

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа ИШНПТ
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Повышение размерной точности и качества поверхности глубоких отверстий при сверлении ружейными свёрлами на многооперационных станках

УДК 621.952.8-114-021.416

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Шевчук Антон Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. ОМ ИШНПТ	Червач Ю.Б.	канд. техн. наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. ОСГН ШБИП	Конотопский В.Ю.	канд. экон. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп. ООД ШБИП	Романова С.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. ОМ ИШНПТ	Арляпов А.Ю.	канд. техн. наук		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШНПТ

Направление подготовки: 15.04.01 Машиностроение

Уровень образования: Магистратура

Отделение Материаловедения

Период выполнения: весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.19
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.05.19	Теоретическая часть работы + анализ технологических решений	50
15.05.19	Разработка рекомендаций по применению методов решения проблемы	40
30.05.19	Устранение недочетов в работе	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. ОМ ИШНПТ	Червач Ю.Б.	канд. техн. наук		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. ОМ ИШНПТ	Арляпов А.Ю.	канд. техн. наук		

**Планируемые результаты обучения по ООП 15.04.01 Машиностроение
(магистратура)**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин
P2	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/CAM/CAE продуктов.
P3	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники
P5	Готовность обеспечивать прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность
P6	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента в качестве предприятия
Универсальные компетенции	
P7	Готовность следовать кодексу профессиональной этики и социальным нормам ведения инженерной деятельности
P8	Готовность к непрерывному самосовершенствованию в инженерной педагогической и исследовательской деятельности и способность критически переосмысливать накопленный опыт

P9	Способность организовывать и эффективно управлять работой коллектива, состоящего из специалистов различных направлений и квалификаций, а также готовность нести ответственность за результаты выполненной работы
P10	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной среде, презентовать и защищать результаты инженерной и исследовательской деятельности, в том числе и на иностранном языке

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШНПТ

Направление подготовки: 15.04.01 Машиностроение

Отделение Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись)

(Дата)

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Шевчук Антон Сергеевич

Тема работы:

**Повышение размерной точности и качества поверхности глубоких отверстий при сверлении
ружейными свёрлами на многооперационных станках**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

13.05.19; №3658/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

1.06.2019

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

– Монография Кирсанов С. В. «Обработка
глубоких отверстий»;

	<ul style="list-style-type: none"> – Каталоги ружейных свёрл фирм Botek (Германия), Unitac (Япония), Iscar (Израиль) – Результаты производственных испытаний ружейных свёрл Кирсанов С.В., Бабаев А.С.
<p align="center">Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Современные конструкции ружейных свёрл, а также современное оборудование для сверления глубоких отверстий в условиях мелкосерийного и единичного производства; – Параметры размерной точности и качества поверхности глубоких отверстий; – Процесс сглаживания неровностей поверхности отверстий при сверлении ружейными свёрлами; – Основные виды износостойких покрытий, а также познакомиться с технологией их нанесения; – Эксперимент по выявлению зависимостей диаметральной точности и шероховатости поверхности глубоких отверстий от режимов резания, припуска под рассверливание и износостойких покрытий;
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Исследовательский	Червач Ю.Б.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	Романова С.В.
Исследовательский (на английском языке)	Ажель Ю.П.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Исследовательский	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. ОМ ИШНПТ	Червач Ю.Б.	канд. техн. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Шевчук А.С.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 156 страниц, 58 рисунков, 19 таблиц, 45 формул, 52 источника, 11 приложений.

Ключевые слова: глубокое сверление, ружейное сверло, многооперационный станок, размерная точность, шероховатость поверхности.

Объектом исследования является (ются) сверление глубоких отверстий ружейными свёрлами на многооперационных станках.

Предметом исследования является (ются) диаметральная точность и качество поверхности глубоких отверстий, полученных ружейными свёрлами на многооперационных станках.

Цель работы – выявление зависимостей диаметальной точности и качества поверхности глубоких отверстий от режимов резания, величины припуска под рассверливание, применения износостойких покрытий.

В процессе исследования проводились изучение современных конструкций ружейных свёрл, а также современного оборудования для сверления глубоких отверстий в условиях мелкосерийного и единичного производства; изучение параметров размерной точности и качества поверхности глубоких отверстий; изучение процессов сглаживания неровностей поверхности отверстий при сверлении ружейными свёрлами; изучение основных видов износостойких покрытий, а также ознакомление с технологией их нанесения; выполнение эксперимента по выявлению зависимостей диаметальной точности и шероховатости поверхности глубоких отверстий от режимов резания, припуска под рассверливание и износостойких покрытий.

В результате исследования были выявлены и сформулированы рекомендации для сверления глубоких отверстий ружейными свёрлами на многооперационных станках в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: размерная точность глубоких отверстий IT 6-8; шероховатость поверхностного слоя глубоких отверстий Ra 0,08...1,25 мкм; увод осей глубоких отверстий от оси вращения шпинделя станка 0,01...0,03 мм на 100 мм длины.

Степень внедрения: Рекомендуется к использованию на машиностроительных предприятиях для многооперационных станков с насосной станцией для подачи СОЖ высокого давления.

Область применения: Машиностроительные предприятия различных областей и типов производств.

Экономическая эффективность/значимость работы Значимость и экономическая эффективность достигается за счёт применения специального инструмента на многооперационных станках в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	13
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	15
1.1 СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ РУЖЕЙНЫХ СВЁРЛ	16
1.1.1 Общие сведения	16
1.1.2 Рабочая часть	19
1.1.3 Стебель	24
1.1.4 Хвостовик	27
1.2 СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ В ЕДИНИЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	28
1.3 ПАРАМЕТРЫ РАЗМЕРНОЙ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ	35
1.3.1 Параметры размерной точности	35
1.3.1.1 Размеры	35
1.3.1.2 Отклонения формы отверстия	35
1.3.1.2.1 Отклонения формы в поперечном сечении	35
1.3.1.2.2 Отклонения формы в продольном сечении	37
1.3.1.3 Отклонения расположения отверстия	40
1.3.2 Параметры качества поверхности глубоких отверстий	41
1.5 СГЛАЖИВАНИЕ НЕРОВНОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ РУЖЕЙНЫМИ СВЁРЛАМИ	44
1.6 ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ РУЖЕЙНЫХ СВЁРЛ	49
1.6.1 Общие сведения	49
1.6.2 Технология нанесения покрытий	50
2. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	54
2.1 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА	55
2.1.1 Оборудование	55
2.1.2 Инструмент	56
2.1.2.1 Режущий	56
2.1.2.2 Измерительный	57

2.1.2.2.1 Измерение диаметров отверстий	57
2.1.2.2.2 Измерение шероховатости поверхности отверстий	59
2.1.3 Смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ).....	60
2.1.4 Заготовки	61
2.1.5 Схема и режимы обработки	63
2.2 ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ДИАМЕТРАЛЬНУЮ ТОЧНОСТЬ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ	67
2.2.1 Исследование диаметральной точности обработанных отверстий.....	67
2.2.1.1 Сверление дюралюминия Д16Т	67
2.2.1.2 Сверление стали 45	68
2.2.1.3 Сверление стали 40Х13	69
2.2.2 Исследование шероховатости поверхности обработанных отверстий.....	70
2.2.2.1 Сверление дюралюминия Д16Т.....	70
2.2.2.2 Сверление стали 45	71
2.2.2.3 Сверление стали 40Х13	72
2.3 РАССВЕРЛИВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ РУЖЕЙНЫМИ СВЁРЛАМИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ.....	73
2.4 ВЛИЯНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ДИАМЕТРАЛЬНУЮ ТОЧНОСТЬ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ.....	75
2.4.1 Исследование диаметральной точности обработанных отверстий.....	76
2.4.2 Исследование шероховатости поверхности обработанных отверстий.....	77
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	78
3.1 ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТ	81
3.1.1 Продолжительность этапов работ	82
3.2. РАСЧЁТ СМЕТЫ ЗАТРАТ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОЕКТА	92
3.2.1 Расчёт затрат на материалы	92
3.2.2 Расчёт заработной платы.....	93
3.2.3 Расчёт затрат на социальный налог.....	95
3.2.4 Расчёт затрат на электроэнергию	95
3.2.4 Расчёт амортизационных расходов	97

3.2.5 Расчёт расходов, учитываемых непосредственно на основе платёжных (расчётных) документов (кроме суточных)	99
3.2.6 Расчёт прочих расходов.....	99
3.2.7 Расчёт общей себестоимости разработки	99
3.2.8 Расчёт прибыли	100
3.2.9 Расчёт НДС	100
3.2.9 Расчёт цены проекта	101
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	102
ВВЕДЕНИЕ.....	105
4.1 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	106
4.2 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	108
4.2.1 Метеоусловия	109
4.2.2 Вредные вещества	110
4.2.3 Производственный шум	111
4.2.4 Освещенность.....	112
4.2.5 Электромагнитные поля	112
4.2.6 Факторы электрической природы	114
4.2.7 Пожароопасность	115
4.3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	115
4.4 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
5. SECTION IN ENGLISH.....	118
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	119
5.1 MODERN DESIGNS OF GUN DRILLS	120
5.1.1 Overview	120
5.1.2 Working part	122
5.1.3 Stem	126
5.1.4 Shank.....	128
5.2. ISSUE THEORETICAL BASIS	130
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	141

ПРИЛОЖЕНИЕ Б	146
ПРИЛОЖЕНИЕ В	147
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	148
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	149
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	150
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	151
ПРИЛОЖЕНИЕ З	152
ПРИЛОЖЕНИЕ К	153
ПРИЛОЖЕНИЕ Л	154
ПРИЛОЖЕНИЕ М	155

Введение

В настоящее время в ряде отраслей машиностроения (авиационная промышленность, приборостроение, нефтегазовое машиностроение, судостроение и др.) возникает потребность в сверлении глубоких и точных отверстий. К последним относятся отверстия с отношением длины к диаметру более 10, размерной точностью IT 6-8, шероховатостью поверхностного слоя Ra 0,08...1,25 мкм и уводом осей отверстий от оси вращения шпинделя станка 0,01...0,03 мм на 100 мм длины [1, 2, 3, 4].

Получают такие отверстия чаще всего сверлением инструментами с определённой базированием (свёрла ружейные, БТА, эжекторные и т.п.). Ещё недавно применение инструментов одностороннего резания было экономически эффективно лишь в массовом и крупносерийном производстве. Однако, с появлением многооперационных станков с числовым программным управлением (ЧПУ) ситуация с подавляющим преимуществом массового производства над единичным и мелкосерийным неизбежно угасает [5, 6]. Такое станочное оборудование позволяет применять инструменты с определённой базированием в условиях единичного и мелкосерийного производства [7, 8]. Однако, параллельно с преимуществами такого применения появились и недостатки, связанные с низкой размерной точностью и качеством поверхностного слоя глубоких отверстий, негативно отражающиеся на эксплуатационных характеристиках деталей и накладывающие ряд ограничений на технологический процесс глубокого сверления. Несмотря на большое количество работ, посвящённых глубокому сверлению (М.Г. Арефьев, Л.И. Карпов, С.Г. Кононенко, М.А. Минков, Д.Д. Медведев, Д.В. Кожевников и др.) проблема отсутствия сведений в технической литературе по применению инструментов БТА на многооперационных станках остаётся нерешённой.

В данной работе исследованы технологические возможности ружейных свёрл, предложены рекомендации по эксплуатации на многооперационных станках.

Объектом данного исследования является сверление глубоких отверстий ружейными свёрлами на многооперационных станках.

Предметом исследования является диаметрально точность и качество поверхности глубоких отверстий, полученных ружейными свёрлами на многооперационных станках.

Целью исследования является выявление зависимостей диаметральной точности и качества поверхности глубоких отверстий от режимов резания, величины припуска под рассверливание, применения износостойких покрытий.

Задачи исследования:

1. Изучить современные конструкции ружейных свёрл, а также современное оборудование для сверления глубоких отверстий в условиях мелкосерийного и единичного производства;
2. Изучить параметры размерной точности и качества поверхности глубоких отверстий;
3. Изучить процесс сглаживания неровностей поверхности отверстий при сверлении ружейными свёрлами;
4. Изучить основные виды износостойких покрытий, а также познакомиться с технологией их нанесения;
5. Выполнить эксперимент по выявлению зависимостей диаметральной точности и шероховатости поверхности глубоких отверстий от режимов резания, припуска под рассверливание и износостойких покрытий;
6. Сформулировать и описать результаты эксперимента.

Ружейные свёрла для исследования предоставлены фирмой *Botek* (Германия) и ООО *Трансет* (Санкт-Петербург).

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Современные конструкции ружейных свёрл

1.1.1 Общие сведения

Сверление глубоких отверстий спиральными свёрлами, начиная с глубины $(3...5)D$, где D – диаметр отверстия, становится малоэффективным, а зачастую вообще невозможным. Это объясняется в первую очередь малой жёсткостью инструмента и трудностями подвода смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания и отвода стружки.

Небольшая жёсткость инструмента приводит к уводу осей обработанных отверстий, а также к вибрациям, снижающим точность размеров и качество поверхностного слоя отверстий.

Наиболее эффективным способом уменьшения увода осей отверстий и повышения качества поверхности является способ базирования рабочей части инструмента по обработанной поверхности глубокого отверстия. Для этого в инструменте предусматривают специальное расположение режущих лезвий, при котором, под действием силы резания происходит прижатие рабочей части инструмента к поверхности отверстия. Благодаря этому повышается точность обработки, а за счёт выглаживающего действия направляющих происходит снижение шероховатости поверхности отверстия.

Режущие инструменты, работающие по указанному принципу, относят к инструментам одностороннего резания (с определённой базированием): свёрла ружейные, БГА, кольцевые, эжекторной, расточные инструменты БГА и др. Остальные инструменты, применяемые для получения глубоких отверстий, относят к инструментам без определённости базирования: свёрла перовые спиральные, шнековые и др.

В данной работе в качестве инструмента использовались ружейные свёрла.

Ружейные свёрла обладают следующими преимуществами:

- высокая производительность;
- высокая точность получаемых отверстий $IT\ 7-9$;
- низкая шероховатость получаемых отверстий $Ra\ 0,32\dots 1,25$;
- малый увод осей отверстий $0,01\dots 0,02\ \text{мм}/100\ \text{мм}$;
- простота переточки инструмента;
- возможность нанесения износостойких покрытий на рабочие части сверла.

Ружейное сверло состоит из трёх основных элементов: режущий твердосплавный наконечник (рабочая часть), стальной трубчатый стержень с V-образной наружной канавкой и хвостовик (рисунок 1.1) [1]:

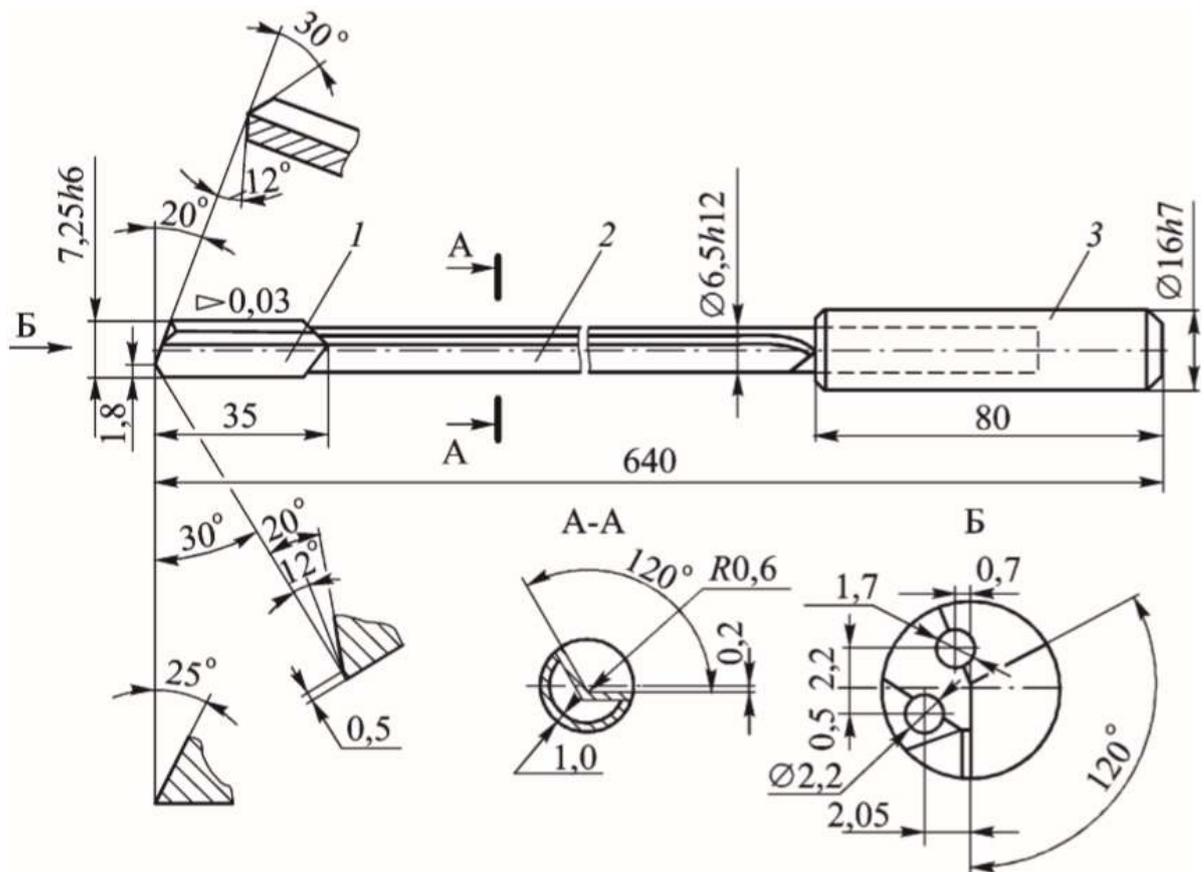


Рисунок 1.1 – Ружейное сверло:

1 – рабочая часть; 2 – стержень; 3 – хвостовик

Принцип работы ружейного сверла достаточно прост. В процессе сверления СОЖ под высоким давлением подаётся в зону резания через канал в

стебле и отверстию в наконечнике. Под действием давления стружка удаляется из зоны обработки по V-образному каналу в стебле инструмента в стружкоприёмник станка (рисунок 1.2) [1]:

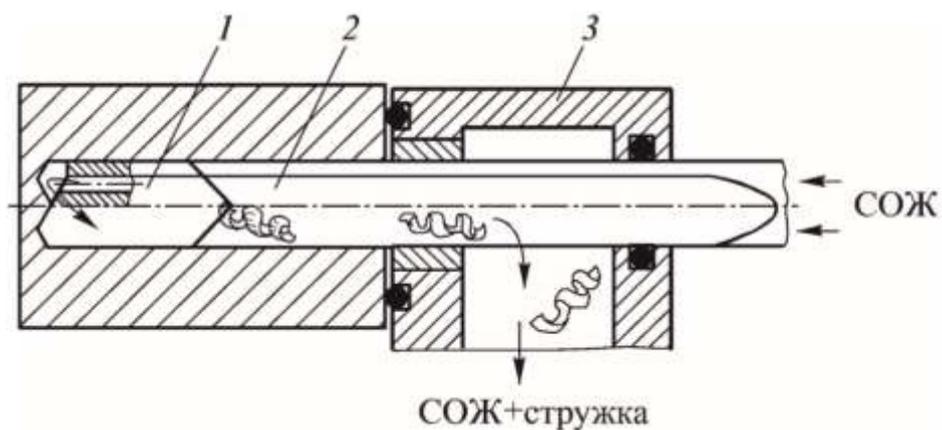


Рисунок 1.2 – Схема сверления глубокого отверстия ружейным сверлом
1 – рабочая часть; 2 – стебель; 3 – стружкоприёмник

В настоящее время в машиностроении применяют ружейные сверла разнообразных конструкций. Их классификацию можно привести по следующим признакам (рисунок 1.3) [1]:

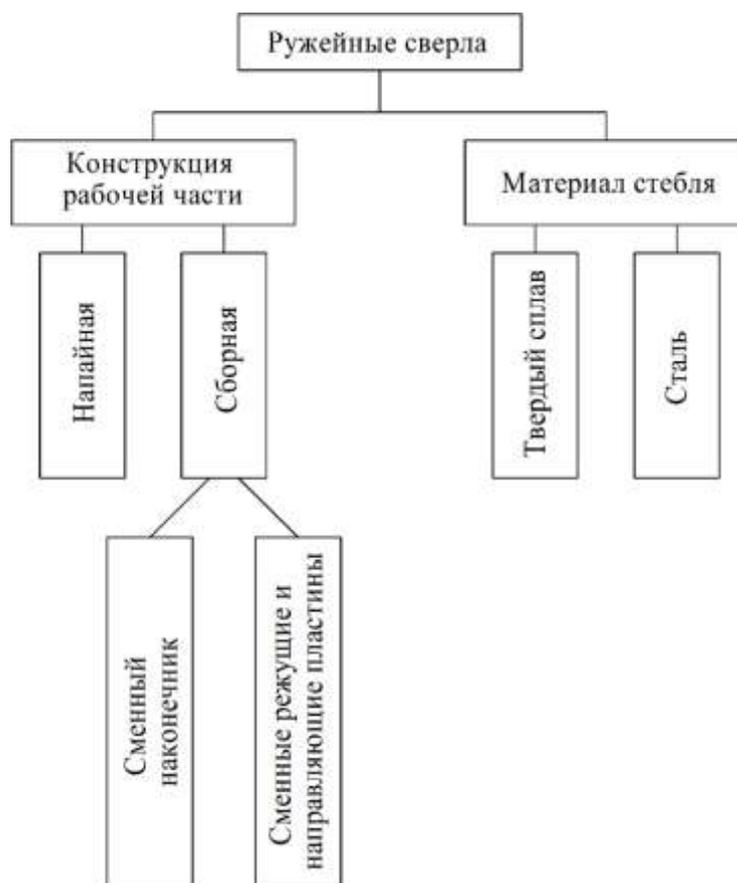


Рисунок 1.3 – Классификация современных конструкций ружейных свёрл

1.1.2 Рабочая часть

Наконечники ружейных свёрл бывают цельными твердосплавными ($d=1,8...30$ мм) (рисунок 1.4, а), сменными твердосплавными ($d=10...20$ мм) (рисунок 1.4, в; рисунок 1.5), а также сборные ($d=16...40$ мм) (рисунок 1.4, б; рисунок 1.6) из стали типа 30ХГСА, оснащённые сменными многогранными пластинами (СМП) из твёрдого сплава. В редких случаях режущие и направляющие твердосплавные СМП припаивают непосредственно на стембель сверла.

