстие в листе из гетаникса полученное при обработке СРГ с равными пластинами



Рисунок 3.22 – Отверстие в листе из гетинакса полученное при обработке СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины на периферии



Рисунок 3.23 – Процесс отвода стружки при обработке СРГ твердосплавными пластинами разной ширины с установкой пластины меньшей ширины на периферии

Как видно из представленных выше рисунков, качество обработки листового материала из гетинакса сборной резцовой головкой дает хорошие результаты по качеству отверстия. При этом не возникают излом материала при выходе инструмента.

#### 4 Экономическая эффективность применения сборной резцовой головки

Технологический процесс обработки отверстий 7–8 качества точности обычно состоит из переходов: сверления (качество 12–14), зенкерования (качество 9–11) и развёртывания (6–8 качество) с соответствующим параметром шероховатости  $R_a=0,8–25$  мкм,  $R_a=6,3–0,4$  мкм;  $R_a=3,2–0,1$  мкм соответственно.

Кроме того, при обработке отверстий свыше 30 мм предусматривается сверление и рассверливание.

Исходя из вышеизложенного типовой технологический процесс обработки отверстия диаметром 36 мм представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Типовой технологический процесс обработки отверстия диаметром 36 мм

Наименование операции / переходов	Качество точности	Шероховатость поверхности
Сверление	12–14	$R_a=0,8–25$ мкм
Зенкерование	9–11	$R_a=0,4–6,3$ мкм
Развёртывание	6–8	$R_a=0,1–3,2$ мкм

На основании экспериментальных исследований обработка отверстий резцовой сборной головкой соответствует 7–9 качеству точности с соответствующей шероховатостью поверхности. Тем самым сокращается количество переходов: вместо трёх – один в зависимости от требований к точности. Расчёт стоимости оборудования:

$$C_{\text{рын}} = C_{\text{перв.}} \cdot 1,15 = 17043000 \cdot 1,15 = 19599450 \text{ тнг.} \quad (4.1)$$

Расчёты сводим в таблицу 4.2

Таблица 4.2 – Сводная ведомость стоимости технологического оборудования

Наименование оборудования	Мод. станка	Кол-	Площадь		Мощность 1 ст, кВт	Первонач. стоимость	Рыночн. стоимость, тнг
			габаритные размеры, мм	м <sup>2</sup>			
Сверлильно-фрезерно-расточной станок	400V	1	2300×2450×2620	5,64	23	17043000	19599450

Таблица 4.3 – Трудоёмкость обработки отверстия по типовому технологическому процессу

Наименование операции / переходов	Модель оборудования	T <sub>о</sub> , мин
Сверление	Сверлильно-фрезерно-расточной станок 400V	2,12
Зенкерование		1,16
Развёртывание		2,18
Итого		5,46

Расчёт фонда заработной платы работников ведётся последовательно по категориям. На участке применяется сдельно-премиальная и повременно-премиальная система оплаты труда.

Определяется фонд оплаты станочников:

$$P_{ст} = \frac{t_{шт} \cdot T_{ст}}{60}, \quad (4.2)$$

где  $t_{шт}$  – норма штучного времени;

$T_{ст}$  – часовая тарифная ставка в зависимости от разряда, тнг.

$T_{ст I} = 645$  тнг/час.

$T_{ст II} = 753$  тнг/час.

$T_{ст III} = 870$  тнг/час.

$T_{ст IV} = 985$  тнг/час.

$T_{ст V} = 1200$  тнг/час.

$T_{ст VI} = 1515$  тнг/час.

Тогда подставляя значение для станочника 5 разряда получаем стоимость одного отверстия:

$$P_{ст} = \frac{5,46 \cdot 1200}{60} = 109,2 \text{ тнг.}$$

В трубной решетке 214 отверстий, соответственно обработка всех отверстий составит:

$$109,2 \cdot 214 = 23368,8 \text{ тнг.}$$

В теплообменнике установлено две трубные решетки, тогда 46737,6 тенге. Исходя из плана ТОО «ПТПЗ» ремонта теплообменников 4 штуки в месяц, а в год – 48 штук стоимость обработки отверстий составит – 2243412 тенге.

При обработке отверстий трубной решетки СРГ с твердосплавными пластинами разной ширины штучной время составило 2,3 минуты.

Таблица 4.4 – Трудоёмкость обработки отверстия СРГ

Наименование операции/переходов	Модель оборудования	$T_o$ , мин
Точение	Сверлильно-фрезерно-расточной станок 400V	2,3
Итого		2,3

Аналогично по приведённому расчёту выше стоимость обработки отверстий одной трубной решетки предлагаемым инструментом составит – 9844 тенге, а с учетом годового ремонта – 945024 тенге.

Таким образом, экономическая эффективность составила 1298388 тенге в год, а одной детали – 27049,6 тенге.