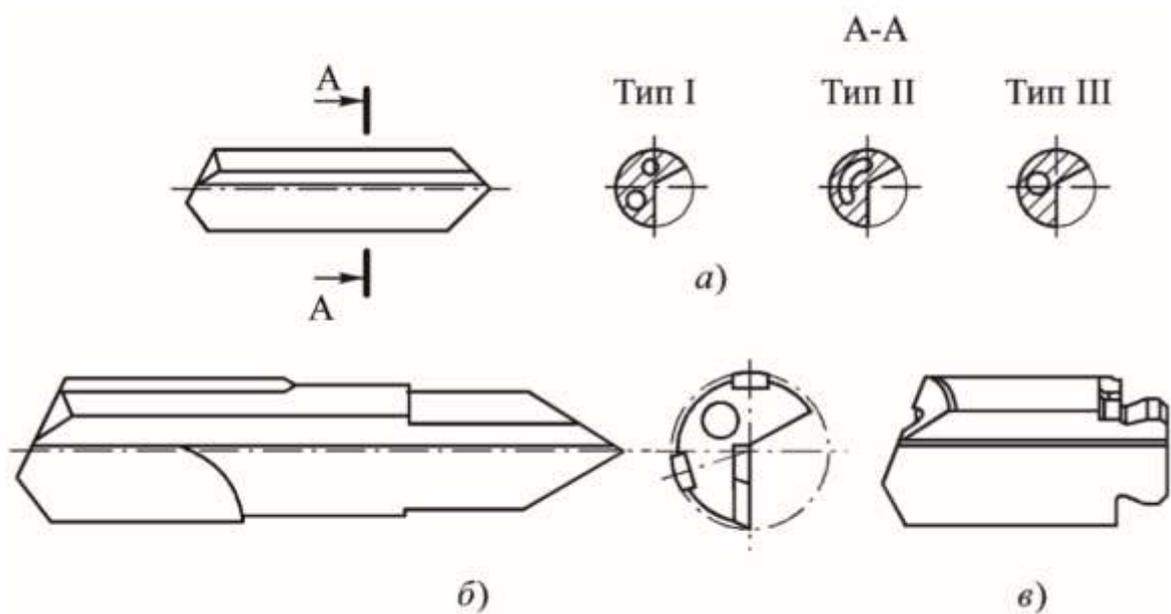


Рисунок 1.4 – Типы наконечников ружейных свёрл

а – цельный твердосплавный; б – сборный, оснащённый напайными твердосплавными пластинами; в – сменный твердосплавный



Рисунок 1.5 – Сборное ружейное сверло со сменным твердосплавным наконечником фирмы *Iscar*

Стоит отметить, что существуют и другие варианты конструкций свёрл с СМП. Например, фирма *Unitac* (Япония) выпускает ружейные сверла с СМП

последние которых имеют оригинальную геометрия, что положительно сказывается на стружкодроблении (рисунок 1.6).

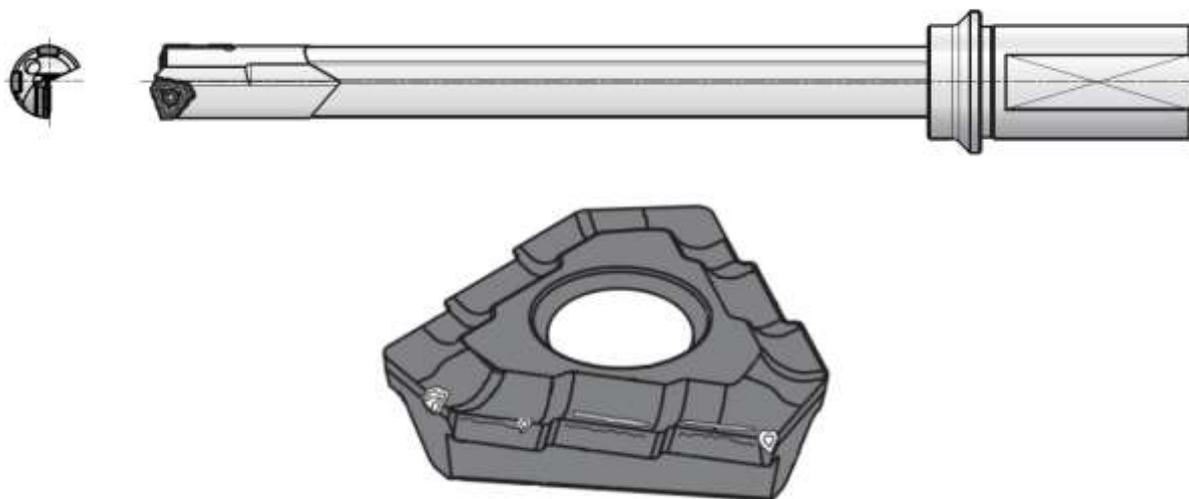


Рисунок 1.6 – Ружейное сверло с СМП фирмы *Unitac*

Соединение со стеблем твердосплавных наконечников осуществляется пайкой припоем ПСрМНц-49 по ТУ 48-1-326-73 или ПСр40 по ГОСТ 19739-74 с применением флюса 284 по ТУ 48-02-62-71 [2], а в случае сборных наконечников соединение получают аргонодуговой сваркой. Для более надёжного соединения наконечники с одной стороны имеют поверхность в форме клина с углом профиля $60...90^\circ$.

Наконечники ружейных свёрл имеют круглые или серповидные отверстия для подачи СОЖ и наружную V-образную канавку для отвода стружки с углом профиля равным 120° .

Основные элементы твердосплавной рабочей части ружейного сверла представлены на рисунке 1.7.

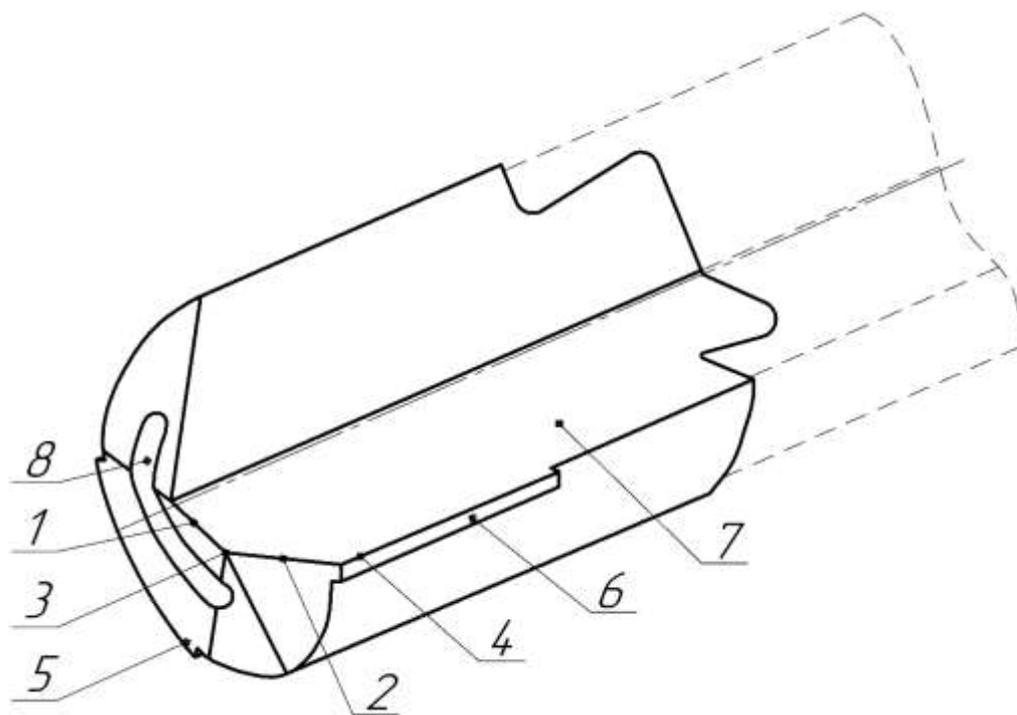


Рисунок 1.7 – Твердосплавный наконечник (рабочая часть) ружейного сверла
 1 – внутренняя часть главной режущей кромки; 2 – наружная часть главной режущей кромки; 3 – вершина; 4 – вспомогательная режущая кромка; 5 – направляющий элемент; 6 – калибрующая ленточка; 7 – V-образная канавка для отвода стружки; 8 – канал для подвода СОЖ

В зависимости от профиля рабочие части ружейных свёрл подразделяются на две основные группы (рисунок 1.8) [1]:

- Стандартные профили:

G – для сверления отверстий высокой точности в большинстве материалов;
C – для сверления отверстий в конструкционных, коррозионностойких сталях и труднообрабатываемых материалах при использовании водных СОЖ.

- Специальные профили:

E – для сверления отверстий невысокой точности в любых материалах;
A – для сверления отверстий невысокой точности в любых материалах при неблагоприятных условиях засверливания;

D – для сверления серого чугуна, пересекающихся или наклонных отверстий.

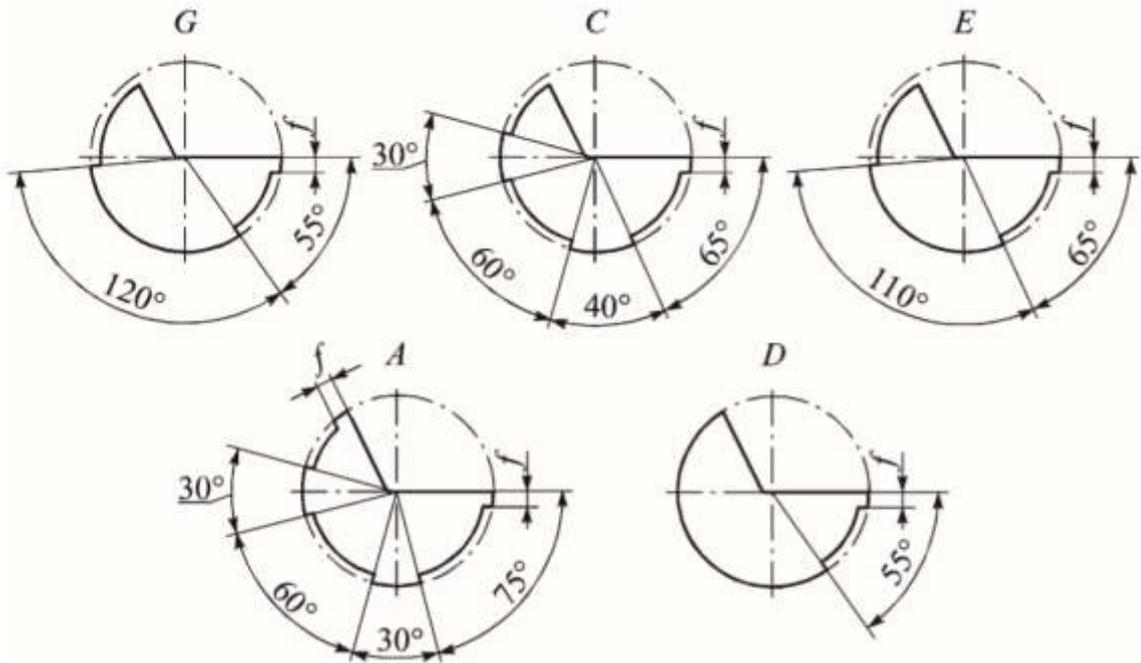


Рисунок 1.8 – Профили рабочих частей ружейных свёрл

Материалом для изготовления рабочей части в нашей стране служит однокарбидный вольфрамокобальтовый твёрдый сплав марок ВК6, ВК6-М, ВК6-ОМ, ВК8. Размер зёрен карбидной фазы составляет 1,3...0,5 мкм. С уменьшением размера зёрен, повышается твёрдость, изгибная прочность, а также уменьшается выкрашивание режущей кромки. Более того, при мелкозернистой структуре появляется возможность получать более острые режущие кромки при заточке, что особенно актуально для мелкогабаритных ружейных свёрл ($d \leq 2$ мм).

Изготавливают твердосплавные наконечники чаще всего прессованием в разъёмных пресс-формах двухстороннего действия (рисунок 1.9) [3]. Отверстия для подачи СОЖ получают либо в процессе прессования, либо прошивают на ультразвуковых станках.

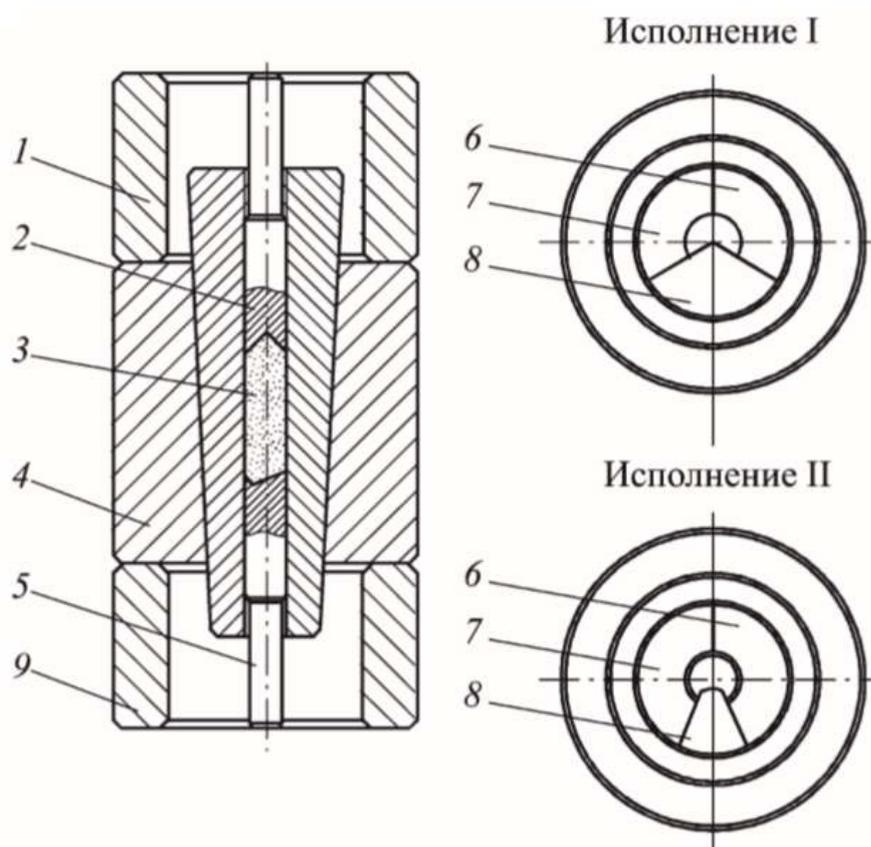


Рисунок 1.9 – Пресс-форма конструкции «ВНИИинструмент» для прессования заготовок твердосплавных наконечников ружейных свёрл:

1, 9 – ограничитель; 2 – верхний пуансон; 3 – заготовка-наконечник;
4 – обойма; 5 – нижний пуансон; 6, 7, 8 – трёхсекционный стакан

1.1.3 Стебель

Стебли для ружейных свёрл могут быть цельными твердосплавными ($d=0,3...12$ мм) или стальными ($d=1,8...30$ мм).

В первом случае наконечник и стебель изготовлены из цельного твердосплавного стержня, который припаян к хвостовику, выпаленному из стали (рисунок 1.10) [1].

К преимуществам такой схемы можно отнести высокую прочность и жёсткость. Благодаря этому эксплуатацию инструмента возможно выполнять на повышенных режимах резания, что положительно сказывается на производительности.

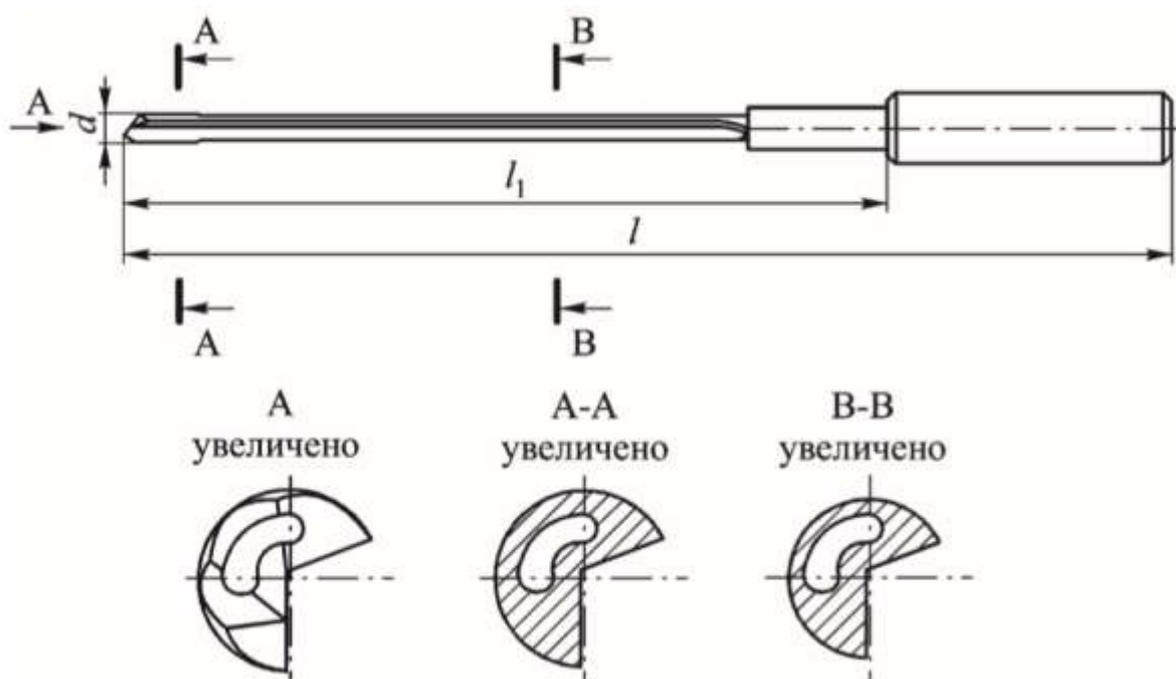


Рисунок 1.10 – Ружейное сверло с твёрдосплавным стеблем

Выпускают ружейные свёрла с твердосплавным стеблем такие фирмы как: *Botek, Guhring, Stock* (Германия), *Iscar* (Израиль), *Tugaloy* (Япония) и др.

Во втором случае свёрла состоят из твердосплавной рабочей части, припаянной к стальному трубчатому стеблю, который, в свою очередь, к хвостовику (рисунок 1.11). В нашей стране такие стебли изготавливают из материалов марок 15ХМ, 20ХМ и др. Фирма *Heller Bremen* (Германия) рекомендует применять вязкие низколегированные улучшаемые хромистолибденовые стали марки 25CrMo4V [4]. В качестве заготовок ОАО «ВНИИинструмент» считает наиболее оптимальным использовать прецизионные трубы по ГОСТ 9567-75 из сталей 30ХГСА или 40ХН2МА [4].

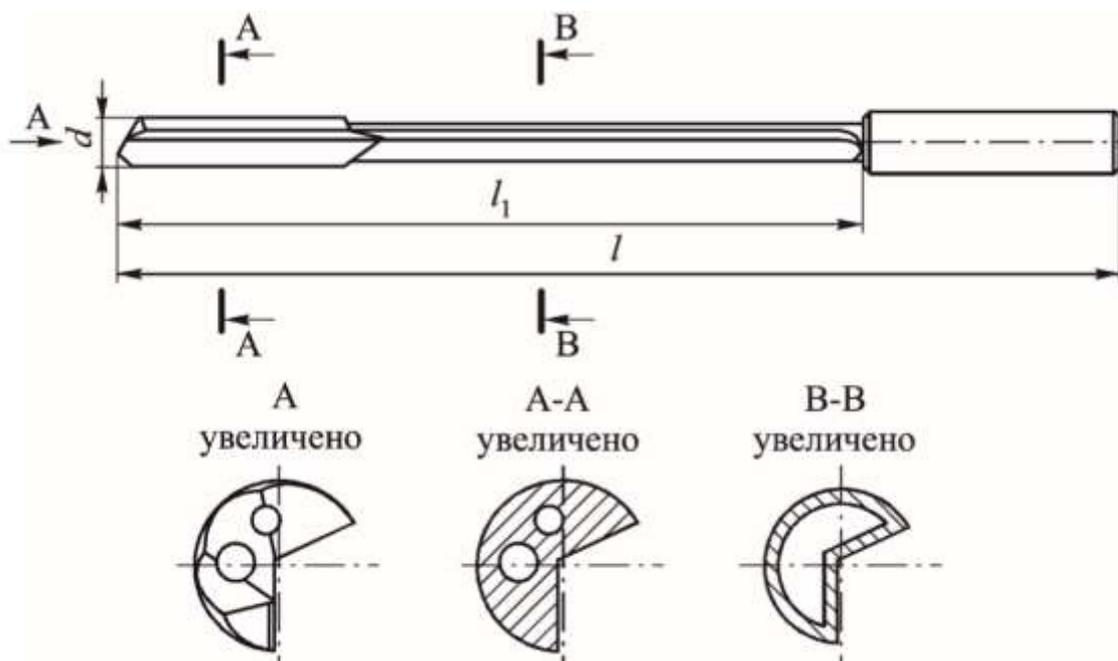


Рисунок 1.11 – Ружейное сверло со стальным стеблем

Выпускают ружейные сверла со стальным стеблем фирмы: *Botek*, *Hammond* (Великобритания), *Guhring*, *Stock* (Германия), *Iscar* (Израиль), *Tungaloy* (Япония) и др.

V-образную канавку получают холодной прокаткой труб. Для исключения «засаливания» алмазных кругов при заточке, канавку по передней поверхности выполняют на 0,2...0,3 мм ниже соответствующей поверхности наконечника.

После закалки на воздухе до 35...40 HRC стебли подвергают многократной рихтовке для обеспечения отклонения от прямолинейности в пределах 0,03...0,08 мм при длине стебля 400...1000 мм соответственно.

Диаметры стеблей должны быть такими, чтобы исключить касания последних об обработанную поверхность отверстия. В соответствии с этим фактом должно выполняться равенство $d_{ст} = 0,92d$, а толщина стенок $S = (0,12...0,15) d_{ст}$.

1.1.4 Хвостовик

С правой стороны стембель ружейного сверла припаивается к хвостовику. В качестве припоя используют ПрМНМц 68-4-2 по ТУ 48-08-476-71, флюс Ф100 по ТУ 48-02-48-70 (70%) и обезвоженная бура по ТУ 48-4-376-75 (30%).

Цилиндрический хвостовик изготавливают из сталей 45, 50 по ГОСТ 1051-73 или сталей 40Х, 45Х по ГОСТ 4543-71 [3].

В зависимости от соотношения диаметров стебля $d_{ст}$ и диаметра хвостовика $d_{хв}$ выбирают различные варианты соединения. Например, фирма Guhring (Германия) предлагает три схемы соединения (рисунок 1.12).

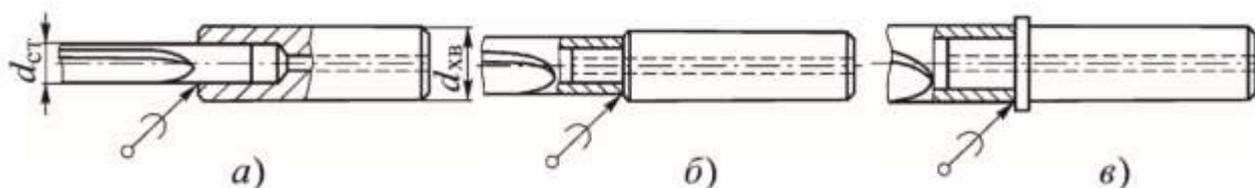


Рисунок 1.12 – Типы паяных соединений стеблей и хвостовиков ружейных свёрл фирмы Guhring (Германия):

$$a) - d_{ст} < d_{хв}; 2 - б) - d_{ст} \approx d_{хв}; 3 - в) - d_{ст} > d_{хв}$$

Обобщая вышесказанное, важно отметить, что несмотря на всё многообразие конструкций ружейных свёрл в нашей стране наибольшее распространение получили именно свёрла со стальным стеблем и напайным твердосплавным наконечником (рисунок 1.11).

1.2 Современное оборудование для сверления глубоких отверстий в единичном производстве

При сверлении глубоких отверстий ружейными свёрлами в единичном производстве используют многооперационные станки [10].

К указанным станкам предъявляются следующие требования [10, 11, 14]:

- мощные насосные станции высокого давления с системами фильтрации и охлаждения СОЖ;
- жёсткие виброустойчивые станины и узлы направления инструмента;
- бесступенчатые приводы подачи инструментов и вращения заготовок;
- контролирующие (расход и давление СОЖ, мощность, потребляемая главным приводом станка, осевая составляющая силы резания и др.) и предохранительные устройства;
- защиту станочника и площадей вокруг станка от брызг СОЖ.

Принцип работы такого оборудования в наиболее распространённом варианте следующий. Сверло вращается и совершает движение подачи. Заготовка может быть, как неподвижна, так и совершать главное движение вращения в противоположном направлении вращению сверла. Непрерывный отвод стружки при сверлении осуществляется благодаря СОЖ, подаваемой в зону резания под высоким давлением 6-15 МПа.

Несмотря на широкую гамму станков специального и специализированного назначения, а также модернизированных универсальных станков в последнее время для сверления глубоких отверстий всё большее применение находят обрабатывающие центры (ОЦ). Вариаций обрабатывающих центров большое множество. Как правило все разновидности многофункциональны и имеют высокую точность обработки глубоких отверстий, несмотря на широкую универсальность. Более того,

определённые ОЦ имеют некоторые отличительные особенности, которые связаны либо с конструкцией станка, либо с функциональными или технологическими принципами. Например, на ОЦ фирмы Tiefbohrtechnik (Германия) возможна реализация так называемой *MMS*-технологии (*Minimal mengenschmierung*), заключающаяся в охлаждении в охлаждении зоны резания небольшим (≤ 80 мл/ч) количеством СОЖ, подаваемой в виде аэрозоли. Благодаря такой технологии исключаются затраты на подготовку и утилизацию СОЖ, очистку последней от стружки и т.д.

Рассмотрим некоторые ОЦ с возможностью обработки глубоких отверстий ружейными свёрлами.

- **Обрабатывающие центры фирмы Mollart серии Matrix (Корея)**

Серия станков представлена 6 координатными ОЦ (рисунок 1.13). Для глубокого сверления используется от 3 до 5 осей. Позволяет сверлить отверстия от 3 до 25 мм и глубиной до 1500 м. Оборудование также позволяет выполнять такие работы как фрезерование, зенкерование, нарезание резьбы резьбонарезным инструментом и т.п. Оборудование оснащено поворотным рабочим столом и имеет возможность поворачивать шпиндельную установку [12].



Рисунок 1.13 – Обрабатывающий центр серии Matrix (Корея)

- **Обрабатывающие центры фирмы Mollart серии FMC (Корея)**

Применяются для сверления глубоких отверстий ружейными свёрлами, фрезерования, нарезания резьбы и для других стандартных операций (рисунок 1.14). Обработка глубоких отверстий возможна в пределах диаметров от 6 до 50 мм и глубиной до 2 000 мм. При этом, смена инструмента и кондукторных втулок происходит автоматически. Оборудование может оснащаться устройствами для измерения геометрических параметров изделий и инструментов. Для повышения производительности центр может быть снабжён палетным столом [12].



Рисунок 1.14 – Обрабатывающий центр серии FMC (Корея)

- **Обрабатывающие центры фирмы AUERBACH серии AX TLW (Германия)**

Оборудование предназначено для глубокого сверления и растачивания отверстий, а также операций стандартного характера (рисунок 1.15). Станок оборудован системами автоматической загрузки и разгрузки деталей. За контролем процесса отвечают эффективные системы отслеживания и управления над подачей, моментом на рабочем шпинделе, давлением и расходом СОЖ. Помимо этого, имеются дополнительные системы безопасности такие как автоматическая система пожаротушения, система

автоматического отключения подачи при перегрузках и др. [13]. Основные технические характеристики станка приведены в приложении Б.



Рисунок 1.15 – Обрабатывающий центр серии AX TLW (Германия)

▪ **Обрабатывающие центры фирмы AUERBACH серии AX1 TLF (Германия)**

Серия станков используется для обработки деталей в широком диапазоне габаритных размеров и масс (рисунок 1.16). Позволяет осуществлять как специальные операции (глубокое сверление ружейными свёрлами), а также стандартные операции обработки резанием (фрезерование, растачивание, нарезание резьбы, развёртывание и др.). Управляющие системы модельные (HEIDENHAIN, SIEMENS, FANUC) [13]. Основные технические характеристики станка приведены в приложении В.



Рисунок 1.16– Обрабатывающий центр серии AX1 TLF (Германия)

Стоит отметить, что некоторые многооперационные станки, не отвечающие требованиям, предъявляемым к станкам, такого рода имеют возможность для частичной модернизации. Такая модернизация позволяет расширить возможности оборудования. В частности, становится возможным выполнять сверление глубоких отверстий ружейными свёрлами.

В последнее время всё больше популярность набирает использование адаптивных специальных модулей (рисунок 1.17), которые расширяют возможности оборудование в несколько раз. Примером такой модели может служить устройство для глубокого сверления TIEFBOHRFIX. Запатентованный компанией AUERBACH адаптивный модуль позволяет трансформировать оборудование в станок для сверления глубоких отверстий [13].



Рисунок 1.17 – Адаптированный модуль TIEFBOHRFIX фирмы AUERBACH (Германия)

Для использования TIEFBOHRFIX с максимальной эффективностью обрабатывающие центры AUERBACH могут быть оснащены дополнительными опциями такими как:

- Адаптированное под глубокое сверление устройство подачи СОЖ;
- Отрегулированный шпиндель для глубокого сверления ружейными свёрлами;
- Сенсорная система и мониторинг частотных колебаний и температур;
- Система минимальной смазки HPM-Breeze.

Преимущества адаптированных модулей:

1. Время установки до 5 мин;
2. Быстрое электрическое подключение закрытого типа;
3. CNC мониторинг процессов при сверлении;
4. Экономия пространства (занимает площадь 1 м²);
5. Монтируется на большинство машин других производителей;
6. Низкая стоимость обслуживания модуля.

Основные технические характеристики данного модуля приведены в приложении Г.

Другим примером частичной модернизации может служить модернизация насосной станции токарного станка с ЧПУ (рисунок 1.18).

- **Токарный станок с ЧПУ фирмы GOODWAY (Тайвань)**



Рисунок 1.18 – Модернизированный токарный станок с ЧПУ модели GLS 1500

Станок оснащён стандартной насосной станцией низкого давления. Суть модернизации заключается в установке насосной станции высокого давления. Благодаря этому появляется возможность подавать СОЖ в зону резания под давлением 6-12 МПа и соответственно сверлить глубокие отверстия ружейными свёрлами [16].

Основные технические характеристики станка приведены в приложении Д.

Некоторые из типовых деталей, изготовленных на вышеперечисленных станках представлены в приложении Е [15].

1.3 Параметры размерной точности и качества поверхности глубоких отверстий

1.3.1 Параметры размерной точности

Размерная точность глубоких отверстий определяется следующими основными геометрическими параметрами:

- а. Размеры – диаметр, длина (глубина – для глухих отверстий);
- б. Отклонения формы отверстия
 - в поперечном сечении – овальность, огранка;
 - в продольном сечении – конусообразность, бочкообразность, седлообразность, изогнутость.
- в. Отклонение расположения отверстия – увод оси отверстия.

1.3.1.1 Размеры

При сверлении глубоких отверстий наиболее важным размерным параметром является диаметр обработанного отверстия. Диаметры просверленных отверстий всегда несколько больше диаметра свёрл. Разность диаметра сверла и просверленного им отверстия принято называть разбивкой отверстия. Разбивка отверстия является одним из самых неблагоприятных размерных дефектов глубоких отверстий.

1.3.1.2 Отклонения формы отверстия

1.3.1.2.1 Отклонения формы в поперечном сечении

Отклонениями формы в поперечном сечении глубокого отверстия являются овальность и огранка. Последние представляют собой частный случай отклонений от круглости ЕФК. Отклонение от круглости – это наибольшее расстояние TFE от точек реального профиля до прилегающей окружности (рисунок 1.19) [18].

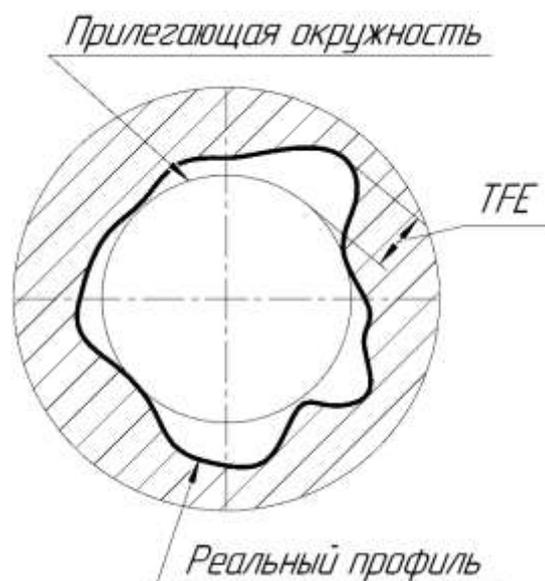


Рисунок 1.19 – Отклонение от круглости
TFE – наибольшее расстояние

Отклонение от круглости вычисляется по формуле:

$$EFK = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} \quad (1.1)$$

- **Овальность**

Овальность – отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимоперпендикулярных направлениях (рисунок 1.20) [18].

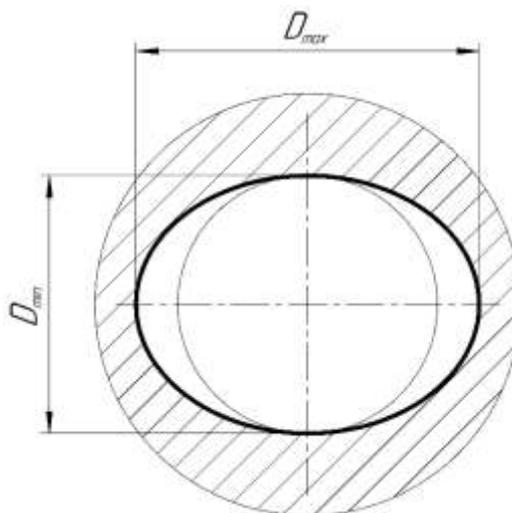


Рисунок 1.20 – Овальность отверстия

d_{max} – максимальный диаметр отверстия; d_{min} – минимальный диаметр отверстия

- **Огранка**

Огранка – отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру. Огранка подразделяется по числу граней. В частности, огранка с нечётным числом граней характеризуется тем, что диаметры профиля поперечного сечения во всех направлениях одинаковые (рисунок 1.21) [18].

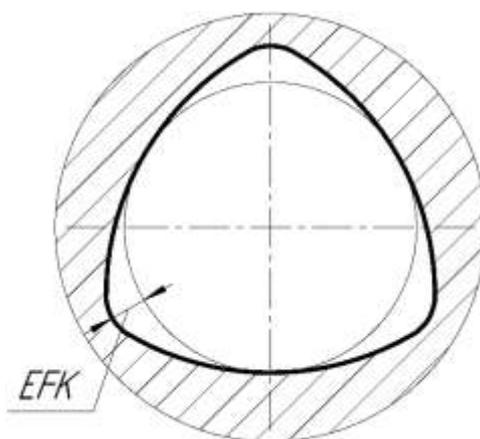


Рисунок 1.21 – Огранка отверстия

EFK – наибольшее расстояние (отклонение от круглости)

1.3.1.2 Отклонения формы в продольном сечении

Отклонениями формы в продольном сечении глубокого отверстия являются конусообразность, бочкообразность, седлообразность (корсетность) и изогнутость (непрямолинейность оси отверстия). Последние представляют собой частный случай отклонений профиля подпольного сечения цилиндрической поверхности EFP (рисунок 1.22). Отклонение профиля продольного сечения – это наибольшее расстояние EFP от точек реальной поверхности, лежащих в плоскости, проходящей через её ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка L (рисунок 1.22). Отклонение профиля продольного сечения

характеризует отклонение от прямолинейности и параллельности образующих [18].

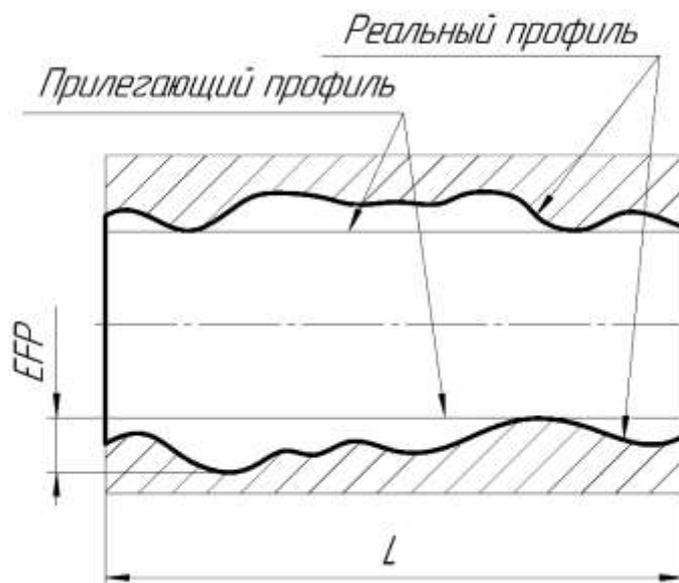


Рисунок 1.22 – Отклонение профиля продольного сечения
EFP – наибольшее расстояние

Отклонения профиля продольного сечения вычисляется по формуле:

$$EFP = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} \quad (1.2)$$

- **Конусообразность**

Конусообразность – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны (рисунок 1.23) [18].

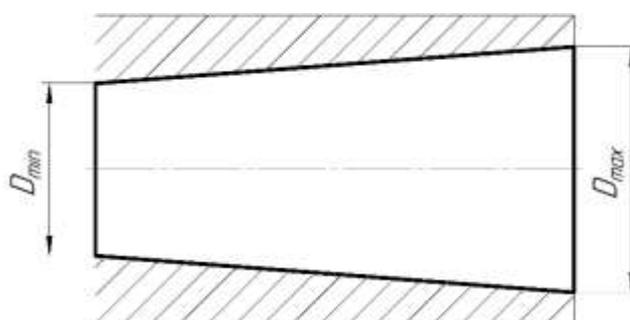


Рисунок 1.23 – Конусообразность

EFP – отклонение профиля продольного сечения

- **Бочкообразность**

Бочкообразность – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краёв к середине сечения (рисунок 1.24) [18].

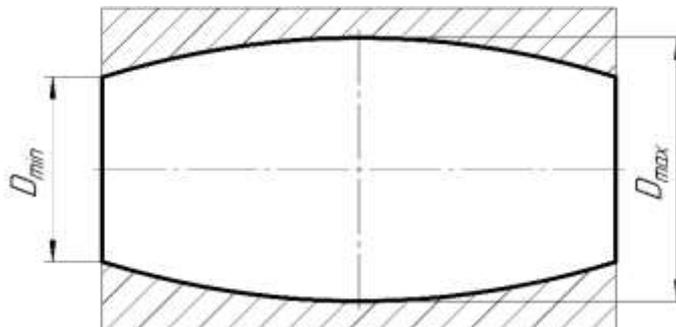


Рисунок 1.24 – Бочкообразность

EFP – отклонение профиля продольного сечения

- **Седлообразность (корсетность)**

Седлообразность – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краёв к середине сечения (рисунок 1.25) [12].