## Заключение

Проведенные исследования и полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1 Анализ литературных источников и существующих конструкций показал, что одним из направлений развития и проектирования металлорежущих инструментов – это совершенствование существующих или создание новых конструкций обеспечивающих повышение точности и качества обработки.

2 Разработанная (Патент № 33140) конструкция сборной резцовой головки для торцового точения отверстий обеспечивает 7–9 квалитет точности с шероховатостью поверхности  $R_a = 2,5–3,2$  мкм, за счет создания благоприятных условий в процессе резания путём уравнивания возникающих при резании моментов.

3 Разработана схема процесса обработки отверстий сборной резцовой головкой, позволяющая описать условия резания и формирование стружки; механизм действия и распределения сил резания;

4 Выполнен расчет сборной резцовой головки с использованием программы APM Multiphysics и установлено их уравнивание, что приводит к равенству моментов, равномерному вращению в процессе обработки, уменьшению колебаний и вибраций, а, следовательно, уменьшению погрешности, повышение точности обработки и снижение шероховатости поверхности отверстия.

5 В производственных условиях проведены испытания разработанной конструкции нового металлорежущего инструмента – сборной резцовой головки с твёрдосплавными пластинами, применение которой даёт меньшее отклонение по сравнению со стандартным инструментом в продольном и поперечном сечениях в 1,2 раза, т.е. повышается точность и качество обрабатываемых отверстий. Тем самым уменьшается нагрузка на твёрдосплавные пластины в 1,2 раза и повышается их прочность в 1,1 раза, что увеличивает стойкость инструмента и его ресурс.

6 Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс Торайгыров университета (Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова) для специальности «Машиностроение» по дисциплине «Проектирование и производство металлорежущих инструментов».

7 Разработаны рекомендации по практическому применению сборной резцовой головки с твёрдосплавными пластинами разной ширины.

### **Оценка полноты решений поставленных задач**

Диссертационная работа выполнена полностью в соответствии с поставленными в работе целью и задачами. Оригинальная конструкция нового металлорежущего инструмента – сборная резцовая головка с твёрдосплавными пластинами раной ширины, обеспечивает 7–9 квалитет точности и шероховатость поверхности 6–7 класса. Результаты исследований подтверждены актом внедрения на ТОО «Павлодарский трубопрокатный завод» (Приложение Б).

**Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов.**

По научным результатам диссертационного исследования осуществляется подготовка бакалавров и магистрантов специальности «Машиностроение» по дисциплинам «Проектирование и производство металлорежущих инструментов», «Современные виды металлорежущих инструментов». Имеется акт внедрения в учебный процесс Торайгыров университета (Приложение В).

**Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области.**

Достоверность и сходимость теоретических результатов подтверждается экспериментальными исследованиями, выполненными на аттестованных средствах и приборах.

## Список использованных источников

- 1 Государственная программа индустриально-инновационного развития республики Казахстан на 2020–2025 годы.
- 2 Комплексный план развития машиностроения Республики Казахстан на 2019–2030 годы.
- 3 Гуськов А. М., Воронов С. А., Киселёв И. А., Жуков Н. А., Иванов И. И., Николаев С. М. Обзор литературных источников по моделированию динамики процесса сверления // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. – № 12. – С. 240–265.
- 4 K Sherov , M Mussayev , M Sikhimbayev , B Donenbayev , V Mikhailov , I Kuanov , A Kim, A Turusbekova Thermal state of the contact zone in the process of thermal friction drilling. November 2020 // Journal of Physics Conference Series 1679:052017 DOI:10.1088/1742-6596/1679/5/052017.
- 5 A. Richter. Holemaking alternatives. July 2010. – Vol. 62 – Issue 7 <https://www.ctemag.com/news/articles/holemaking-alternatives>.
- 6 Leo Rakowski. Non-Traditional Methods For Making Small Holes. <https://www.mmsonline.com/articles/non-traditional-methods-for-making-small-holes>.
- 7 Чернышов М.О. Повышение работоспособности сборных сверл на основе исследования напряженного состояния и прочности режущих твердосплавных элементов: дис. канд. тех. наук: 05.02.07. – Тюмень, 2015. – 174 с.
- 8 Modulares Konzept senkt Kosten : научное издание // Werkstatt und Betr. – 2015. – Vol. 148. – N 12. – S. 85 : 1 ил. . – ISSN 0043-2792.
- 9 Wechselkopfborner von Komet : научное издание // Produktion. – 2015. – N 9. – S. 4 . – ISSN 0344-6166.
- 10 Fur vieles einsetzbar [Text] : научное издание // Masch. und Werkzeug. – 2015. – Vol. 116. – N 10. – S. 31 : 1 ил. . – ISSN 0343-3471.
- 11 <https://www.widia.com/us/en/products/holemaking.html>.
- 12 DRS SYSTEM Nikko Tools DEX DRILLS 2019 EN ([nikkotools.com](http://nikkotools.com)).
- 13 Артамонов, Е.В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов. / Е.В. Артамонов – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. – 192 с.
- 14 Таскарина А.Ж. «Обеспечение высокой точности обработки с применением сборной развертки» диссертация на соискание ученой степени доктора философии PhD по специальности 6D071200 – «Машиностроение». Алматы, 2014. – 132 с.
- 15 Woo, WS (Woo, Wan-Sik); Lee, CM (Lee, Choon-Man) A Study on the Optimum Machining Conditions and Energy Efficiency of a Laser-Assisted Fillet Milling International journal of precision engineering and manufacturing-green technology. – Vol. 5. – P. 593-604 DOI: 10.1007/s40684-018-0061-2.
- 16 Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент: учебник для вузов / под. общ. ред. С.В. Кирсанова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2014. – 520 с.: ил. ISBN 9785942757137.