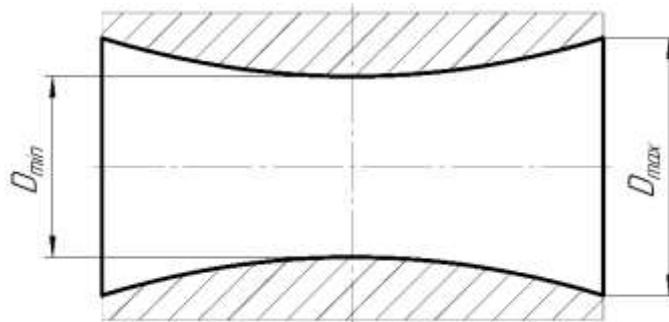


Рисунок 1.25 – Седлообразность (корсетность)

EFP – отклонение профиля продольного сечения

- **Изогнутость (непрямолинейность оси отверстия)**

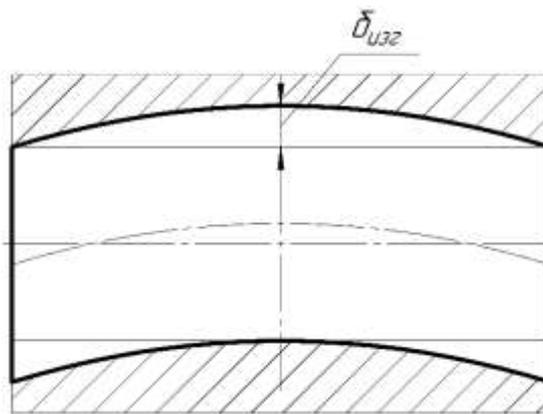


Рисунок 1.26 – Изогнутость (непрямолинейность оси отверстия)

1.3.1.3 Отклонения расположения отверстия

К отклонениям расположения отверстий прежде всего относят увод оси отверстия. Последний является наиболее специфическим, используемым, как правило, только при контроле глубоких отверстий.

- **Увод оси отверстия**

Для объяснения такого отклонения необходимо ввести некоторые основные понятия (рисунок 1.27) [3].

Геометрическая ось детали – это прямая линия, соединяющая геометрические центры поперечных сечений детали, расположенных на его концах;

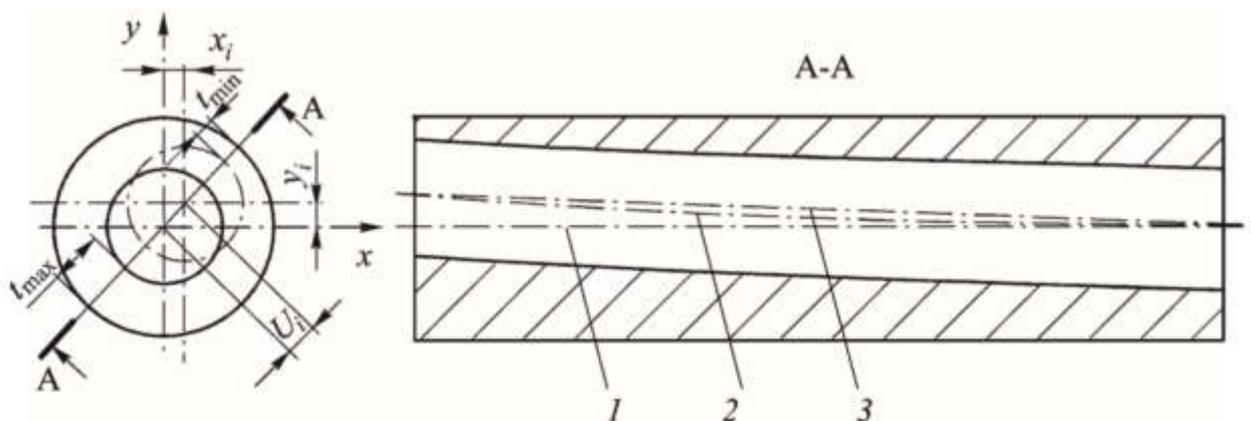


Рисунок 1.27 – Схема расположения осей в детали:

- 1 – геометрическая ось детали; 2 – действительная ось глубокого отверстия;
- 3 – теоретическая ось глубокого отверстия

Действительная ось глубокого отверстия – это линия, соединяющая геометрические центры поперечных сечений отверстия, расположенных по всей её длине;

Теоретическая ось глубокого отверстия – это прямая линия, соединяющая геометрические центры поперечных сечений отверстия, расположенных на его концах.

Итак, увод оси отверстия – это расстояние между действительной осью глубокого и теоретической осью (осью вращения) детали в заданном сечении (рисунок 1.27).

$$U_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \quad (1.3)$$

где x_i и y_i – координаты центра действительной оси отверстия в i сечении.

Увод оси отверстия можно оценить также измерением разностенности детали, под которой понимают наибольшую разность толщины стенок детали, измеренную в заданном поперечном сечении.

$$\Delta t = t_{\max} - t_{\min} \quad (1.4)$$

где t_{\max} и t_{\min} – соответственно максимальная и минимальная толщины стенок детали.

Таким образом, увод оси отверстия равен половине величины биения поверхности отверстия относительно наружной поверхности детали в том же сечении:

$$U = \frac{\Delta t}{2} \quad (1.5)$$

1.3.2 Параметры качества поверхности глубоких отверстий

Качество поверхности характеризуется:

- а. Шероховатостью поверхности;

б. Волнистостью поверхности;

в. Физико-механическими характеристиками поверхности (твёрдость; остаточные напряжения; фазовые и структурные превращения; деформация кристаллической решёткой).

В рамках данной работы будет рассматриваться шероховатость поверхности глубоких отверстий.

Под шероховатостью поверхности детали понимается совокупность неровностей с относительно малыми шагами на базовой длине (рисунок 1.28).

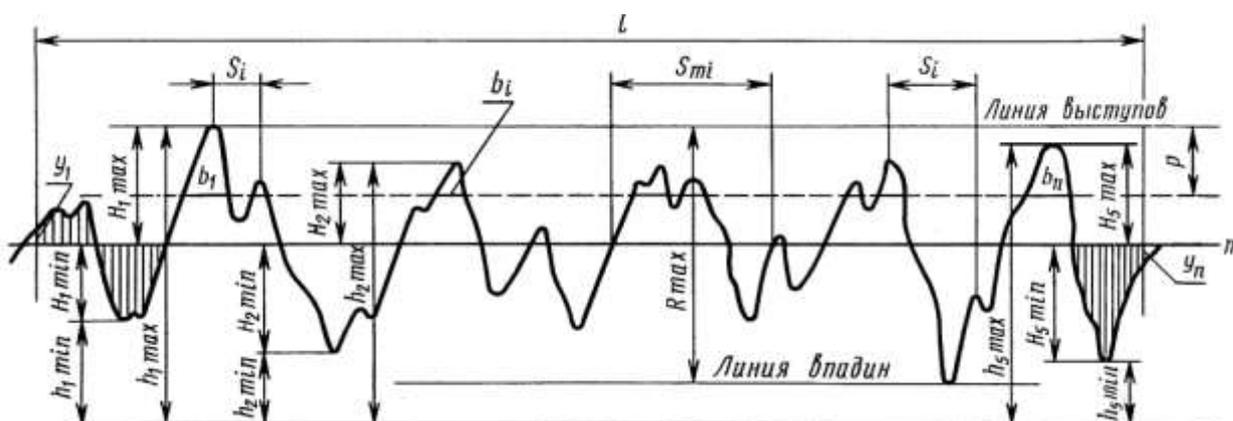


Рисунок 1.28 – Параметры шероховатости поверхности

К основным параметрам шероховатости поверхности относят (рисунок 1.28) [19]:

- R_a (среднеарифметическое отклонение профиля) – среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины;
- R_z (наибольшая высота профиля) – сумма высоты наибольшего выступа профиля и глубины наибольшей впадины профиля в пределах базовой длины;
- R_{max} (полная высота профиля) – сумма высоты наибольшего выступа профиля и глубины наибольшей впадины профиля в пределах длины оценки;
- S_m (средний шаг неровностей) – среднее значение в пределах базовой длины;

- S (средний шаг местных выступов профиля) – среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины;
- t_p – (относительная опорная длина профиля) – отношение опорной длины профиля к базовой длине, где p (значение уровня сечения профиля) – расстояние между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля.

Также шероховатость поверхности характеризуется не только размерами и формой детали, но и направлением штрихов обработки (следов) от режущего инструмента [19].

1.5 Сглаживание неровностей поверхности глубоких отверстий ружейными свёрлами

При сверлении глубоких ($l > 10D$) отверстий стандартным мерным инструментом (свёрла спиральные, перовые, шнековые и т.д.) наблюдается значительное снижение точности и качества обработанной поверхности. Это объясняется в первую очередь малой жёсткостью консольно-закрепленного инструмента, трудностями подвода СОЖ в зону резания и отвода стружки.

Наиболее эффективным способом снижения увода оси глубокого отверстия и повышение точности диаметральных размеров является схема базирования рабочей части инструмента по обработанной поверхности отверстия [4, 5, 20]. Благодаря такой схема увод оси отверстия не превышает $0,02 \text{ мм} / 100 \text{ мм}$, а шероховатость поверхности $Ra \leq 1,25 \text{ мкм}$.

Такой метод базирования осуществляется посредством особого расположение лезвий при котором специально создаётся радиальная составляющая силы резания, которая прижимает рабочую часть сверла к поверхности отверстия, обработанную впереди идущим лезвием (рисунок 1.29).

Значительное, по сравнению со стандартным инструментом, уменьшение шероховатости поверхности происходит благодаря сглаживающему действию твердосплавных направляющих пластин.

Для достижения требуемой шероховатости поверхности глубоких отверстий необходимо определённое усилие сглаживания, которое зависит от сил резания, действующих на инструмент. При развёртывании отверстия ружейными свёрлами силы резания зависят от величины срезаемого припуска, обрабатываемого материала, а также режимов резания.

Для расчёта усилия сглаживания в общем виде рассмотрим систему сил, действующую на рабочую часть ружейного сверла (рисунок 1.29) [20].

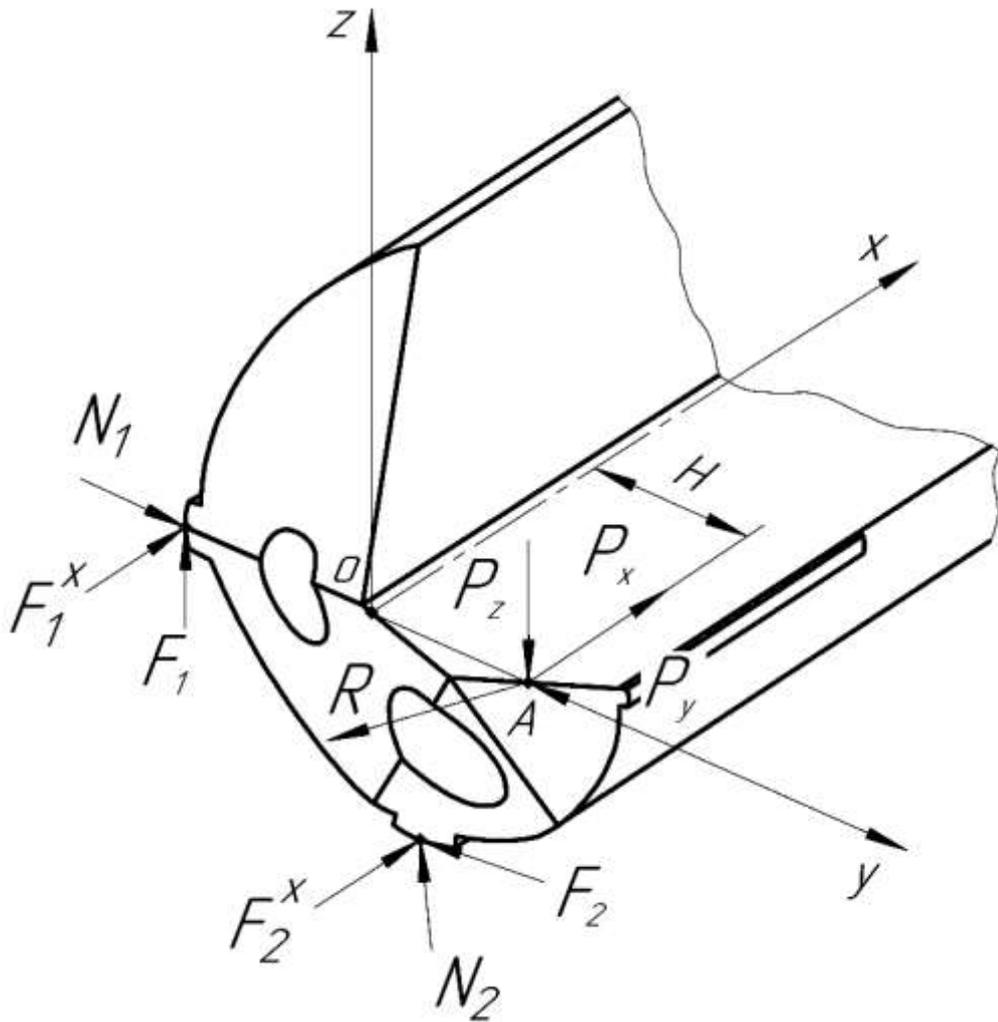


Рисунок 1.29 – Система сил, действующая на рабочую часть ружейного сверла

Здесь главная составляющая силы резания P_z , действующая на лезвие инструмента, расположена на расстоянии H от его оси. P_z можно разложить на три составляющие по осям x , y , z . Под действием последних возникают нормальные и тангенциальные (силы трения) составляющие, которые также раскладываются на: $N_1, F_1, F_1^x; N_2, F_2, F_2^x$.

Под действием составляющих сил резания на кончике ружейного сверла возникают пары сил резания или моменты сил относительно соответствующих осей (рисунок 1.30).

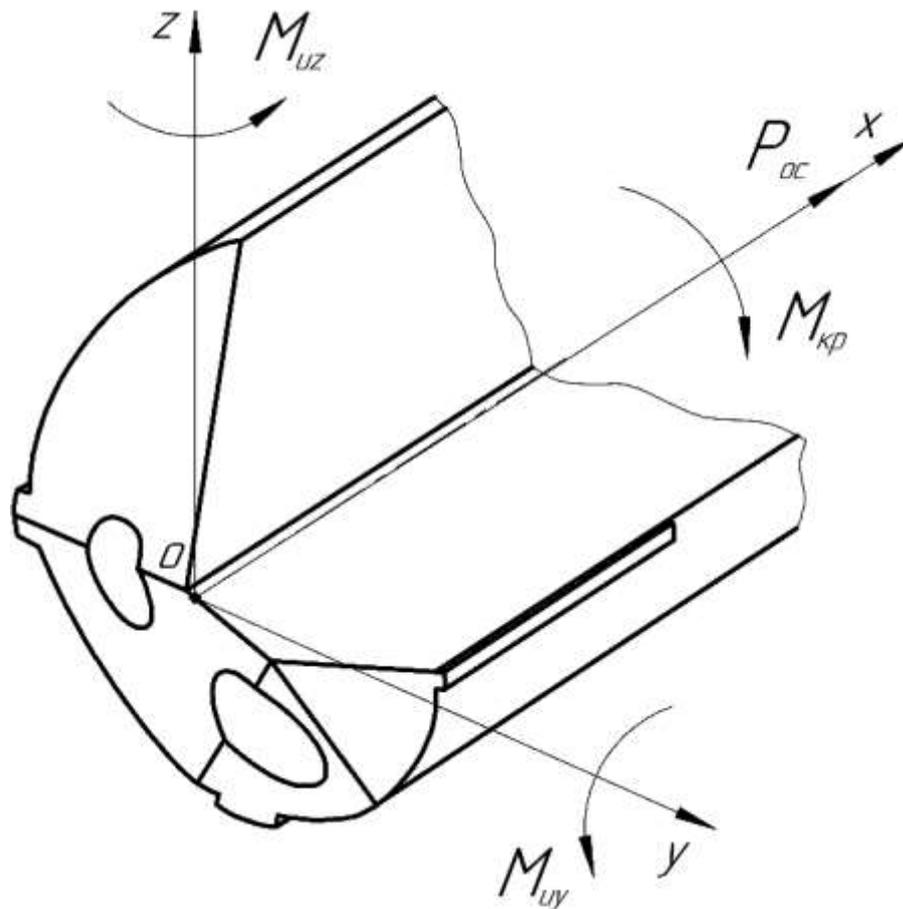


Рисунок 1.30 – Система моментов сил, действующая на рабочую часть ружейного сверла

Формулы для расчёта сглаживающего усилия при сверлении ружейными свёрлами представлены на основе работы Попова М.Е. [21]. Стоит отметить, что в данном случае имеется допущение конического выглаживания поверхности под случай сглаживания неровностей твердосплавными направляющими ружейного сверла [21, 22].

Сглаживание микронеровностей направляющими ружейного сверла осуществляется при условии, когда усилие сглаживания (радиальное усилие) вызывает пластическую деформацию поверхностного слоя глубокого отверстия:

$$P_B \geq p \cdot F, \quad (1.6)$$

где p – среднее напряжение в зоне контакта направляющей с поверхностью обработанного отверстия;

F – площадь контакта направляющей с обработанной поверхностью отверстия.

Для ружейного сверла усилие сглаживания (для конического выглаживания):

$$P_{\text{yg}} = q_r \cdot b \cdot t + q_H \cdot S \cdot \Delta h \cdot \cos \alpha \cdot \frac{1 + \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (1.7)$$

где q_r , q_H – среднее удельное давление в калибрующем пояске и в наклонной части направляющей;

b , t – ширина и длина калибрующего пояска;

S – скорость подачи ружейного сверла;

Δh – глубина внедрения;

α – угол фаски на направляющих сверла в направлении вектора скорости;

μ – коэффициент трения на направляющих сверла (для стали $\mu = 0,18 \dots 0,25$) [23].

В этой формуле исходя из условия пластичности:

$$q_r = 1,15 \cdot \sigma_T - P, \quad (1.8)$$

где σ_T – предел текучести обрабатываемого материала;

P – напряжение сглаживания.

$$q_H = \frac{P \cdot S \cdot h_1 - q_r \cdot \mu \cdot b \cdot t}{(\mu \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot S \cdot \Delta h} \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (1.9)$$

где h_1 – величина остаточной деформации

$$h_1 = h_0 - \Delta h \quad (1.20)$$

где h_0 – глубина распространения пластической деформации

$$h_0 = \sqrt{\Delta h \cdot \frac{1 + \operatorname{tg} \alpha}{2 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \frac{1 + 2\mu}{2}}, \quad (1.21)$$

Согласно работе [21] сглаживание микронеровностей при развёртывании ружейными свёрлами осуществляется при условии работы на сглаживающе-упрочняющем режиме, когда глубина внедрения направляющих равна:

$$\Delta h = (1,1 \dots 1,3) \cdot R_{z0}, \quad (1.22)$$

где R_{z0} – начальная (исходная) высота неровностей

Напряжения сглаживания, учитывая, что $\sigma_T = 0,32HV$ [24] рассчитывается по формуле:

$$\frac{P}{1,15 \cdot \sigma_{T1}} = \frac{A_1 + A_2 + \frac{k+1}{2} \cdot tg\alpha}{K \cdot \left[1 = \frac{\mu \cdot h_1 \cdot (1 + tg^2\alpha)}{(\mu + tg\alpha) \cdot \Delta h} \right] \cdot \ln \frac{h_0}{h_1}} + \frac{\mu \cdot b \cdot t}{2 \cdot h_1 \cdot S}, \quad (1.23)$$

Здесь

$$A_1 = 0,96 \cdot \left[k \cdot \ln \frac{h_0}{h_1} - \left(1 - \frac{h_1}{\Delta h} \cdot \ln \frac{h_0}{h_1} \right) - (k-1) \right], \quad (1.24)$$

$$A_2 = 0,2 \cdot tg\alpha \left[k \cdot \frac{s \cdot \Delta h}{h_1^2 \cdot \frac{h_0}{h_1}} - \frac{S}{\Delta h} \cdot \left(\frac{h_1}{h_0} - 1 + \ln \frac{h_0}{h_1} \right) - (k-1) \right], \quad (1.25)$$

Здесь k – коэффициент упрочнения:

$$k = \frac{\sigma_{T1}}{\sigma_{T0}}, \quad (1.26)$$

где σ_{T0}, σ_{T1} – пределы текучести металла до и после сглаживания соответственно ($k=1,3 \dots 1,7$ для «сырых» металлов; $k=1,8 \dots 3,2$ для закалённых металлов [24]);

Общее усилие сглаживания:

$$P_B = \sqrt{P_{y6}^2 \cdot P_{x6}^2}, \quad (1.27)$$

Здесь P_{y6}^2 – радиальная составляющая силы сглаживания;

P_{x6}^2 – осевая составляющая силы сглаживания.

1.6 Износостойкие покрытия для ружейных свёрл

1.6.1 Общие сведения

Весьма перспективным направлением повышения точности и качества поверхности глубоких отверстий, полученных ружейными свёрлами, является применение износостойких покрытий. Покрытия наносят на предварительно подготовленную рабочую часть ружейного сверла (рисунок 1.31).



Рисунок 1.31 – Ружейные свёрла с нанесёнными покрытиями

Фирмы *Botek*, *Stock*, *Guhring* (Германия) применительно к ружейным свёрлам рекомендуют следующие виды покрытий (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Износостойкие покрытия для ружейных свёрл

Покрытие	Микротвёрдость, HV*	Температура начала окисления, °С	Коэффициент трения**
TiN	22...26	400...550	0,4...0,55
AlTiN	32...36	700...900	0,5...0,70
TiCN	35...40	400	0,2...0,3

* Указан оптимальный диапазон твёрдости;

**Трение по стали 45.

1.6.2 Технология нанесения покрытий

Износостойкие покрытия на рабочую часть ружейных свёрл наносят двумя способами [25]:

1. Химическое осаждение покрытия из газовой среды – *Chemical Vapour Deposition (CVD)*
2. Физическое осаждение покрытий в вакууме – *Physical Vapour Deposition (PVD)*

Однако, в силу того, что *CVD*-метод является более дорогостоящим, менее производительным и более чувствительным к изменению технологических параметров наибольшее распространение получил *PVD*-метод.