17 Furat I. Hussein, Ziad A. Taha, Thaier A. Tawfiq, Ahmed B. Jawad. Laser Hole Drilling of Stainless Steel 321H and Steel 33 Using 3D CO2 Laser CNC Machine // Iraqi Journal of Laser. – Part A. – Vol. 10. – P. 15–21 (2011).

18 Hom Nath Dhakal, Sikiru Oluwarotimi Ismail, Saheed Olalekan Ojo, Marco Paggi, James R. Smith. Abrasive water jet drilling of advanced sustainable bio-fibre-reinforced polymer/hybrid composites: a comprehensive analysis of machining-induced damage responses // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology – P. 99(9–12):1–15. DOI:10.1007/s00170-018-2670-x.

19 Irina MMW, Azmi AI, Lee CC, Mansor AF Kerf taper and delamination damage minimization of FRP hybrid composites under abrasive water-jet machining // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – Vol. 94. – P. 1727–1744 (2018).

20 Montesano J, Bougherara H, Fawaz Z. Influence of drilling and abrasive water jet induced damage on the performance of carbon fabric/epoxy plates with holes // Composite Structures. – 1 March 2017. – Vol. 163. – P. 257–266.

21 G. Chryssolouris, K. Salonitis. Fundamentals of laser machining of composites. Machining Technology for Composite Materials Principles and Practice // Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, 2012. – P. 266–287.

22 A.K. Nath. Laser Drilling of Metallic and Nonmetallic Substrates // Comprehensive Materials Processing. – Vol. 9. – 2014. – P. 115–175.

23 Мусина Ж. К. Влияние конструктивных особенностей осевого инструмента на точность обработки отверстий: монография. – Павлодар: Кереку, 2016. – 155 с.

24 Высокопроизводительная обработка металлов резанием. – М. : Полиграфия: АВ Sandvik Coromant, 2003. – 301 с.

25 Драгун А.П. Режущий инструмент. – Л. : Лениздат, 1986. – 270 с.

26 Стасов А.Н. Сборные резцы со специальными твердосплавными пластинами для станков с ЧПУ // Станки и инструменты. – 1978. – № 7. – С. 31–32.

27 Лурье Г.Б. Новые инструментальные материалы и конструкции резцов. – М. : Машиностроение, 1977. – 55 с.

28 Баканов А.А. Повышение работоспособности сборных сверл со сменными многогранными пластинами при сверлении железнодорожных рельсов: дис. канд. тех. наук: 05.02.07. – Томск, 2007 – 157 с.

29 Новые инструменты – дополнение к каталогам 12.2. – Sandvik Coromant 2012. – С. E1–E85.

30 Сандвик – 2010. Руководство по металлообработке. Sandvic Coromant, 2010.

31 Инструмент для обработки отверстий Walter. <http://www.c-s-v.ru/products/40/1581/>, Общий каталог Walter.

32 Mitsubishi Materials. Инструмент Mitsubishi (Митсубиши) <https://carbide-tool.ru/mitsubishi>, Вращающийся инструмент Mitsubishi.

33 <http://www.axispanel.ru/company/iscar.php>, <http://intechsol.kz/en/>.