Типовой технологический процесс нанесения покрытий *PVD*-методом состоит из следующих основных операций [25, 26]:

1. Загрузка свёрл, прогрев и откачка вакуумной камеры;
2. Очистка рабочих поверхностей свёрл ионным травлением в газовом разряде;
3. Очистка рабочих поверхностей свёрл бомбардировкой ионами металла и нагрев до рабочих температур;
4. Нанесение покрытия;
5. Охлаждение и выгрузка свёрл;
6. Контроль качества нанесённого покрытия.

Функциональные характеристики покрытия и, прежде всего, его адгезионная связь с основой сильно зависят от качества подготовки сопрягаемых поверхностей. Именно поэтому поверхности рабочей части ружейного сверла предварительно тщательно подготавливают. К операциям подготовки сопрягаемых поверхностей можно отнести [25]:

1. Заточка
2. Ультразвуковая очистка;
3. Мойка;

4. Вакуумная сушка (70-80°С)

Общий вид оборудования для мойки и вакуумной сушки представлен в приложении Ж.

После алмазной заточки ружейных свёрл их режущие кромки имеют острые кромки пилообразной формы (рисунок 1.32) [26]. При сверлении это приводит к снижению стойкости инструмента. Поэтому в работе [26] рекомендуется после алмазной заточки проводить «сухое» полирование в среде гранул оксида алюминия – корракса или смеси рекомендуемой фирмой *Otec* состоящую из 70% карбида кремния зернистостью 1,4 мм и 30% гранул грецкого ореха зернистостью 1,6 мм.

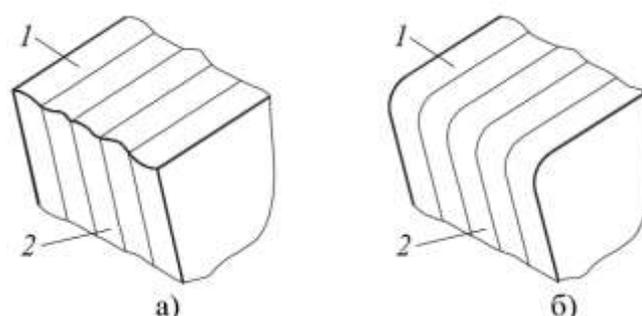


Рисунок 1.32 – Вид режущей кромки ружейного сверла

а – после алмазного шлифования; б – после «сухого» полирования

(1 – передняя поверхность; 2 – задняя поверхность)

Для *PVD*-метода применяются следующие вариации нанесения покрытий (рисунок 1.33) [26]:

- а Метод вакуумно-дугового испарения;
- б Метод магнетронного распыления;
- с Метод электронно-лучевого испарения.

В основе *PVD*-методов, как правило, лежит испарение (распыление) вещества в вакуумной камере, с последующей ионизацией частиц, ускорением в электрическом (магнитном) поле в направлении к покрываемой поверхности и их конденсацией на этой поверхности в присутствии реакционного газа.

В качестве испаряемого (распыляемого) вещества обычно используют тугоплавкие металлы (Ti, Cr, Mo, Zr, Al и др.), а реакционных газов – азот, метан, кислород и получают соответственно покрытия в виде нитридов, карбидов, карбонитридов или оксикарбидов тугоплавких металлов.

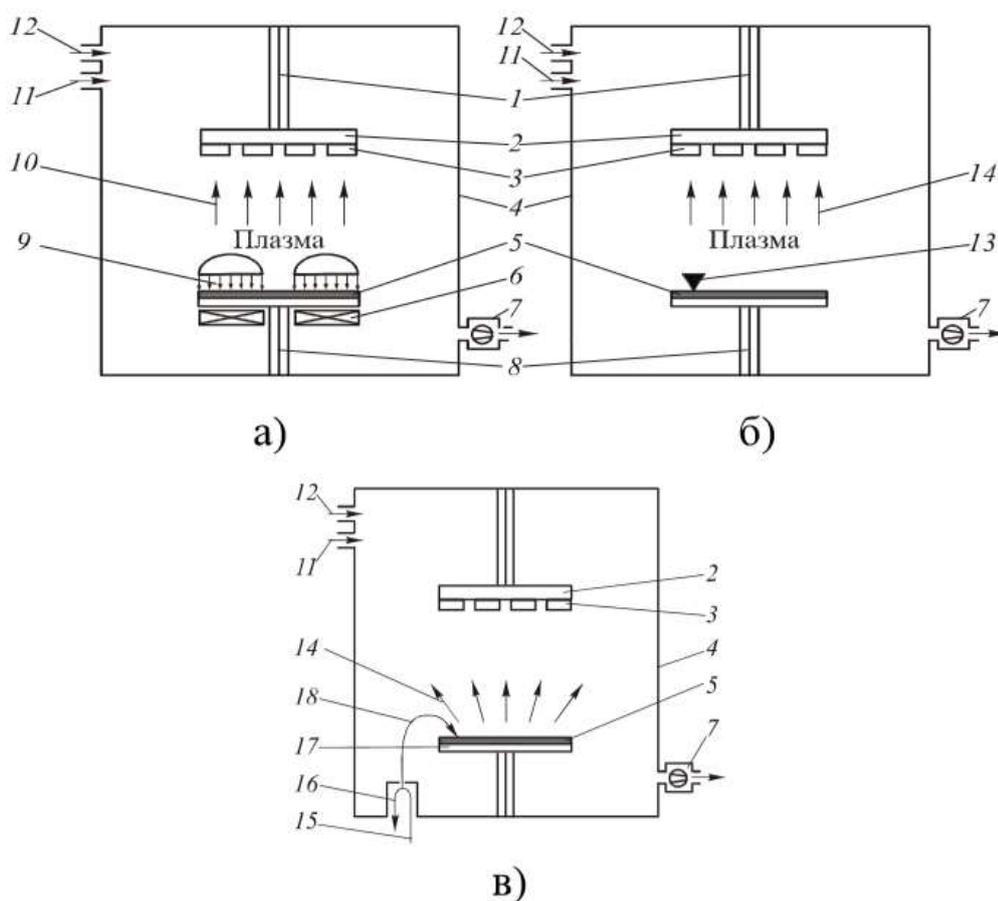


Рисунок 1.33 – Принципиальные схемы нанесения покрытий на режущий инструмент *PVD*-методами:

а – магнетронным распылением; б – вакуумно-дуговым испарением;

в – электронно-лучевым испарением

1 – подача напряжения смещения; 2 – держатель инструментов; 3 – инструмент; 4 – вакуумная камера; 5 – осаждаемый материал; 6 – магнитная система для магнетронного распыления; 7 – вакуумный насос; 8 – подача разрядного напряжения; 9 – ионный пучок; 10 – распылённый материал; 11 – реакционный газ; 12 – инертный газ; 13 – катодное пятно; 14 – испарённый материал; 15 – подача ускоряющего напряжения; 16 – термокатод; 17 – тигель; 18 – электронный луч

Для реализации *PVD*-метода применяется оборудование фирм *Hauser* (Нидерланды), *Oerlikon Balzers* (Швейцария), *Platit* (Швейцария), *Multi Arc Vacuum System* (США) и др.

В качестве примера в приложении 3 представлен общий вид установки для нанесения покрытий *PVD*-методом.

В приложении К приведены характеристики покрытий, получаемых *PVD*-методом.

2. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Описание эксперимента

2.1.1 Оборудование

Эксперимент по выявлению зависимостей диаметальной точности и шероховатости поверхности глубоких отверстий от режимов резания, величины припуска под рассверливание и износостойких покрытий выполнялся на многооперационном станке GLS 1500 фирмы *Goodway* (Тайвань) (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Модернизированный токарный станок с ЧПУ модели GLS 1500

Основные технические характеристики станка представлены в приложении М.

Станок оснащён насосной станцией подачи СОЖ под высоким (до 7МПа) давлением (рисунок 2.2) [10].

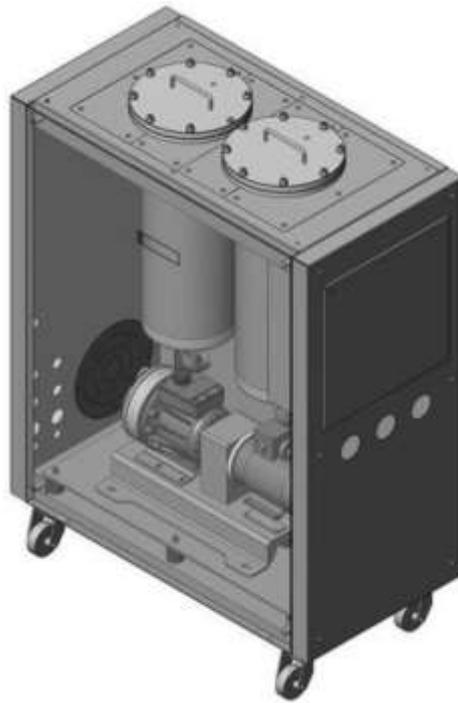


Рисунок 2.2 – Общий вид автономной гидравлической установки фирмы ООО «ПампЮнион» (г. Москва) (боковая стенка снята)

2.1.2 Инструмент

2.1.2.1 Режущий

В качестве режущего инструмента использовали ружейные свёрла фирмы *Botek* (Германия) диаметром $d=7$ мм, с длиной стебля $l=260$ мм, с профилем рабочей части «G» и углами в плане $\varphi_1 / \varphi_2 = 30^\circ / 20^\circ$ (рисунок 2.3, 2.4, 2.5).

Чертёж ружейного сверла представлен в приложении Л.



Рисунок 2.3 – Общий вид ружейного сверла фирмы *Botek*



Рисунок 2.4 – Хвостовик ружейного сверла фирмы *Botek*



а)



б)

Рисунок 2.5 – Рабочая часть ружейного сверла фирмы *Botek*
а – горизонтальный вид (сверху); б – профильный вид (спереди)

2.1.2.2 Измерительный

2.1.2.2.1 Измерение диаметров отверстий

Для измерений диаметров просверленных отверстий (рисунок 2.6) использовали нутромер фирмы *Carl Zeiss* (Германия) с ценой деления 2 мкм (рисунок 2.7).



Рисунок 2.6 – Заготовки с просверленными отверстиями



Рисунок 2.7 – нутромер фирмы *Carl Zeiss* (Германия) с ценой деления 2 мкм

Измерение диаметров отверстий выполнялось в двух взаимно-перпендикулярных направлениях трёх сечений (начало, середина, конец) каждой заготовки, с отступом от торцов на расстояние 2 мм. После этого

полученные данные обрабатывали с целью расчёта среднего диаметра по формуле:

$$D_{cp} = \frac{(D_{max} + D_{min})}{2} \quad (2.1)$$

где D_{max} – максимальный диаметр отверстия;

D_{min} – минимальный диаметр отверстия;

Графические зависимости строили по средним значениям измеренных диаметров.

С целью автоматизации статистические расчёты выполняли на персональном компьютере с использованием программных продуктов Excel 2013 фирмы *Microsoft* (США).

2.1.2.2 Измерение шероховатости поверхности отверстий

Перед измерением шероховатости поверхности отверстий с целью обеспечения доступа щупа профилометра к измеряемым поверхностям просверленные заготовки вскрывали фрезерованием (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Расфрезерованные заготовки

Для измерения шероховатости поверхности отверстий использовали профилометр марки Form Talysurf модель PGI 2000S фирмы *Taylor Hobson* (Великобритания) (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – профилометр марки Form Talysurf модель PGI 2000S фирмы *Taylor Hobson* (Великобритания)

Для каждого образца выполняли по 5 измерений на каждом участке базовой длины.

С целью автоматизации, статистические расчёты выполняли на персональном компьютере с использованием программных продуктов Excel 2013 фирмы *Microsoft* (США).

2.1.3 Смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ)

Применяемая водосмешиваемая СОЖ – 12% раствор концентрата *Avantin 3309* производства фирмы *Vechem* (Германия).

Основные технические характеристики данной СОЖ представлены в приложении М [17].

Avantin 3309 – высокоэффективная водосмешиваемая СОЖ. Используется в тяжёлых операциях обработки резанием, в частности в глубоком сверлении. Благодаря специально подобранному составу присадок достигаются высокие качество обработанной поверхности и стойкость инструмента. Содержит многофункциональные присадки, позволяющие обрабатывать коррозионностойкие стали с высоким содержанием хрома и никеля [17].

Эксплуатационные свойства:

- универсальность применения;
- биологическая стабильность;
- эффективная защита от коррозии;
- хорошо поддаётся фильтрации;
- низкое пенообразование;
- легко утилизируется;
- не содержит минерального масла.

2.1.4 Заготовки

В ходе проведения эксперимента обрабатывались заготовки – прутки диаметром 16 мм и длиной 100 мм разных материалов (рисунок 2.10),



Рисунок 2.10 – Заготовки разных материалов

а именно:

- **Сплав дюралюминия Д16Т** по ГОСТ 4784-97 (рисунок 2.11);



Рисунок 2.11 – Заготовки из сплава дюралюминия Д16Т

- **Сталь 45** по ГОСТ 1050-2013 (рисунок 2.12);



Рисунок 2.12 – Заготовки из стали 45

- **Нержавеющая сталь 40X13 по ГОСТ 5949-75 (рисунок 2.13).**



Рисунок 2.13 – Заготовки из стали 40x13

Для каждого сочетания скоростей резания, подачи и обрабатываемых материалов брали по 3 заготовки. Всего было просверлено 108 заготовок.

2.1.5 Схема и режимы обработки

Ружейное сверло устанавливалось в заднюю бабку многооперационного станка. Закрепления инструмента осуществлялось через специальный инструментальный патрон – переходник (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Схема закрепления ружейного сверла в станке

Схема сверления: заготовка вращается, сверло совершает движение подачи.

Для направления ружейного сверла при врезании заранее было просверлено и расточено пилотное (заходное) отверстие диаметром $D = 7,036$ мм, длиной $L = 10 (1,5D)$ мм, $\psi = 120^\circ$ (рисунок 2.15).

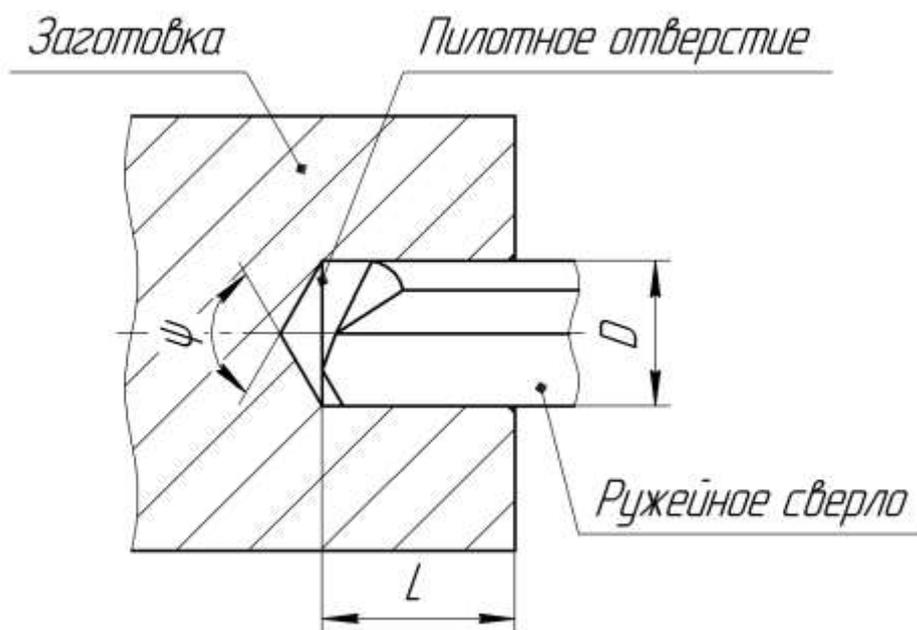


Рисунок 2.15 – Пилотное (заходное) отверстие

Обработку осуществляли на режимах, гарантирующих получение стружки транспортабельной формы (рисунок 2.16) [9].



Рисунок 2.16 – Стружка оптимальной формы при сверлении отверстий ружейными свёрлами

Диапазон режимов резания для получения стружки транспортабельной формы сведён в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Оптимальный диапазон режимов резания

Материал	Скорость резания V , м/мин	Подача S , мм/об
Дюралюминий Д16Т	80	0,01
		0,02
		0,03
		0,04
	100	0,01
		0,02
		0,03
		0,04
	120	0,01
		0,02
		0,03

		0,04
Сталь 45	60	0,01
		0,02
		0,03
		0,04
	80	0,01
		0,02
		0,03
		0,04
	100	0,01
		0,02
		0,03
		0,04
Сталь 40x13	40	0,01
		0,02
		0,03
		0,04
	60	0,01
		0,02
		0,03
		0,04
	80	0,01
		0,02
		0,03
		0,04

2.2 Влияние режимов резания на диаметральную точность и шероховатость поверхности глубоких отверстий

2.2.1 Исследование диаметральной точности обработанных отверстий

2.2.1.1 Сверление дюралюминия Д16Т

При сверлении дюралюминия Д16Т на подаче $S=0,01$ мм/об средний диаметр отверстий в диапазоне скоростей резания $V=80\dots120$ м/мин увеличивается на $0,38\dots0,48$ мм, а на подачах $S=0,02\dots0,04$ мм/об находится в пределах $0,015\dots0,020$ мм независимо от скорости резания (рисунок 2.17).

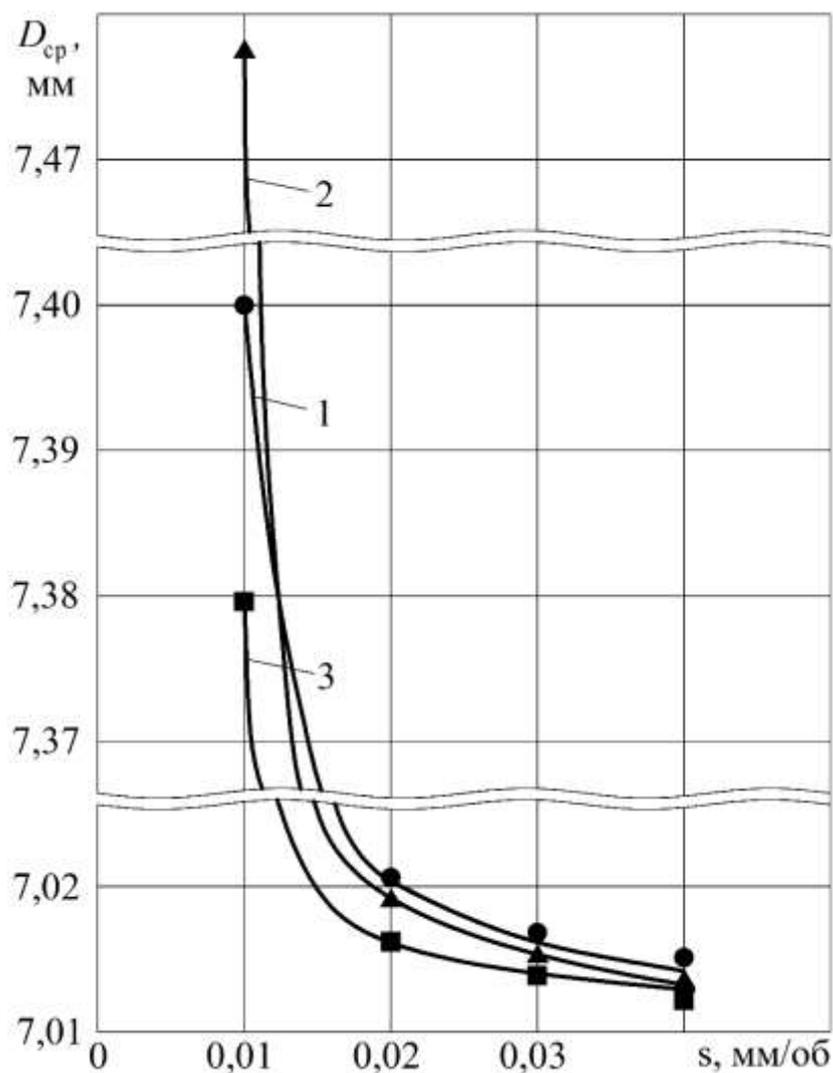


Рисунок 2.17 – Влияние подачи S и скорости резания V на средний диаметр D_{cp} отверстий, полученных ружейным сверлом диаметром $d=7$ мм в дюралюминии Д16Т:

1 – $V=80$ м/мин; 2 – $V=100$ м/мин; 3 – $V=120$ м/мин

2.2.1.2 Сверление стали 45

При сверлении стали 45 указанные режимы резания оказывают существенное влияние на средний диаметр отверстий. Так, например, в диапазоне скоростей резания $V=60\dots100$ м/мин диаметр отверстий увеличивается примерно на 0,05 мм. При этом минимальный диаметр отверстий достигается в диапазоне подач $S=0,02\dots0,03$ мм/об (рисунок 2.18).