34 [Обработка отверстий \(dormerpramet.com\)](http://dormerpramet.com)

- 35 Dormer Pramet Каталог 2020 год. Dormer Pramet International CZ.
- 36 <http://www.tungaloy-rus.ru/product/metallorzhushchiy-instrument/sverlilnyy-instrument>
- 37 Tungaloy Report No.352-E. 2007.03 (BUN) ISO 9001 certified QCOOJ0056 18/10/1996 T.
- 38 Tungaloy Report No. 405-E. Mar. 2017 (TJ).
- 39 Tungaloy Report No. 420-E. Nov. 2013 (TJ).
- 40 Tungaloy Report No. 377-G. Mar. 2019 (TJ).
- 41 Tungaloy Report 401-E. Sep. 2015 (TJ).
- 42 Tungaloy Report No. 538-G. July. 2020 (TJ).
- 43 <https://www.nikkotools.com/ru/portfolio/сверление>.
- 44 DRSSYSTEM Nikko Tools. Via Don F. Tosatto, 8 30174 Mestre - Venezia [info@nikkotools.co](mailto:info@nikkotools.co) – 15 p.
- 45 Грановский Г.И. Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М. : Высшая школа, 1985. – 304 с.
- 46 Виноградов А.А. Физические основы процесса сверления труднообрабатываемых металлов твердосплавными сверлами. – Киев: Наукова думка, 1985. – 264 с.
- 47 METALLWORKING WORLD (3/12) – деловой и технический журнал фирмы АВ Sandvik Coromant - Spoon Publishing , г. Стокгольм, Швеция – 2012. – С. 26–27.
- 48 Петрушин С.И. Повышение работоспособности инструментов оптимизацией по температуре резания: дис. канд. тех. наук: 05.03.01. – Москва, 1998. – 307 с.
- 49 Petrushin, S. I. The effect of cutting conditions on power inputs when machining / S. I. Petrushin, S. V. Gruby, Sh. C. Nosirsoda // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 142: Innovative Technologies in Engineering. – 012070. – P. 7.
- 50 Petrushin S. I. Chip Formation in Constrained Cutting / S. I. Petrushin, R. Kh. Gubaidulina // Russian Engineering Research. – 2018. – Vol. 38, iss. 8 . – P. 645–650.
- 51 Петрушин С.И. Анализ конструкции сборного сверла со сменными многогранными пластинами Analysis of a ready made drill design with changeable multifaceted inserts / С.И. Петрушин, Р.Х. Губайдулина, Ш.С. Нозирзода // Механики XXI века. – 2017. – № 16. – С. 44–51.
52. Василега Д.С. Теоретические основы оптимизации режущей части лезвийных инструментов: дисс. канд. тех. наук: 05.03.01. – Тюмень, 2009 – 152 с.
- 53 Артамонов Е.В., Ефимович И.А., Помигалова Т.Е. Режущая пластина патент на изобретение RUS №2201316 27.03.2003.
- 54 Артамонов Е.В. Повышение работоспособности сборных режущих инструментов на основе исследования напряженно-деформированного состояния и прочности сменных твердосплавных пластин: дисс. докт. тех. наук: 05.03.01. – Томск, 2003 – 363 с.

55 Artamonov E.V. Extending the Life of Replaceable Cutting Plates in Composite Tools / E.V. Artamonov, M.O. Chernishov, T.E. Pomigalova, D.V. Vasil'ev // Russian Engineering Research. – 2015. – Vol. 35. – № 1. – P. 61–63.

56 Артамонов Е.В. Повышение работоспособности сменных режущих пластин сборных инструментов / Е.В. Артамонов, М.О. Чернышов, Т.Е. Помигалова, Д.В. Васильев // СТИН – 2014. – № 7. – С. 19–21.

57 Артамонов Е.В. Модель разрушения и прочности режущих твердосплавных элементов сборных сверл / Е.В. Артамонов, М.О. Чернышов // Омский научный вестник. Серия приборы, машины и технологии. – 2014. – № 1 (127) – С 44–46.

58 Артамонов Е.В. Повышение эффективности обработки корпуса шиберной заглушки путем применения разработанной конструкции сборного сверла / Е.В. Артамонов, М.О. Чернышов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014. – № 4. – С. 86–91.

59 Обработка отверстий. Техническое руководство 2020.1 03334951, ST20196722 RU, © SECO TOOLS AB, 2020.

60 New catalogues from HORN. Сверление и развертывание отверстий. Hartmetall Werkzeugfabrik Paul HORN GmbH 2019.

61 Dormer Pramet. Каталог инструмента. Dormer Pramet 2019 г.

62 Баранчиков В.И. Справочник конструктора-инструментальщика / Г.В. Боровский, Ю.В. Гаврилов и др. / под общ. ред. Гречишников В.А. и Кирсанова С.В. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. :Машиностроение, 2006. – 542 с.

63 Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента / С.Н. Григорьев – М. : Машиностроение, 2011. – 368 с.

64 Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М. : Высш. Шк., 1985. – 304 с.

65 Сахаров Г.И., Арбузов О.В., Боровой Ю.Л., Гречишников В.А., Киселёв А.С. Металлорежущие инструменты. – М. : Машиностроение, 1989. – 328 с.

66 Криворучко Д.В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография / Д.В. Криворучко, В.А. Залого / под общ. ред. В.А. Залого. – Сумы: Университетская книга, 2012. – 496 с.

67 Розенберг Ю. А. О процессе стружкообразования при резании / Ю. А. Розенберг // Известия Томского политехнического университета. – Томск: Томский политехнический институт, 2002. – Вып. 1. – Т. 305. – С. 51–53.

68 Microstructure-Mechanics Interactions in Modeling Chip Segmentation during Titanium Machining / R. Shivpuri, J. Hua, P. Mittal, A. K. Srivastava // Annals of the CIRP: Manufacturing Technology. –Vol. 51. – № 1. – 2002. – P. 71–74.

69 Шамарин Н.Н., Подгорных О.А. Безвершинные режущие инструменты // VII Международная научно-практическая конференция: Инновационные технологии в машиностроении сборник трудов. – 2016. – С. 198–200.

70 Алимагомедова Н.Э., Исагаджиев И.А. Основные направления по совершенствованию и использованию осевого инструмента // Международная научно-практическая конференция: Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности. – 2018. – С. 11–13.

71 Таскарина А.Ж., Касенов А.Ж., Маздубай А.В. Физические явления в зоне резания при обработке отверстий сборной резцовой развёрткой // Вестник СемГУ имени Шакарима. – 2018. – № 3. – С. 72–77.

72 Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К. Конструкции металлорежущих инструментов. В сборнике: Инновационные технологии в машиностроении сборник трудов VII Международной научно-практической конференции // Юргинский технологический институт Томского политехнического университета. – 2016. – С. 123–126.

73 Боярский В.Г., Сихимбаев М.Р., Шеров К.Т., Сихимбаева Д.Р. Новые конструкции металлорежущего инструмента // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11–5. – С. 722–726.

74 Sandvik Coromant becomes new ISTMA global partner // Advanced Materials & Processes. ASM Int. Aug 2008. – Vol. 166. – Issue 8. – P. 19–19.

75 Cep R., Janasek A., Sliva A., Neslusan M., Binder M. Experimental tool life tests of indexable inserts for stainless steel machining // Tehnicki vjesnik-technical gazette. Dec 2013. – Vol. 20. – Issue 6. – P. 933–940.

76 Filippov A.V., Shamarin N.N., Podgornykh O.A., Chazov P.A. Cross section of the cut layer in oblique single-edge boring by a radial cutter // Russian Engineering Research. – 2017. – Vol. 37. – Issue 4. – P. 367–371.

77 Dudak N., Taskarina A., Kasenov A., Itybaeva G., Mussina Z., Abishev K., Mukanov R. Hole machining based on using an incisive built-up reamer // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2017. – Vol. 18. – Issue 10. – P. 1425–1432.

78 Dudak N.S., Itybaeva G.T., Musina Z.K., Kasenov A.Z., Taskarina A.Z. A new pass-through lathe cutter // Russian Engineering Research. – 2014. – Vol. 34. – Issue 11. – P. 705–707.

79 Borovskii V.G. Neginskii E.A., Ott O.S., Maslov A.R. Drilling of Hard Rock by Means of Polycrystalline Diamond Inserts. Russian Engineering Research, 1 January 2018. – Vol. 38. – Issue 1. – P. 33–35.

80 Dudak N.S., Kasenov A.Z., Musina Z.K., Itybaeva G.T., Taskarina A.Z. Processing of holes with a reamer-broach // Life Science Journal. – 2014. – Vol. 11. – Issue 10s. P. 282–288.

81 Berezyuk V.G., Kuzembayev S.B., Sherov K.T., Sikhimbayev M.R., Alyzhanov M.K., Mishnev S.A., Mazdubay A.B., Grinevich I.I.; Sherov A.K.; Sikhimbayeva D.R. Increase of precision of casting blocks by applying acoustical oscillations in gas-impulsive moulding // Journal of Vibroengineering. – 2015. – Vol. 17. – Issue 5. – P. 2178–2186.

82 Пат. № 2539255 Российская федерация, МПК В23В 51/00. Сборное сверло с режущими пластинами / Е.В. Артамонов, М.С. Остапенко, М.О. Чернышов; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный нефтегазовый университет (RU). – №2013155436; заявл. 12.12.2013; опубл. 20.01.2015. Бюл. №2.

83 Артамонов Е.В. Проблемы прочности и работоспособности сборных сверл. / Е.В. Артамонов, А.Ю. Свирид, М.О. Чернышов // Новые материалы, неразрушающий контроль и наукоемкие технологии в машиностроении:

материалы VI научно-технической интернет - конференции с международным участием / отв. ред. Р.Ю. Некрасов. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – С. 3–7.

84 Bakanov A.A. Experimental research of cutting force on the modular drill with replaceable multiface plates // The twelfth International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists «Modern Techniques and technologies» (МТТ'2007), Tomsk, Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: TPU Press, 2007. – P. 42–44.