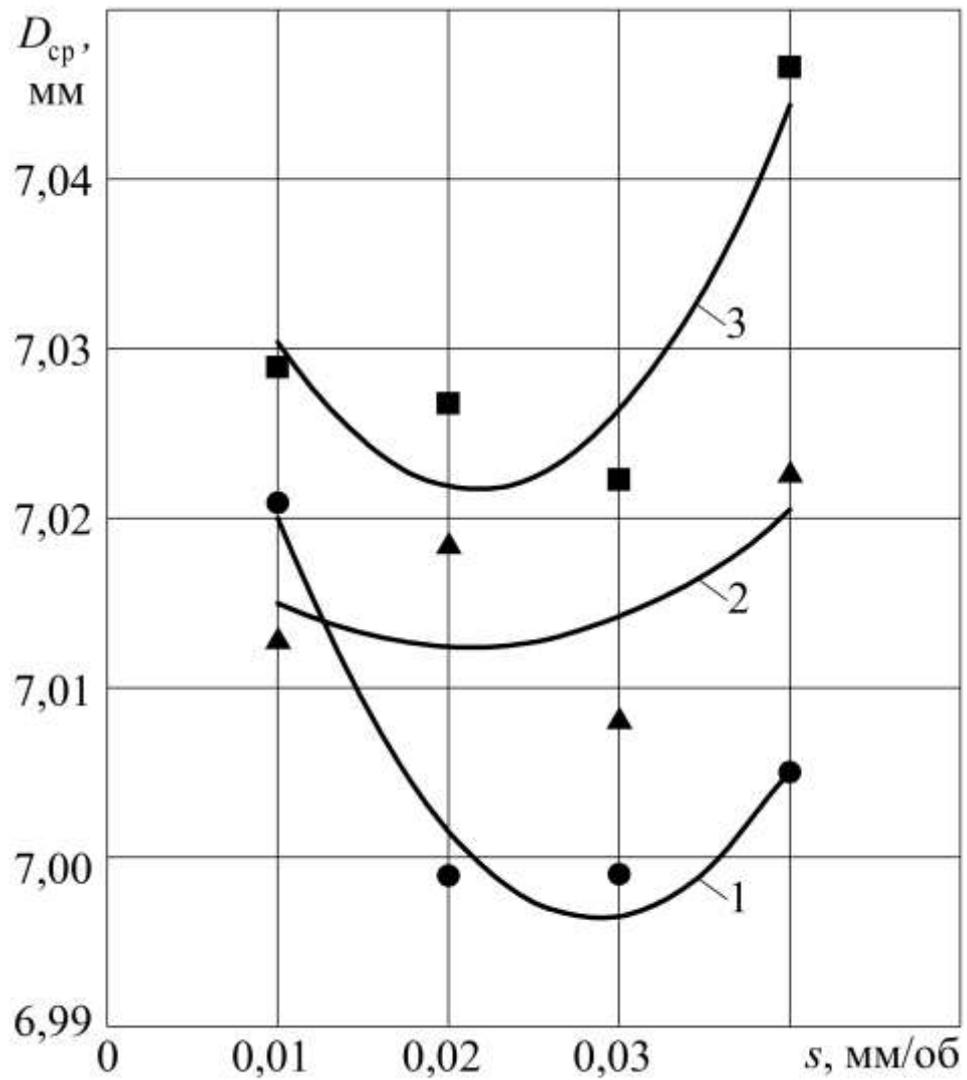


Рисунок 2.18 – Влияние подачи S и скорости резания V на средний диаметр D_{cp} отверстий, полученных ружейным сверлом диаметром $d=7\text{мм}$ в стали 45:

1 – $V=60$ м/мин; 2 – $V=80$ м/мин; 3 – $V=100$ м/мин

2.2.1.3 Сверление стали 40X13

При сверлении стали 40X13 изменение режимов резания в указанном диапазоне практически не влияет на средний диаметр отверстий. Что можно наблюдать на рисунке 2.19.

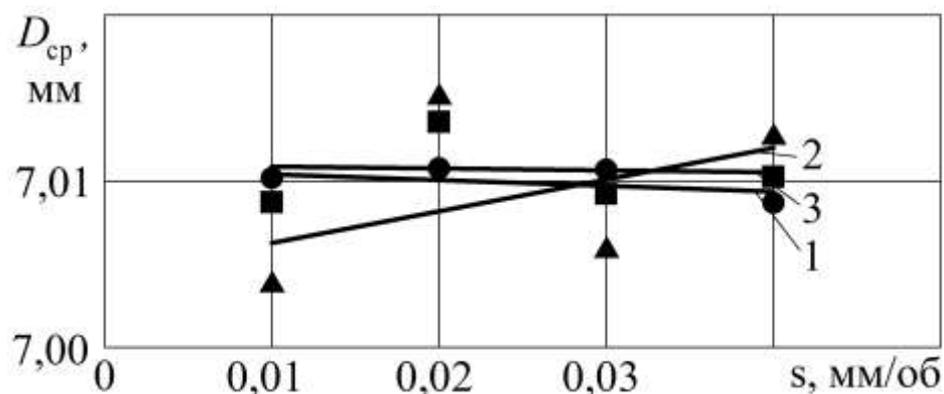


Рисунок 2.19 – Влияние подачи S и скорости резания V на средний диаметр $D_{ср}$ отверстий, полученных ружейным сверлом диаметром $d=7\text{мм}$ в стали 40X13

1 – $V=40$ м/мин; 2 – $V=60$ м/мин; 3 – $V=80$ м/мин

2.2.2 Исследование шероховатости поверхности обработанных отверстий

После проведения измерений шероховатости поверхности отверстий было обнаружено, что параметр Ra имеет тесную взаимосвязь со средним диаметром $D_{ср}$ отверстий.

2.2.2.1 Сверление дюралюминия Д16Т

При сверлении дюралюминия Д16Т на скоростях $V=80\dots120$ м/мин и подачи $S=0,01$ мм/об шероховатость достигает Ra 1,42...1,62 мкм, а на подаче $S=0,02\dots0,04$ мм/об – Ra 0,3...0,42 мкм (рисунок 2.20).

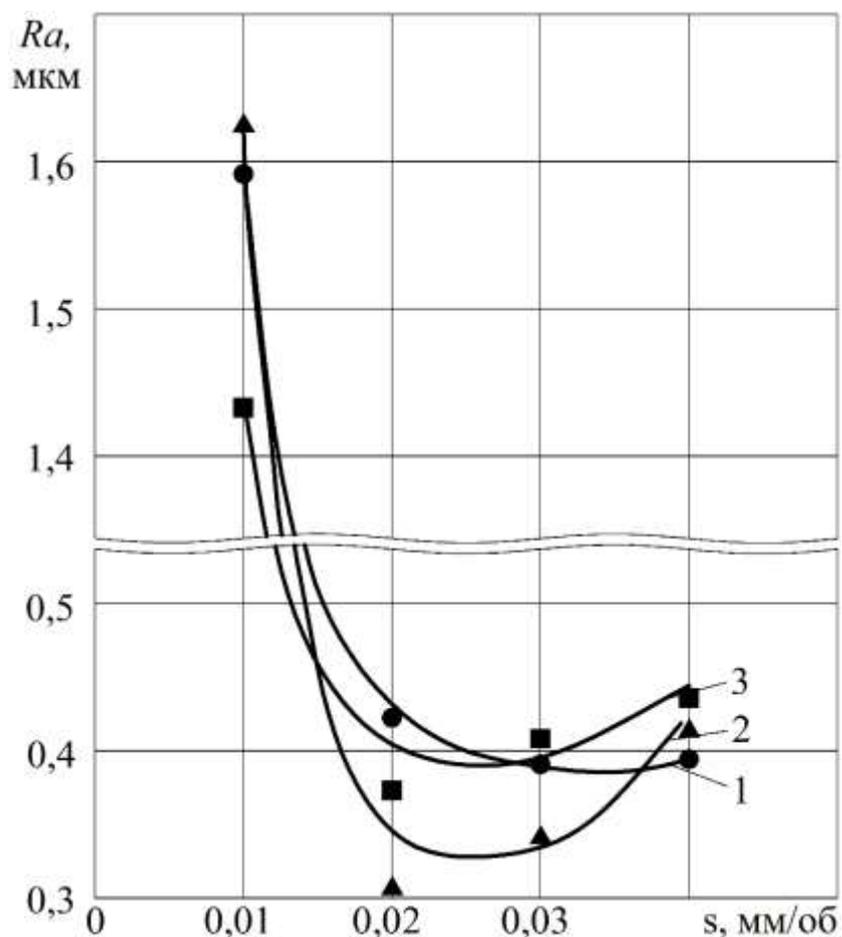


Рисунок 2.20 – Влияние подачи S и скорости резания V на шероховатость поверхностей отверстий Ra , полученных ружейным сверлом диаметром $d=7$ мм в дюралюминии Д16Т:

1 – $V=80$ м/мин; 2 – $V=100$ м/мин; 3 – $V=120$ м/мин

2.2.2.2 Сверление стали 45

При сверлении стали 45 с увеличением скорости резания в диапазоне $V=60\dots 100$ м/мин шероховатость поверхности отверстий увеличивается от Ra 0,4 мкм до Ra 1,25 мкм. При этом минимальная шероховатость Ra 0,4 мкм имеет место при скорости резания $V=60$ м/мин и подачах $S=0,02\dots 0,03$ мм/об. При скорости резания $V=80$ м/мин и диапазоне подач $S=0,02\dots 0,03$ мм/об Ra 0,65 мкм, а при $V=100$ м/мин и $S=0,01$ мм/об – Ra 0,75 мкм (рисунок 2.21).

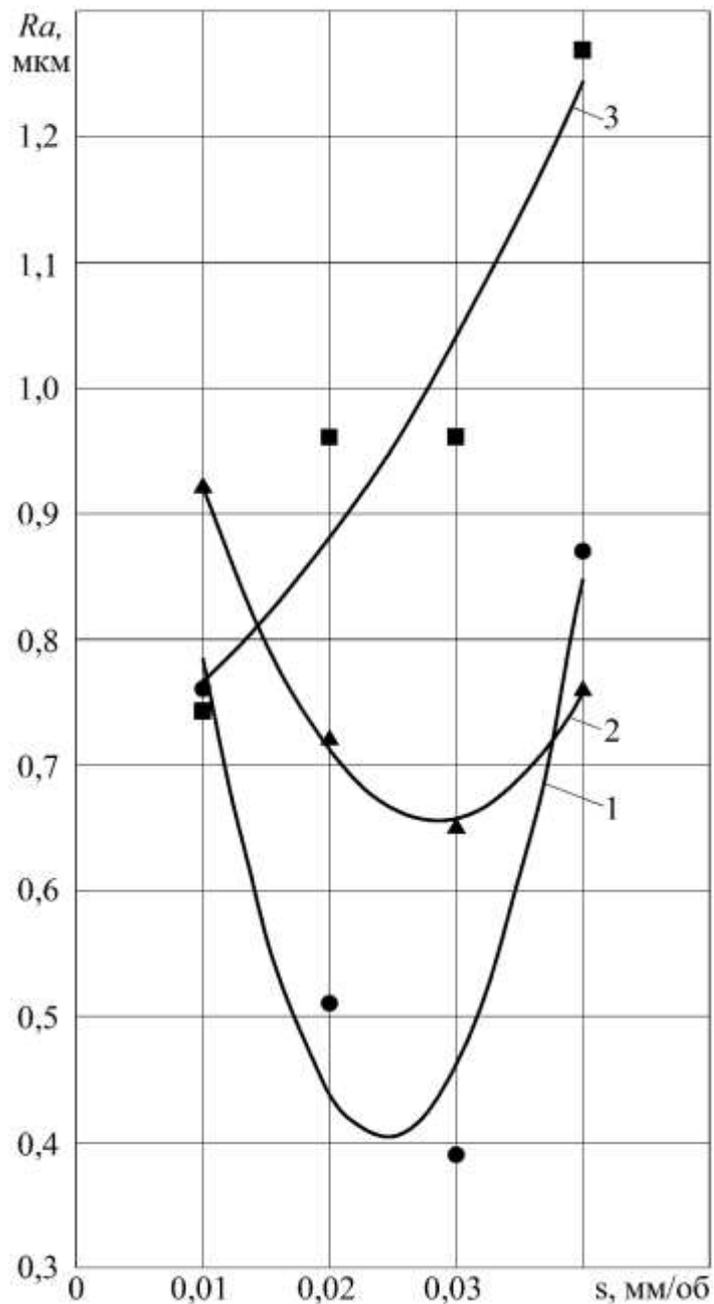


Рисунок 2.21 – Влияние подачи S и скорости резания V на шероховатость поверхностей отверстий Ra , полученных ружейным сверлом диаметром $d=7\text{мм}$ в стали 45:

1 – $V=60$ м/мин; 2 – $V=80$ м/мин; 3 – $V=100$ м/мин

2.2.2.3 Сверление стали 40X13

При сверлении стали 40X13 изменение режимов резания в указанном диапазоне не оказывает существенного влияния на шероховатость

поверхности отверстий, которая находится в пределах Ra 0,4...0,5 мкм (рисунок 2.22).

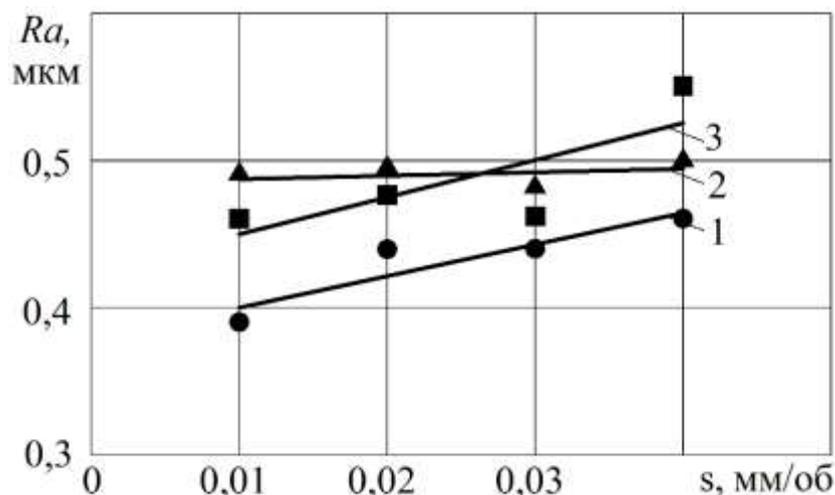


Рисунок 2.22 – Влияние подачи S и скорости резания V на шероховатость поверхностей отверстий Ra , полученных ружейным сверлом диаметром $d=7$ мм в стали 40X13:

1 – $V=40$ м/мин; 2 – $V=60$ м/мин; 3 – $V=80$ м/мин

2.3 Рассверливание отверстий ружейными свёрлами и его влияние на шероховатость поверхности глубоких отверстий

В качестве идеи повышения качества поверхности глубоких отверстий, а также стойкости инструмента был предложен такой технологический приём как рассверливание отверстий. Эксперимент заключался в следующем. В заготовках из стали 45 с диаметральной наружным размером 16 мм и длиной 80 мм ружейными свёрлами диаметрами $d=7,4$; 7,8; 8,2 мм рассверливали отверстия, полученные ружейным сверлом диаметром $d=7$ мм. При этом толщины срезаемых слоёв были равны соответственно $t=0,2$; 0,4; 0,6 мм. Режимы резания при рассверливании были следующими: скорость резания $V=70$ мм/мин, подачи $S=0,02...0,11$ мм/об. Для каждого сочетания диаметров свёрл (толщин среза) и подач рассверливали по 3 заготовки, всего было

рассверлено 36 заготовок. Измерения показали, что при рассверливании сверлом диаметром $d=7,4$ мм ($t=0,2$ мм) шероховатость поверхности составила Ra 1,6 мкм, а свёрлами $d=7,8; 8,2$ мм ($t=0,4...0,6$ мм) – Ra 0,4 мкм (рисунок 2.23).

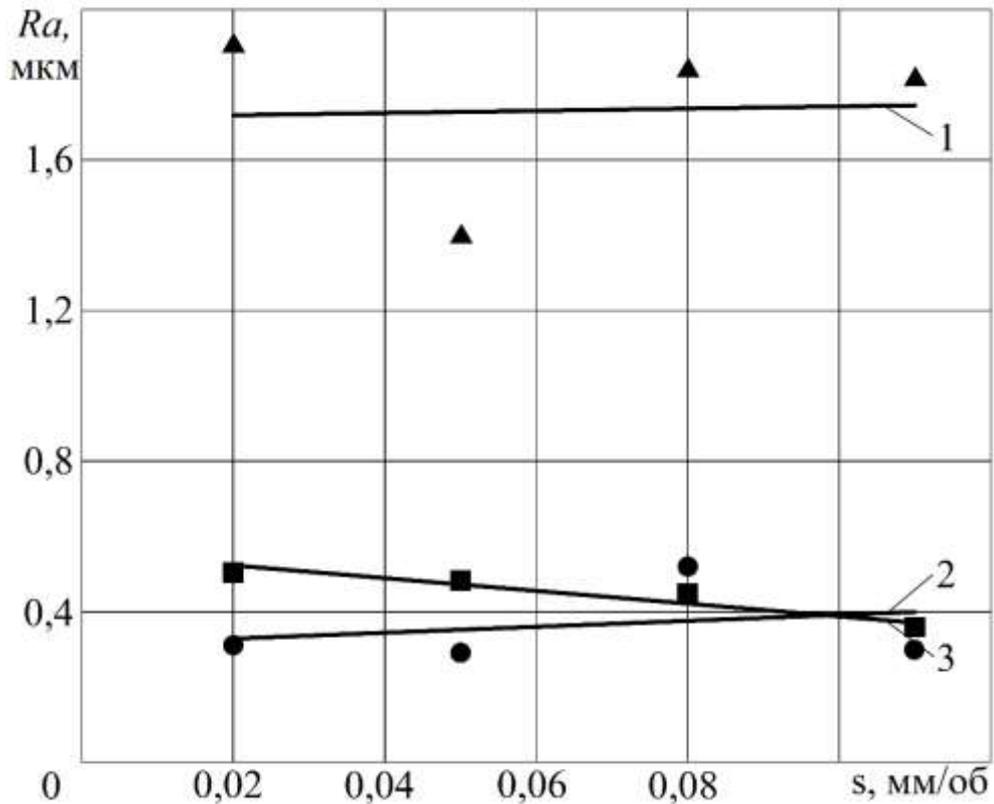


Рисунок 2.23 – Влияние величины припуска t и подачи S на шероховатость поверхностей отверстий Ra , полученных рассверливанием отверстий диаметром $d=7$ мм в стали 45:

1 – $t=0,2$ мм; 2 – $t=0,4$ мм; 3 – $t=0,6$ мм

Как видно из графика кривая 1 показывает увеличение шероховатости поверхности отверстий в 4 раза. Это объясняется тем, что при $t=0,2$ мм сглаживание микронеровностей на поверхности отверстий из-за малой силовой нагрузки не происходит. Увеличение толщины среза до $t=0,4...0,6$ мм (кривая 2, 3) способствует увеличению силовой нагрузки и, как следствие, снижению шероховатости поверхности. Однако, сравнивая качество поверхности при рассверливании с качеством поверхности при стандартной

технологии (без рассверливания), можем утверждать, что должного эффекта такой технологический приём не приносит, а лишь несколько увеличивает стабильность шероховатости поверхности глубоких отверстий.

2.4 Влияние износостойких покрытий на диаметральную точность и шероховатость поверхности глубоких отверстий

Для уменьшения разбивки и шероховатости поверхности отверстия было предложено использовать ружейные свёрла с износостойкими покрытиями, нанесёнными на рабочие части инструментов.

Для этого ружейными свёрлами диаметром $d=7$ мм без покрытия и с покрытиями ALTiN и TiN в заготовках из нержавеющей стали 40х13 сверлили отверстия глубиной 200 мм. Режим сверления: скорость резания $V=70$ м/мин, подача $s=0,02$ мм/об. Всего было просверлено 30 заготовок.

Измерения показали, что износостойкие покрытия ALTiN и TiN способствуют увеличению диаметральной точности и уменьшению шероховатости, получаемых отверстий примерно в одинаковой степени (рисунок 2.24, рисунок 2.25).