85 Баканов А.А., Коровин Г.И. Совершенствование конструкции сборного сверла со сменными многогранными пластинами // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2007. – № 2 (35). – С. 31–32.

86 Petrushin S. On the Design of Composite Active Part of Cutting Tools / S. I. Petrushin, S. V. Gruby, A. A. Galeeva // Applied Mechanics and Materials Scientific Journal. – 2015. – Vol. 770: Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering. – P. 310–313.

87 Tounsi N., Vincenti J., Otho A. et al. From the basic mechanics of orthogonal metal cutting toward the identification of the constitutive equation // Int. J. Mach. Tools Manuf. – 2002. – Vol. 42. – № 12. – P. 1373–1383.

88 Li B., Wang X., Hu Y., et al., Analytical prediction of cutting forces in orthogonal cutting using unequal division shear-zone model // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2011. – Vol. 54. – P. 431–443.

89 Heisel U., Storchak M., Krivoruchko D.V. et al. Modeling of interaction processes in cutting, Proc. CIRP 2nd Int. Conf. «Process Machine Interactions» Vancouver, 2010. – № 6. – P. 10–11.

90 Инновационный патент Республики Казахстан № 20211 на изобретение. Способ и инструмент для изготовления отверстий в сплошном материале / Дудак Н.С., Тастенов Е.К.; опубл. 17.11.2008. Бюл. № 11. – 15 с.: ил.

91 Инновационный патент Республики Казахстан № 22032 на изобретение. Новый способ и резцовая головка для получения отверстий точением / Дудак Н.С.; опубл. 15.12.2009, Бюл. № 12. – 14 с.: ил.

92 Дудак Н.С., Янюшкин А.С. Способ и резцовая головка для высокопроизводительного торцового точения отверстий // Системы. Методы. Технологии. – 2011. – № 9. – С. 78–86.

93 Дудак Н. С., Муканов Р. Б., Мендебаев Т. М., Касенов А. Ж., Итыбаева Г.Т. Обработка отверстий сборной резцовой головкой // Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей – 2017. – Т. 1. – № 2 (78). – С. 57–61.

94 Дудак Н.С., Мендыбаев Т.М., Касенов А.Ж Усовершенствование конструкции резцовой головки // Материалы Международной научной конференции молодых учёных, магистрантов, студентов и школьников «XVI Сатпаевские чтения». – Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2016. – С. 152–155.

95 Mukanov R.B., Kasenov A. Zh., Itybayeva G. T., Musina Zh. K., Abishev K.K., Vykov P.O. Face Turning of Holes // Russian Engineering Research, 20 May 2019. – Vol. 39. – Issue 1. – P. 75–78.

96. Муқанов Р.Б., Касенов А.Ж., Мендебаев Т. М., Абишев К.К., Муқанова А., Конструкции резцовых головок для обработки отверстий // Вестник ВКГТУ. – 2018. – № 2. – С. 136–138.

97 Мендебаев Т. М., Муқанов Р. Б., Дуновски Ж., Касенов А. Ж. Сборная резцовая головка с твёрдосплавными пластинами разной ширины // Вестник ПГУ. – 2018. – № 2 – С. 212–221.

98 Дудак Н.С., Мендебаев Т.М., Итыбаева Г.Т., Касенов А.Ж., Мусина Ж.К., Муқанов Р.Б., Таскарина А.Ж. Сборная резцовая головка для высокопроизводительного торцового точения отверстий // Патент № 33140. – опубли. 08.10.2018. – Бюл. № 37.

99 ГОСТ 8161-75 (СТ СЭВ 1667-79) Рельсы железнодорожные типа Р65. Конструкция и размеры.

100 ГОСТ 31842-2012 (ИСО 16812:2007) Межгосударственный стандарт нефтяная и газовая промышленность. теплообменники кожухотрубчатые.

101 Электронный марочник российских сталей [https://www.metalinfo.ru/ru/russteel/search?keywords=90%D0%A5%D0%90%D0%A4&mode=1&capcha\\_f=77792](https://www.metalinfo.ru/ru/russteel/search?keywords=90%D0%A5%D0%90%D0%A4&mode=1&capcha_f=77792)

102 ГОСТ 25557-2006 (ИСО 296:1991). Межгосударственный стандарт конусы инструментальные. Основные размеры.

103 ГОСТ 19077-80. Пластины опорные сменные многогранные твёрдосплавные квадратной формы с задним углом. Конструкция и размеры.

104 Корендясев Г.К. О конечно-элементном моделировании процесса обработки металлов резанием (часть 2) // Вестник научно-технического развития. – 2015. – № 3 (91).

105 Муқанов Р.Б., Мендебаев Т.М., Касенов А.Ж. Проектирование сборной резцовой головки с применением САД/САЕ систем // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Инновации в современной науке» Прага, 30 ноября 2019. – С. 25–36.

106 Rakishev A., Sherov K., Donenbayev B., Sovet N. Studying the rigidity of parts of rotational-frictional tool within NX CAE // Наука и техника Казахстана – 2019. – № 3.

107 Louhichi B., Abenhaim G.N., Tahan A.S. CAD/CAE integration: updating the CAD model after a FEM analysis // International journal of advanced manufacturing technology. Jan 2015. – Vol. 76. – Issue 1–4. – P. 391–400.

108 Kasenov A.Zh., Zhanbulatova L.D., Aidarkhanov D.A. Applications in engineering // Наука и техника Казахстана – 2016. – № 3–4 – С. 75–81.

109 Laporte S., K'Nevez J.Y., Cahuc O., Darnis P. Phenomenological model for drilling operation // International journal of advanced manufacturing technology. – 2009. – Vol. 40. – Issue 1–2. – P. 1–11.

110 Jiang Y.J. The modeling of thread-rolling die-plates based on the «design table» functions in CAD/CAE/CAM // Mechanical and electronics engineering III, PTS 1–5. Applied Mechanics and Materials. – Part: 1–5. – 2012. – Vol. 130–134. – P. 499–503.

111 Таскарина А. Ж., Мендебаев Т. М., Дудак Н. С., Касенов А. Ж. Планирование экспериментальных исследований обработки отверстий сборной

резцовой головкой // Сборник тезисов международной научно-практической конференции «Инновационные технологии, оборудование и материалы в машиностроении» (1–2 ноября 2012 г.). – Алматы: КазНТУ, 2012. – С. 152–157.

112 Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М. : Наука, 1976. – 280 с.

113 Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – Т. 2. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2001. – 944 с.

114 Видмаер А. Э., Сорокин А. Н., Дахно В. А. Применение теории планирования эксперимента при испытаниях деталей машин: методические указания для выполнения УИРС по дисциплине «Детали машин». – Алма-Ата: РУМК, 1987. – 23 с.

115 [http://stanki-katalog.ru/sprav\\_400v.htm](http://stanki-katalog.ru/sprav_400v.htm)

116 <https://www.mahr.de/ru>

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Патент на изобретение

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ**  **РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН**

**REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**ПАТЕНТ**  
**PATENT**

№ 33140

**ӨНЕРТАБЫСҚА / НА ИЗОБРЕТЕНИЕ / FOR INVENTION**

 (21) 2017/0315.1  
(22) 19.04.2017  
(15) 24.09.2018

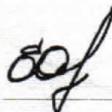
(54) Өнімділігі жоғары тесіктердің шетжағын жонуға арналған жинақталған кескіш бастиек  
Сборная резцовая головка для высокопроизводительного торцового точения отверстий  
Stack-mounted cutter head for an effective face turning aperture

(73) Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің "С. Торайғыров ағындағы Павлодар мемлекеттік университеті" шаруашылық жүргізу құжығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорны (KZ)  
Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Павлодарский государственный университет имени С. Торайғырова" Министерства образования и науки Республики Казахстан (KZ)  
Republican state enterprise on the right of economic conducting «S.Torayghyrov Pavlodar State University» Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (KZ)

(72) Дудак Николай Степанович (KZ)  
Мендебаев Токтасын Мендебаевич (KZ)  
Муканов Руслан Батырбекович (KZ)  
Касенов Асылбек Жумабекович (KZ)  
Итыбаева Галия Тулеубаевна (KZ)  
Мусина Жанара Керейовна (KZ)  
Таскарина Айжан Жумажановна (KZ)

Dudak Nikolay Stepanovich (KZ)  
Mendebaev Toktasyн Mendebaevich (KZ)  
Mukanov Ruslan Batyrbekovich (KZ)  
Kassenov Asylbek Zhumabekovich (KZ)  
Itybaeva Galiya Tuleubaevna (KZ)  
Mussina Zhanara Kereyovna (KZ)  
Taskarina Aizhan Zhumazhanovna (KZ)



  
«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры  
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
Director of RSE «National institute of intellectual property»

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
(продолжение)



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Акт внедрения ТОО «ПТПЗ»

**Утверждаю**

Заместитель директора по  
производству Кулетов М.О.  
ТОО «Павлодарский  
трубопрокатный завод»

#### АКТ

о внедрении реализации научных результатов, полученных в диссертации Муканова Руслана Батырбековича на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071200 – Машиностроение на тему: «Разработка сборной и комбинированной конструкций резцовых головок для торцового точения отверстий» в производство ТОО «Павлодарский трубопрокатный завод».