2.4.1 Исследование диаметральной точности обработанных отверстий

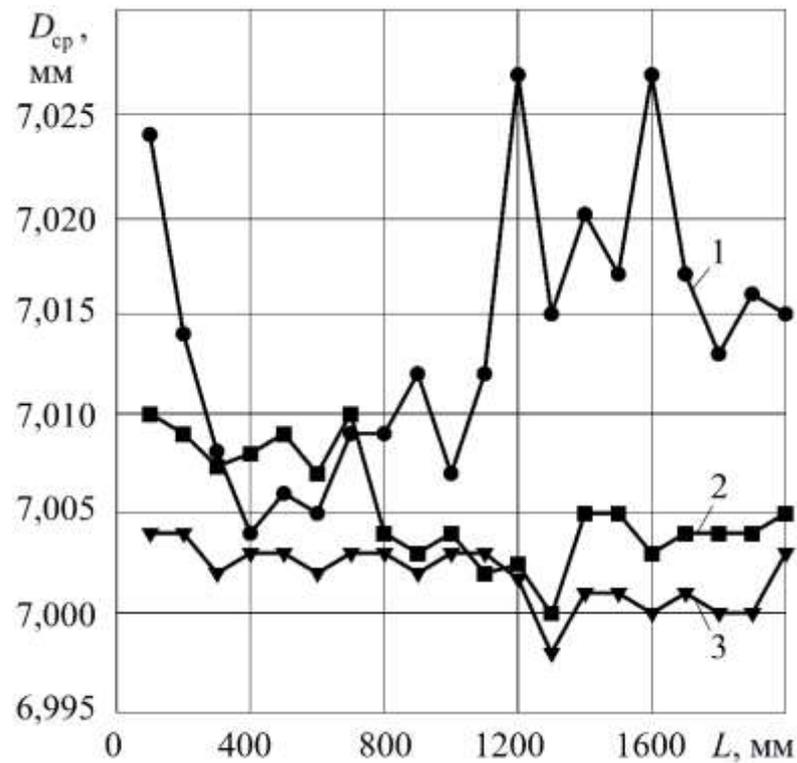


Рисунок 2.24 – Влияние глубины сверления L и вида покрытия на средний диаметр D_{cp} отверстий, полученных ружейными свёрлами диаметром $d=7$ мм в стали 40X13:

1 – без покрытия; 2 – покрытие ALTiN; 3 – покрытие TiN

2.4.2 Исследование шероховатости поверхности обработанных отверстий

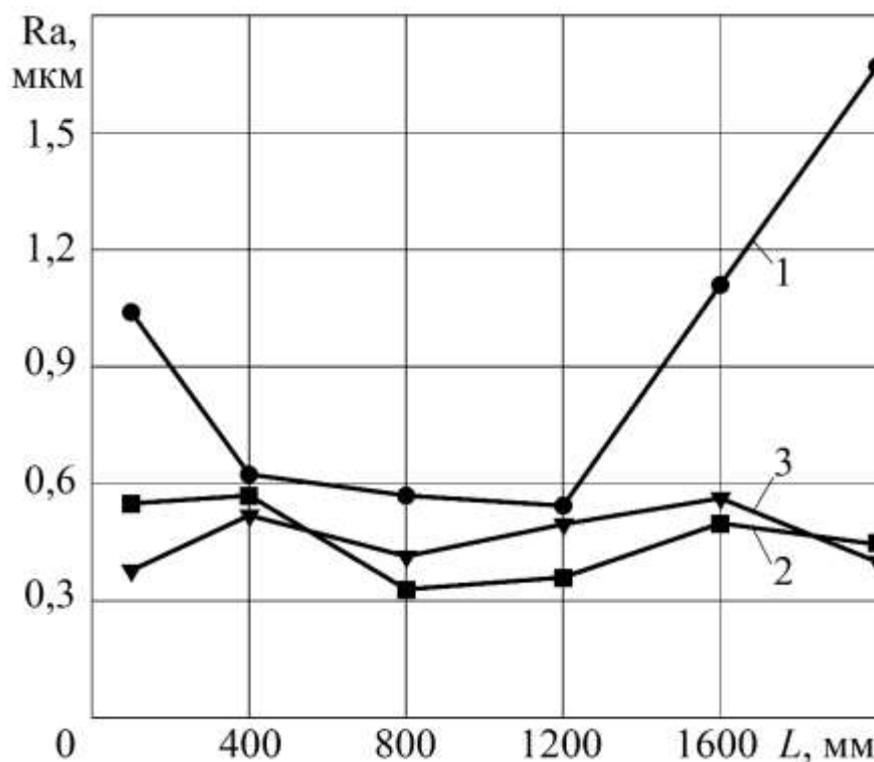


Рисунок 2.25 – Влияние глубины сверления L и вида покрытия на шероховатость поверхностей отверстий Ra , полученных ружейными свёрлами диаметром $d=7$ мм в стали 40X13:

1 – без покрытия; 2 – покрытие ALTiN; 3 – покрытие TiN

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Шевчук Антон Сергеевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (ИШНПТ)	ОМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад инженера – 15 470 руб; Оклад руководителя – 33 664 руб; Сверло ружейное – 15 000 руб/шт; СОЖ Avantin 3309 – 1000 руб/л
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент – 30%. Ставка НДС – 20%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Качественная характеристика
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Качественная характеристика

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График Гантта;	
2. Расчет бюджета затрат	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	25.03.19
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	канд. экон. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Шевчук Антон Сергеевич		

В данном разделе выполним расчёт себестоимости проекта. Стоит отметить, что оценка экономической эффективности выходит за рамки представленной работы, так как оценка экономической эффективности на сегодняшний день может быть только условно-прогнозной. Её получение предполагает проведение специального исследования.

3.1 Организация и планирование работ

При организации работы в пределах проекта необходимо рационального планировать занятость каждого участника (руководителя и исполнителя).

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность.

Таблица 3.1 – Перечень работа и продолжительность их выполнения

№	Наименование этапа	Исполнитель	Доля загрузки
1	Постановка целей и задач. Получение исходных данных	НР	НР-100%
2	Составление и утверждение ТЗ	НР; И	НР-100%; И-10%
3	Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР-30%; И-100%
4	Разработка календарного плана	НР; И	НР-100%; И-10%
5	Обсуждение литературы	НР; И	НР-30%; И-100%
6	Выбор схемы эксперимента	НР; И	НР-100%; И-50%
7	Настройка эксперимента	НР; И	НР-60%; И-100%
8	Проведение эксперимента	НР; И	НР-30%; И-100%
9	Оформление графических материалов	И	И-100%
10	Оформление расчётно-пояснительной записки	И	И-100%
11	Подведение итогов	НР; И	НР-60%; И-100%

где НР – научный руководитель;

И – инженер (студент).

3.1.1 Продолжительность этапов работ

Продолжительность этапов работ рассчитаем опытно-статистическим методом, экспертным способом. Опытно-статистический метод предпочтителен в случае отсутствия достаточно развитой нормативной базы трудоёмкости планируемых процессов. Экспертный способ используется при отсутствии актуального аналога данного проекта, который по всем значимым параметрам идентичен представленной работе. Экспертный способ предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области.

Назначим минимальное и максимальное время для каждого этапа проекта:

Таблица 3.2 – Максимальное и минимальное время выполнения каждого этапа

№	Наименование этапа	t_{min} , дней	t_{max} , дней
1	Постановка целей и задач. Получение исходных данных	1	3
2	Составление и утверждение ТЗ	3	5
3	Подбор и изучение материалов по тематике	7	14
4	Разработка календарного плана	1	3
5	Обсуждение литературы	1	2
6	Выбор схемы эксперимента	6	9
7	Настройка эксперимента	2	6
8	Проведение эксперимента	2	5
9	Оформление графических материалов	10	20

10	Оформление расчётно- пояснительной записки	30	35
11	Подведение итогов	1	2

Определим вероятные значения продолжительности работ для каждого этапа $t_{ож}$ на основе назначенных временных границ для каждого этапа в отдельности:

$$t_{ож} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5} \quad (3.1)$$

где t_{\min} – минимальная продолжительность работы, дней;
 t_{\max} – максимальная продолжительность работы, дней;

1. Постановка целей и задач, получение исходных данных

$$t_{ож}^1 = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8\delta$$

2. Составление и утверждение ТЗ

$$t_{ож}^2 = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8\delta$$

3. Подбор и изучение материалов по тематике

$$t_{ож}^3 = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 14}{5} = 9,8\delta$$

4. Разработка календарного плана

$$t_{ож}^4 = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8\delta$$

5. Обсуждение литературы

$$t_{ож}^5 = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4\delta$$

6. Выбор схемы эксперимента

$$t_{ож}^6 = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 9}{5} = 7,2\delta$$

7. Настройка эксперимента

$$t_{ож}^7 = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 6}{5} = 3,6\delta$$

8. Проведение эксперимента

$$t_{ож}^8 = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 5}{5} = 3,2\delta$$

9. Оформление графических материалов

$$t_{ож}^9 = \frac{3 \cdot 10 + 2 \cdot 20}{5} = 14\delta$$

10. Оформление расчётно-пояснительной записки

$$t_{ож}^{10} = \frac{3 \cdot 30 + 2 \cdot 35}{5} = 32\delta$$

11. Подведение итогов

$$t_{ож}^{11} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4\delta$$

Таблица 3.3 – вероятные значения продолжительности работ для каждого этапа $t_{ож}$

№	Наименование этапа	$t_{ож}$, дней
1	Постановка целей и задач. Получение исходных данных	1,8
2	Составление и утверждение ТЗ	3,8
3	Подбор и изучение материалов по тематике	9,8
4	Разработка календарного плана	1,8
5	Обсуждение литературы	1,4
6	Выбор схемы эксперимента	7,2
7	Настройка эксперимента	3,6
8	Проведение эксперимента	3,2

9	Оформление графических материалов	14
10	Оформление расчётно-пояснительной записки	32
11	Подведение итогов	1,4

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни.

Рассчитаем длительность каждого этапа в рабочих днях:

$$t_{p\partial} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д} \quad (3.2)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дней;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{вн} = 1$;

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{д} = 1-1,2$). В частности $K_{д} = 1,05$.

1. Постановка целей и задач, получение исходных данных

$$t_{p\partial}^1 = \frac{1,8}{1} \cdot 1,05 = 1,89\partial$$

2. Составление и утверждение ТЗ

$$t_{p\partial}^2 = \frac{3,8}{1} \cdot 1,05 = 3,99\partial$$

3. Подбор и изучение материалов по тематике

$$t_{p\partial}^3 = \frac{9,8}{1} \cdot 1,05 = 10,29\partial$$

4. Разработка календарного плана

$$t_{p\partial}^4 = \frac{1,8}{1} \cdot 1,05 = 1,89\partial$$

5. Обсуждение литературы

$$t_{p\partial}^5 = \frac{1,4}{1} \cdot 1,05 = 1,47\partial$$

6. Выбор схемы эксперимента

$$t_{p\partial}^6 = \frac{7,2}{1} \cdot 1,05 = 7,56\partial$$

7. Настройка эксперимента

$$t_{p\partial}^7 = \frac{3,6}{1} \cdot 1,05 = 3,78\partial$$

8. Проведение эксперимента

$$t_{p\partial}^8 = \frac{3,2}{1} \cdot 1,05 = 3,36\partial$$

9. Оформление графических материалов

$$t_{p\partial}^9 = \frac{14}{1} \cdot 1,05 = 14,7\partial$$

10. Оформление расчётно-пояснительной записки

$$t_{p\partial}^{10} = \frac{32}{1} \cdot 1,05 = 33,6\partial$$

11. Подведение итогов

$$t_{p\partial}^{11} = \frac{1,4}{1} \cdot 1,05 = 1,47\partial$$

Таблица 3.4 – длительность каждого этапа в рабочих днях $t_{p\partial}$

№	Наименование этапа	$t_{p\partial}$, дней
1	Постановка целей и задач. Получение исходных данных	1,89
2	Составление и утверждение ТЗ	3,99

3	Подбор и изучение материалов по тематике	10,29
4	Разработка календарного плана	1,89
5	Обсуждение литературы	1,47
6	Выбор схемы эксперимента	7,56
7	Настройка эксперимента	3,78
8	Проведение эксперимента	3,36
9	Оформление графических материалов	14,7
10	Оформление расчётно-пояснительной записки	33,6
11	Подведение итогов	1,47

Рассчитаем длительность этапов в календарных днях

$$T_{КД} = T_{р\delta} \cdot T_K \quad (3.3)$$

где T_K – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле.

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{в\delta} - T_{ПД}} \quad (3.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарных дней в году ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{в\delta}$ – выходных дней в году ($T_{в\delta} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничных дней в году ($T_{ПД} = 10$).

$$T_K = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205\partial$$

1. Постановка целей и задач, получение исходных данных

$$T_{КД}^1 = 1,89 \cdot 1,205 = 2,277\partial$$

2. Составление и утверждение ТЗ

$$T_{КД}^2 = 3,99 \cdot 1,205 = 4,81\partial$$

3. Подбор и изучение материалов по тематике

$$T_{КД}^3 = 10,29 \cdot 1,205 = 12,399\partial$$

4. Разработка календарного плана

$$T_{КД}^4 = 1,89 \cdot 1,205 = 2,277\partial$$

5. Обсуждение литературы

$$T_{КД}^5 = 1,47 \cdot 1,205 = 1,771\partial$$

6. Выбор схемы эксперимента

$$T_{КД}^6 = 7,56 \cdot 1,205 = 9,11\partial$$

7. Настройка эксперимента

$$T_{КД}^7 = 3,78 \cdot 1,205 = 4,555\partial$$

8. Проведение эксперимента

$$T_{КД}^8 = 3,36 \cdot 1,205 = 4,049\partial$$

9. Оформление графических материалов

$$T_{КД}^9 = 14,7 \cdot 1,205 = 17,714\partial$$

10. Оформление расчётно-пояснительной записки

$$T_{КД}^{10} = 33,6 \cdot 1,205 = 40,488\partial$$

11. Подведение итогов

$$T_{КД}^{11} = 1,47 \cdot 1,205 = 1,771\partial$$

Таблица 3.5 – длительность каждого этапа в рабочих днях $T_{КД}$

№	Наименование этапа	<i>T_{кд}</i>, дней
1	Постановка целей и задач. Получение исходных данных	2,277
2	Составление и утверждение ТЗ	4,81
3	Подбор и изучение материалов по тематике	12,399
4	Разработка календарного плана	2,277
5	Обсуждение литературы	1,771
6	Выбор схемы эксперимента	9,11
7	Настройка эксперимента	4,555
8	Проведение эксперимента	4,049
9	Оформление графических материалов	17,714
10	Оформление расчётно- пояснительной записки	40,488
11	Подведение итогов	1,771

Все найденные значения заносим в таблицу 3.6 и строим линейный график (таблица 3.7).

Таблица 3.6 – результаты организации и планирования работ |

№	Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
			t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{рд}$		$T_{кд}$	
						НР	И	НР	И
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Постановка целей и задач. Получение исходных данных	НР	1	3	1,8	1,89	–	2,28	–
2	Составление и утверждение ТЗ	НР; И	3	5	3,8	3,99	0,4	4,81	0,48
3	Подбор и изучение материалов по тематике	НР; И	7	14	9,8	3,09	10,29	3,72	12,4
4	Разработка календарного плана	НР; И	1	3	1,8	1,89	0,19	2,28	0,23
5	Обсуждение литературы	НР; И	1	2	1,4	0,44	1,47	0,53	1,77
6	Выбор схемы эксперимента	НР; И	6	9	7,2	7,56	3,78	9,11	4,56
7	Настройка эксперимента	НР; И	2	6	3,6	2,27	3,78	2,73	4,56
8	Проведение эксперимента	НР; И	2	5	3,2	1,01	3,36	1,21	4,05
9	Оформление графических материалов	И	10	20	14	–	14,7	–	17,71
10	Оформление расчётно-пояснительной записки	И	30	35	32	–	33,6	–	40,49
11	Подведение итогов	НР; И	1	2	1,4	0,88	1,47	1,06	1,77
	ИТОГО:				80,0	23,02	73,04	27,73	88,02

Таблица 3.7 – линейный график выполнения проекта

Этап	НР	И	Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	2,28	-	■										
2	4,81	0,48	■										
3	3,72	12,4		■	■								
4	2,28	0,23			■								
5	0,53	1,77				■							
6	9,11	4,56				■	■						
7	2,73	4,56					■	■					
8	1,21	4,05						■	■				
9	-	17,71							■	■			
10	-	40,49									■	■	
11	1,06	1,77											■

■ – НР; ■ – И.

3.2. Расчёт сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации всех работ:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

3.2.1 Расчёт затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Приближенно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 ÷ 20 %.

Таблица 3.8 – Затраты на материалы

№	Наименование материала	Цена за единицу, руб	Количество	Сумма C_{mat} , руб
1	Сталь 45, тонна	34 954	0,06	2 097,24
2	Сталь 40X13, тонна	84 840	0,06	5 090, 40
3	Сплав Д16Т, тонна	213 000	0,06	12 780
4	Сверло ружейное, шт	15 000	1	15 000
5	СОЖ Avantin 3309, л	1 000	150	150 000
ИТОГО:				184 967,64

Допустим, что ТЗР (транспортно-заготовительные расходы) составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$C_{mat} = \sum(матер) \cdot ТЗР \quad (3.5)$$

$$C_{mat} = 184967,64 \cdot 1,05 = 194216,022 \text{ руб}$$

3.2.2 Расчёт заработной платы

В данном подразделе рассчитываются заработная плата научного руководителя и исполнителя проекта. Также здесь учитываются премии и надбавки.

$$C_{зп} = 3П_{дн-г} \cdot \sum T_{рд} \cdot K_H \quad (3.6)$$

Для НР:

$$C_{зп} = 1342,1 \cdot 23,02 \cdot 1,699 = 52490,85 \text{ руб}$$

Для И:

$$C_{зп} = 616,75 \cdot 73,04 \cdot 1,699 = 76535,57 \text{ руб}$$

$$\Sigma C_{3П} = 52490,85 + 76535,57 = 129026,42 \text{ руб}$$

где $3П_{дн-т}$ – среднедневная тарифная заработная плата, руб.;

$T_{рд}$ – трудоёмкость выполнения проекта, рабочих дней;

K_H – коэффициент, учитывающий надбавку к заработной плате.

$$3П_{дн-т} = \frac{МО}{25,083} \quad (3.7)$$

Для НР:

$$3П_{дн-т} = \frac{33664}{25,083} = 1342,1 \text{ руб}$$

Для И:

$$3П_{дн-т} = \frac{15470}{25,083} = 616,75 \text{ руб}$$

где $МО$ – месячный оклад сотрудника, руб.;

25,083 – среднее количество рабочих дней в месяце при шестидневной рабочей неделе (в году 301 рабочий день).

$$K_H = K_{пр} \cdot K_{допзн} \cdot K_{рн} \quad (3.8)$$

$$K_H = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699$$

где $K_{пр}$ – коэффициент, учитывающий величину премии, руб. ($K_{пр} = 1,1$);

$K_{допзн}$ – коэффициент, учитывающий величину дополнительной зарплаты, руб. ($K_{допзн} = 1,188$);

$K_{рн}$ – коэффициент, учитывающий величину районной надбавки, руб. ($K_{рн} = 1,3$);

Таблица 3.9 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд зар. платы $C_{зп}$, руб.
НР	33 664	1 342,1	24	1,699	52 490,85
И	15 470	616,75	74	1,699	76 535,57
ИТОГО:					129 026,42

3.2.3 Расчёт затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту

$$C_{соц} = C_{зп} \cdot 30\% \quad (3.9)$$

$$C_{соц} = 129026,42 \cdot 30\% = 38707,93 \text{ руб}$$

3.2.4 Расчёт затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования.

$$C_{эл.об} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_{э} \quad (3.10)$$

Для станка:

$$C_{эл.об} = 11 \cdot 27 \cdot 5,748 = 1707,16 \text{ руб}$$

Для насосной станции:

$$C_{эл.об} = 4 \cdot 27 \cdot 5,748 = 620,78 \text{ руб}$$

$$\Sigma C_{эл.об} = 1707,16 + 620,78 = 2327,94 \text{ руб}$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{э}$ – тариф на 1 кВт·час (для ТПУ $C_{э} = 5,748 \text{ руб} / \text{кВт} \cdot \text{час}$ (с НДС));

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Время работы оборудования:

$$t_{об} = T_{РД} \cdot K_t \quad (3.11)$$

Для станка:

$$t_{об} = 27 \cdot 1 = 27 \text{ часов}$$

Для насосной станции:

$$t_{об} = 27 \cdot 1 = 27 \text{ часов}$$

где $T_{РД}$ – время работы оборудования, часов (для станка и насосной станции $T_{РД} = 27 \text{ ч}$);

K_t – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{РД}$ ($K_t \leq 1$).