Комиссия в составе председателя Кулетова М.О, главного энергетика Лавриненко В.Г, инженера-механика Крупенков М.Ю., мастера участка Алимова Е.М. и мастеров начальника отдела снабжения Сатвалдинова Б.К., составила настоящий акт о том, что переданы материалы исследований по вышеназванной теме и в период с 10 по 20 июля 2019 г. были произведены испытания предложенных конструкций сборной и комбинированной резцовых головок.

В результате производственных испытаний было установлено, что конструкции сборной и комбинированной резцовых головок обладают стойкостью в среднем на 25-30% большей, чем сверла базовой конструкции. Кроме того, улучшилось качество поверхности получаемых отверстий по параметру шероховатости порядка на 20-30%.

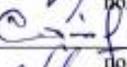
На основании вышеизложенного комиссия признает, что применение предложенных конструкций сборной и комбинированной резцовых головок значительно повышает их работоспособность и улучшает качество обработанной поверхности.

Председатель комиссии

 Кулетов М.  
подпись, Ф.И.О.

Члены комиссии

 Крупенков М.Ю.  
подпись, Ф.И.О.

 Сатвалдинов Б.К.  
подпись, Ф.И.О.

 Алимов Е.М.  
подпись, Ф.И.О.

 Лавриненко В.Г.  
подпись, Ф.И.О.



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Акт внедрения в учебный процесс

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
ПАВЛОДАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. С.ТОРАЙГЫРОВА**

**СОГЛАСОВАНО**  
Проректор по научной работе  
и инновациям  
  
Н.Т. Ержанов  
«  »    20   г.

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по академической  
работе  
  
П.О. Быков  
«  »    20   г.

АКТ

о внедрении завершённой исследовательской работы в учебный процесс

Учебно-методический совет факультета металлургии, машиностроения и транспорта в составе председателя зам. декана по учебной работе Тусупбековой М. Ж. и членов к.т.н., ассоц. профессора Жунусова А.К., к.т.н., ассоц. профессора Мусиной Ж.К., старшего преподавателя Ставровой Н.Д. составили настоящий акт о том, что в 2017-2018 учебном году на кафедре машиностроения факультета металлургии, машиностроения и транспорта внедрена в дисциплину «Проектирование и производство металлорежущих инструментов» завершённая исследовательская работа на тему: «Проектирование и разработка сборных и комбинированных резцовых головок» (авторы: к.т.н., ассоц. профессор Касенов А.Ж., докторант Муканов Р. Б.), выполненная в рамках выполнения научно-исследовательского проекта по программе «Жас ғалым».

Форма внедрения (наименование нового курса, спецкурса, раздела лекций, лаб. работы, установки, учебного пособия, программное обеспечение и т.д.)	Объем внедрения (количество работ, лекц., час)	Наименование внедрения (краткое содержание внедренной работы, с указанием публикаций, заявок, докладов на конференциях)
Методика расчета в программе АПМ WinMachine	1 программа	<p>Разработана программа в системе АПМ WinMachine, позволяющая на стадии проектирования определять основные параметры сборных резцовых головок, тем самым уменьшая время на проектирование и изготовление конструкций.</p> <p>Научной новизной является программа расчёта конструкторских и технологических параметров сборных резцовых головок в системе АПМ WinMachine с целью обеспечения оптимальных параметров для обеспечения точности обработки.</p> <p>Опубликованы статьи по использованию системы АПМ WinMachine в курсовом и дипломном проектировании:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Дудак Н.С. Касенов А.Ж., Муканов Р.Б., Таскарина А.Ж. Применение системы АРМ WinMachine при проектировании металлорежущих инструментов Материали за X Международна научна практична конференция «Ключови въпроси в съвременната наука - 2014» 17 - 25 април 2014 г.</li> </ul>

## ПРИЛОЖЕНИЕ В (продолжение)

	Том 37 технологии. София «Бял Град-БГ» ООД 2014 – 47-50; - Дудак Н.С, Мендебаев Т.М, Касенов А.Ж., Муканов Р.Б. Усовершенствование конструкции резцовой головки Материалы Международной научной конференции молодых учёных, магистрантов, студентов и школьников «XVI Сатпаевские чтения». – Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2016. С. 152-155
--	--

К акту приложены:

- решение кафедры;
- программа расчёта конструкторских и технологических параметров сборных резцовых головок в системе АПМ WinMachine.

Материалы к настоящему акту рассмотрены на заседании УМС факультета протокол № 1 от «28» 08 2017 г.

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ М.Ж. Тусупбекова

Члены комиссии \_\_\_\_\_ А.К. Жунусов

\_\_\_\_\_ Ж.К. Мусина

\_\_\_\_\_ Н.Д. Ставрова

Декан факультета \_\_\_\_\_ К.К. Абишев

«10» 10 2017 г.

Директор департамента науки и инновации \_\_\_\_\_ А.К. Сви́дерский

Начальник учебно-методического отдела \_\_\_\_\_ А.Б. Темиргалиева