Потребляемая мощность оборудования равна:

$$P_{об} = P_{ном} \cdot K_C \quad (3.12)$$

Для станка:

$$P_{об} = 11 \cdot 1 = 11 \text{ кВт}$$

Для насосной станции:

$$P_{об} = 4 \cdot 1 = 4 \text{ кВт}$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность оборудования (для станка $P_{ном} = 11 \text{ кВт}$; для насосной станции $P_{ном} = 4 \text{ кВт}$);

K_C – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой и средней мощности $K_C = 1$

Таблица 3.10 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час.	Потребляемая мощность оборудования $P_{об}$, кВт	Затраты $C_{эл.об}$, руб
Станок	27	11	1 707,16
Насосная станция	27	4	620,78
ИТОГО:			2 327,94

3.2.4 Расчёт амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Для вычисления амортизации используется формула:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{об} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D} \quad (3.13)$$

Для станка:

$$C_{AM} = \frac{0,125 \cdot 4000000 \cdot 27 \cdot 1}{2384} = 5662,75 \text{ руб}$$

Для насосной станции:

$$C_{AM} = \frac{0,167 \cdot 500000 \cdot 27 \cdot 1}{480} = 4696,88 \text{ руб}$$

$$\Sigma C_{AM} = 5662,75 + 4696,88 = 10359,63 \text{ руб}$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования (для станка 8 лет – обратная величина $H_A = 0,125$; для насосной станции 5 лет – обратная величина $H_A = 0,167$);

C_{OB} – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. Может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования ($n = 1$).

Таблица 3.11 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	Норма амортизации H_A	Балансовая стоимость оборудования C_{OB} , руб	Годовой фонд работы оборудования F_D , раб. часов	Фактическое время работы оборудования, часов	Амортизационные отчисления, руб
---------------------------	-------------------------	--	---	--	---------------------------------

Станок	0,125	4 000 000	2384	27	5 662,75
Насосная станция	0,167	500 000	480	27	4 696,88
ИТОГО:					10 359,63

3.2.5 Расчёт расходов, учитываемых непосредственно на основе платёжных (расчётных) документов (кроме суточных)

В представленной работе расходы по данной статье отсутствуют.

3.2.6 Расчёт прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{АМ}}) \cdot 10\% \quad (3.14)$$

$$C_{\text{проч}} = (184967,64 + 129026,42 + 38707,93 + 2327,94 + 10359,63) \cdot 10\% = 36538,96 \text{ руб}$$

3.2.7 Расчёт общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта:

Таблица 3.12 – Все затраты проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб
Материалы и покупные изделия	C_{mat}	184 967,64
Основная заработная плата	$C_{зн}$	129 026,42
Отчисления в социальные фонды	$C_{соц}$	38 707,93
Расходы на электроэнергию	$C_{эл.}$	2 327,94
Амортизационные отчисления	$C_{ам}$	10 359,63
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{нр}$	0
Прочие расходы	$C_{проч}$	36 538,96
ИТОГО:		401 928,52

Таким образом, затраты на проведение исследования составили

$C = 401\,928,52$ руб.

3.2.8 Расчёт прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. В данной работе прибыль следует принять в размере $5 \div 20\%$ от полной себестоимости проекта.

$$П = C \cdot 20\% \quad (3.15)$$

$$П = 401928,52 \cdot 20\% = 80385,7 \text{ руб}$$

3.2.9 Расчёт НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли.

$$НДС = (C + П) \cdot 20\% \quad (3.16)$$

$$НДС = (401928,52 + 80385,7) \cdot 20\% = 96462,84 \text{ руб}$$

3.2.9 Расчёт цены проекта

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС

$$ЦЕНА = C + П + НДС \quad (3.17)$$

$$ЦЕНА = 401928,52 + 80385,7 + 96462,84 = 578777,06 \text{ руб}$$

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Шевчук Антон Сергеевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (ИШНПТ)	ОМ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Тема работы: **Повышение размерной точности и качества поверхности глубоких отверстий при сверлении ружейными свёрлами на многооперационных станках**

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p style="text-align: center;"><i>Объектом исследования является процесс сверления глубоких отверстий ружейным свёрлами;</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Область применения:</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Машиностроительное, нефтегазовое производства.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, организация и оборудование рабочего места с ЭВМ;</i></p> <p><i>СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;</i></p> <p><i>ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны;</i></p> <p><i>СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;</i></p> <p><i>СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;</i></p> <p><i>ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”;</i></p> <p><i>СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 “Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)”;</i></p> <p><i>ГОСТ 12.1.019-2017. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;</i></p> <p><i>ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление;</i></p> <p><i>ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования;</i></p> <p><i>Техника пожарная. Требования безопасности.</i></p>

2. Производственная безопасность – Анализ выявленных вредных и опасных факторов – Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<i>Микроклимат; Высокое содержания вредных веществ; Высокий уровень шума; Недостаточная освещённость; Высокий уровень электромагнитного излучения; Воздействие электрического тока; Пожароопасность</i>
3. Экологическая безопасность	<i>Бумага, износившиеся картриджи печатного оборудования, а также различных других материалов (пластмасса, металл, резина и т.д.)</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	<i>Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.03.19
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп. ООД ШБИП	Романова Светлана Владимировна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Шевчук Антон Сергеевич		

Введение

В данном разделе рассматриваются вопросы организации рабочего места инженера-технолога в соответствии с нормами ГОСТ и СанПиН.

Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются с позиции исполнителя (инженера-технолога), связанного непосредственно с проведением исследовательского проекта. Рабочее место инженера-технолога – технологическое бюро.

Исследовательский проект посвящён сверлению глубоких отверстий ружейными свёрлами. В настоящее время стремительными темпами развивается мелкосерийное и единичное производство. Применение специальных станков для получения глубоких отверстий в таком производстве экономически нецелесообразно. Однако, сведения по применению инструментов с определённой базированием на многооперационных станках в технической литературе отсутствуют. Поэтому в данной работе приводятся рекомендации по применению ружейных свёрл в условиях единичного производства на многооперационных станках для получения глубоких и точных отверстий.

Результаты проведённого исследования ВКР могут применяться как научно-исследовательскими, так и производственными подразделениями машиностроительного и нефтегазового профиля. Исследование выполнялось в России г. Томск (Сибирь).

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Для рассматриваемой рабочей зоны специальные правовые нормы трудового законодательства отсутствуют. Режим работы инженера-технолога 40 часовая рабочая неделя при пятидневном режиме работы. Два 15 минутных перерыва в 10:00 и 15:00, а также часовой обеденный перерыв с 12:00-13:00. Оплата труда повременная. Компенсации за вредные условия труда отсутствуют. Социальное страхование в размере 5%, пенсионное обеспечение в размере 22% от месячной заработной платы.

Для обеспечения комфортности, эффективности и безопасности рабочего процесса необходимо, чтобы рабочее место соответствовало требованиям эргономики. Здесь важно выделить две основные составляющие: эргономика рабочего места и рациональность планирования всего рабочего пространства. Все необходимые вещи должны быть расположены так, чтобы сотрудник смог дотянуться до них просто вытянув руку, затратив на это минимум энергии. Стул должен быть максимально индивидуально настроен, чтобы сотрудник сидел в расслабленном состоянии. Монитор компьютера должен располагаться так, чтобы исключать перегрузку глаз и не вызывать затруднений при работе. При выполнении требований эргономики рабочего места и расположения рабочей зоны производительность труда возрастает на 15-25%, а утомляемость и негативное влияние на здоровье сотрудника снижаются. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, организация и оборудование рабочего места с ЭВМ должны проводиться по требованиям, указанным в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Требования к организации и оборудованию рабочего места с ЭВМ

Наименование показателя	Значение
Высота рабочей поверхности стола	Должна регулироваться. 680 - 800 мм; 725 мм при отсутствии регуляции
Пространство для ног: Высота Ширина Глубина на уровне колен Глубина на уровне вытянутых ног	не менее 600 мм не менее 500 мм не менее 450 мм не менее 650 мм
Ширина и глубина поверхности сиденья	не менее 400 мм
Регулировка высоты поверхности сиденья	400 - 550 мм
Угол наклона сидения: Вперед Назад	до 15 град до 5 град
Опорная поверхность спинки: Высота Ширина	300 ±20 мм не менее 380 мм
Угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах	±30 градусов
Регулировка расстояния спинки от переднего края сиденья	260 - 400 мм
Стационарные или съемные подлокотники: Длина Ширина	не менее 250 мм 50 - 70 мм
Регулировка: подлокотников по высоте над сиденьем внутреннего расстояния между подлокотниками	230 ±30 мм 350 - 500 мм
Подставка для ног: Ширина Глубина Высота Диапазон регулировки угла наклона подставки:	не менее 300 мм не менее 400 мм до 150 мм до 20°

4.2 Производственная безопасность

Методические рекомендации будут использоваться на разных производствах. Поэтому исследование вредных и опасных факторов на этих производствах является невозможным и требует дополнительного исследования.

В технологическом бюро, где находится различное оборудование могут быть следующие вредные и опасные факторы (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Вредные и опасные факторы для технологического бюро

Вредные факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этап работы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Микроклимат	+	-	-	СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [4].
Высокое содержание вредных веществ	+	-	-	ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [2].
Высокий уровень производственного шума	+	-	-	СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки [6].
Недостаточная освещённость	+	-	-	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий [5].
Высокий уровень электромагнитного излучения	+	-	-	ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты” [1]; СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)" [3].

Воздействие электрического тока	+	-	-	ГОСТ 12.1.019-2017. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [7]; ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление [8].
Пожароопасность	+	-	-	ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования [9]; ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности [10].

4.2.1 Метеоусловия

Показатели определяющие микроклимат следующие:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

Если температура воздуха высокая, то человек заметно больше потеет, так как приток крови к кожным покровам и органам увеличивается. Обратная ситуация наблюдается при низкой температуре. Кровеносные сосуды сужаются, что замедляет теплопередачу. Для хорошего самочувствия сотрудника нужно предусмотреть баланс показателей.

Повышенная влажность воздуха ($\varphi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ($\varphi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 5.1 [ГОСТ 12.1.005-88].

Для получения оптимальных показателей для микроклимата необходимо оградить работника от прямых солнечных лучей (в тёплое время), от остеклённых поверхностей (в холодное время).

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к технологическим, относится к категории лёгкой

тяжести работ I б. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Требования к микроклимату

Период года	Категория работы	Температура, °С оптимальная	Температура, °С предельно допустимая	Относительная влажность, % оптимальная	Относительная влажность, % предельно допустимая	Скорость движения воздуха, м/с оптимальная	Скорость движения воздуха, м/с предельно допустимая
Холодный	Средней тяжести II б	17 – 19	15 – 21	40 – 60	20 – 75	0,2	≤0,4
Теплый	Средней тяжести II б	20 – 22	15 – 27	40 – 60	20 – 70 (при 25 °С)	0,2	0,2 – 0,5

Наиболее важным мер по улучшению микроклимата является изоляция нагретых элементов и оптимизация воздухообмена в помещении.

Для технологического бюро, в котором проводилось данное исследование параметры микроклимата полностью соответствуют допустимым значениям. В момент проведения исследования (период года – холодный) показания были следующими:

1. Температура воздуха в помещении – 17-18°С;
2. Относительная влажность воздуха – 55%.

4.2.2 Вредные вещества

В условиях технологического бюро на специалиста может влиять целая масса вредных веществ, негативно сказывающихся на его здоровье. К этим веществам относятся химические вещества, выделяющиеся при работе копировальной аппаратуры – озон, оксид азота, селенистый водород (гидроселенид), стирол (винилбензол), ацетон, эпихлоргидрин, аммиака, кислоты, оксид этилена, также к вредным веществам относится бумажная пыль, образовавшаяся при работе с бумагой и другая пыль, попадавшая в помещение через систему вентиляции, кондиционеры, окна и т.д.

Неблагоприятное воздействие этих веществ на организм человека вызывает развития болезней (селикоз), в первую очередь органов дыхания, разрушая слизистую верхних дыхательных путей и лёгких. Также страдает кожные покровы человека. ПДК некоторых вредных веществ приведена в таблице 4.4. Таблица 4.4 – Предельно допустимая концентрация некоторых вредных веществ

Вещество	Технологический процесс	ПДК, мг/м³	Класс опасности
Аммиак	Диазопирование (светокопирование)	20,0	4
Азот оксида	Диазопирование (светокопирование), контактное копирование, электрография, полноцветные лазерные аппараты	5,0	3
Стирол	Электрография	5,0	3
Эпихлогидрин	Электрография	1,0	2
Бумажная пыль	Участок переплётно-брашнурочный	6,0	4

Для снижения вредных веществ на организм человек необходимо предусмотреть систему вентиляции, проветривание помещения, своевременное смена загрязнённых фильтров кондиционеров, техническое обслуживания копировальной техники (предупреждение выделения вредных веществ), использованная бумага должна не складироваться, а утилизироваться вовремя.

Согласно паспортным данным офисного оборудования требования к вредным веществам в данном технологическом бюро не превышены.

4.2.3 Производственный шум

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. Для технологического бюро

максимальное значение шума 45 дБА. То есть можно утверждать, что значение предельно допустимого уровня шума не превышено.

Если значение уровня шума превышают допустимые, то нужно позаботиться о СКЗ (средства коллективной защиты) и СИЗ (средства индивидуальной защиты).

Средства коллективной защиты

- ослабление или полное исключение шума в источнике;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- использование средств, которые снижают шум на пути его следования;

Средства индивидуальной защиты

- использование защитной обуви, одежды, средств по защите органов слуха.

4.2.4 Освещенность

Согласно СНиП 23-05-95 в цехе, где происходит постоянное наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 200 Лк.

Если освещённость достаточная, то у работника происходит повышение настроения, снижения психо-эмоционального напряжения, а также повышение производительности.

На столе не должно быть резкого контраста по цвету предметов (тени, цвета), а также это касается формы элементов.

Перед началом выполнения проекта в технологическом бюро значение освещённости соответствовало 285 Лк, что превышает минимально допустимое значение.

4.2.5 Электромагнитные поля

Электромагнитные поля оказывают специфическое воздействие на ткани человека, при воздействии таких полей, которые имеют значение излучения выше нормальной, вызывающих проблемы со здоровьем человека. Также эти излучения неблагоприятно могут влиять на работу электроприборов. Воздействие ЭМИ на человека нормируются по энергетической экспозиции, определяющейся интенсивностью ЭМИ радиочастотных диапазонов (ЭМИ РЧ) и временем воздействия (согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96). Нормы в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Нормы по электромагнитному излучению

Диапазоны частот	Предельно допустимая энергетическая экспозиция		
	По электрической составляющей, (В/м) ² ×ч	По магнитной составляющей, (А/м) ² ×ч	По плотности потока энергии (мкВт/см ²) × ч
30 кГц – 3 МГц	20000,0	200,0	–
3 – 30 МГц	7000,0	Не разработаны	–
30 – 50 МГц	800,0	0,72	–
50 – 300 МГц	800,0	Не разработаны	–
300 МГц – 300 ГГц	–	–	200,0

Для защиты от электромагнитного излучения могут помочь следующие способы:

Средства коллективной защиты (СКЗ):

- защита временем;
- защита расстоянием;
- экранирование источника (специальные экраны по ГОСТ 12.4.154);
- защита рабочего места от излучения;

Средства индивидуальной защиты (СИЗ):

- Очки и специальная одежда;
- Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO₂).

В используемом технологическом бюро источником электромагнитного излучения выступает монитор компьютера. В нашем случае значения электромагнитного излучения по электрической составляющей составляют $6000 \text{ (В/м)}^2 \times \text{ч}$, по магнитной составляющей $145 \text{ (А/м)}^2 \times \text{ч}$ при частоте 30 кГц – 3 МГц, что соответствует нормам.

4.2.6 Факторы электрической природы

Оборудование должно отвечать требованиям ГОСТ 12.1.019–79 (Электробезопасность). К главным причинам поражения током можно отнести касание к оголённым частям.

Среди распространенных способов защиты от поражения электрическим током при работе с электроустановками различают (СКЗ):

- защитное заземление;
- зануление;
- предохранительные устройства;
- изолирующие устройства и покрытия;
- знаки безопасности

К средствам индивидуальной защиты (СИЗ) можно отнести:

- диэлектрические силиконовые перчатки;
- классические указатели напряжений;
- любой инструмент, оснащённый диэлектрическими ручками;
- силиконовые диэлектрические коврики;
- изолирующие подставки

Помещение технологического бюро по классу электроопасности относится к 1 классу – помещение без повышенной опасности (сухие, безпыльные, со средней температурой воздуха, с изолирующими (чаще всего деревянными) полами). Оборудование в помещении по классификации

электрических цепей по напряжению входит в состав группы а – электрические сети напряжением до 1000В (220В).

Для работы на электроприборах допускаются лица возрастом не менее 18 лет, которые прошли инструктаж.

4.2.7 Пожароопасность

В процессе производственного цикла существует опасность возгорания. Причиной возгорания может являться замыкание в электросети оборудования, несоблюдения правил пользования электрооборудованием, а также курение в неположенных местах.

Согласно НПБ 105-03 бюро относится к категории В4 (пожароопасные). На любом участке пола помещения площадь каждого из участков пожарной нагрузки не более 10 м^2 .

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85.

Для первичного тушения возгорания (до прибытия пожарных) необходимо применять средства первичного тушения.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) нужно применять для тушения источника без наличия электричества. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители хорошо подходят для тушения пожара в зоне электронапряжения (до 1000 В).

Расположение огнетушителей должно быть легкодоступным для использования (высота расположения не более 1,35 м). Сооружения должны отвечать всем требованиям по пожарной безопасности.

4.3 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это проблема комплексного характера. Для её решения необходимо на предприятиях организовывать системы бережного и безотходного производства.

Для перехода к безотходным производствам в технологическом бюро нужно выполнять сбор бумаги, износившихся картриджей печатного оборудования, а также различных других материалов (пластмасса, металл, резина и т.д.).

Для более бережного воздействия на экологию нужно предусмотреть централизованный сбор мусора. Сортировку и переработку.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Технологическое бюро находится в городе Томск с континентально-циклоническим климатом. Для данного территориального расположения возможны морозы и диверсии. Остальные чрезвычайные ситуации маловероятны.

В данном регионе России (Сибири) часто наблюдаются значительное понижение температуры (морозы). Такие ситуации могут привести к повреждению трубопроводов водоснабжения, а также к обморожению людей. Если происходит разморозка труб, то должны иметься аварийные обогреватели. В случае обрыва линий электропередач, должны быть предусмотрены аварийные бензогенераторы для осуществления бесперебойного выпуска продукции.

В настоящее время часто возникают чрезвычайные ситуации из-за диверсий. Такие ситуации довольно часто не происходят в действительности. Однако стоит отметить, что такой благоприятный исход происходит не всегда.

Для предупреждения таких ситуаций необходимо задуматься о системе видеонаблюдения, пропускным пунктом, охраной, а также исключить распространение лишней информации. Сотрудники предприятий должны периодически сдавать экзамен по соответствующей подготовке. Д.

Заключение

После проведения исследования на выявление превышения вредных и опасных факторов можно утверждать, что рассматриваемое технологическое бюро является безопасным помещением для работы инженер-технолога. Однако, нужно систематически по графику проверки помещений выполнять повторный анализ на выявление вредных и опасных факторов. В целях предупреждения негативного влияния на комфортное самочувствие и здоровье сотрудников. Более того, соблюдение ПДК вредных и опасных факторов способствует повышению производительности и качества выполняемой работы. Также важно соблюдать экологическую безопасность для сохранения окружающей среды. Безопасность в чрезвычайных ситуациях обеспечивается своевременной подготовкой и знаниями возможных критических ситуаций.

5. SECTION IN ENGLISH

Приложение А

Modern designs of gun drills

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Шевчук Антон Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. ОМ ИШНПТ	Червач Ю.Б.	Канд. техн. наук		

Консультант – лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп. ОИЯ ШБИП	Ажель Ю.П.			

5.1 Modern designs of gun drills

5.1.1 Overview

Drilling deep holes with spiral drills, starting from the depth of $(3...5)D$, where D is the diameter of the hole, becomes ineffective, and often impossible at all. This happens primarily due to the low rigidity of the tool and the difficulties of supplying cutting fluid to the cutting zone and chip removal.

The small rigidity of the tool leads to the removal of the axes of the machined holes, as well as vibrations which reduce the accuracy of the dimensions and the quality of the surface layer of the holes.

The most effective way to reduce the removal of holes axes and improve the quality of the surface is the method of basing the working part of the tool on the treated surface of the deep hole. For this purpose the tool is provided with a special arrangement of the cutting blades, in which, under the action of the cutting force, the working part of the tool is pressed to the surface of the hole. This increases the accuracy of processing, and due to the smoothing action of the guides there is a decrease in the roughness of the hole surface.

Cutting tools working according to this principle are referred to one-sided cutting tools (with the certainty of basing): gun drills, BTA, ring, ejector, BTA boring tools and others. Other tools ~~are~~ used for obtaining deep holes are referred to the tools without certainty of basing: drills spiral, screw, etc.

Gun drills have the following advantages:

- high performance;
- high accuracy of the resulting holes IT 7-9;
- low roughness of the resulting holes $Ra\ 0,32...1,25$;
- small drift of the axes of the holes is $0.01...0.02\ \text{mm}/100\ \text{mm}$;
- easy tool refilling;
- the possibility of applying wear-resistant coatings on the working parts of the drill.

The gun drill consists of three main elements: a carbide cutting tip (working part), a steel tube rod with a V-shaped outer groove and a shank (figure 5.1) [39]

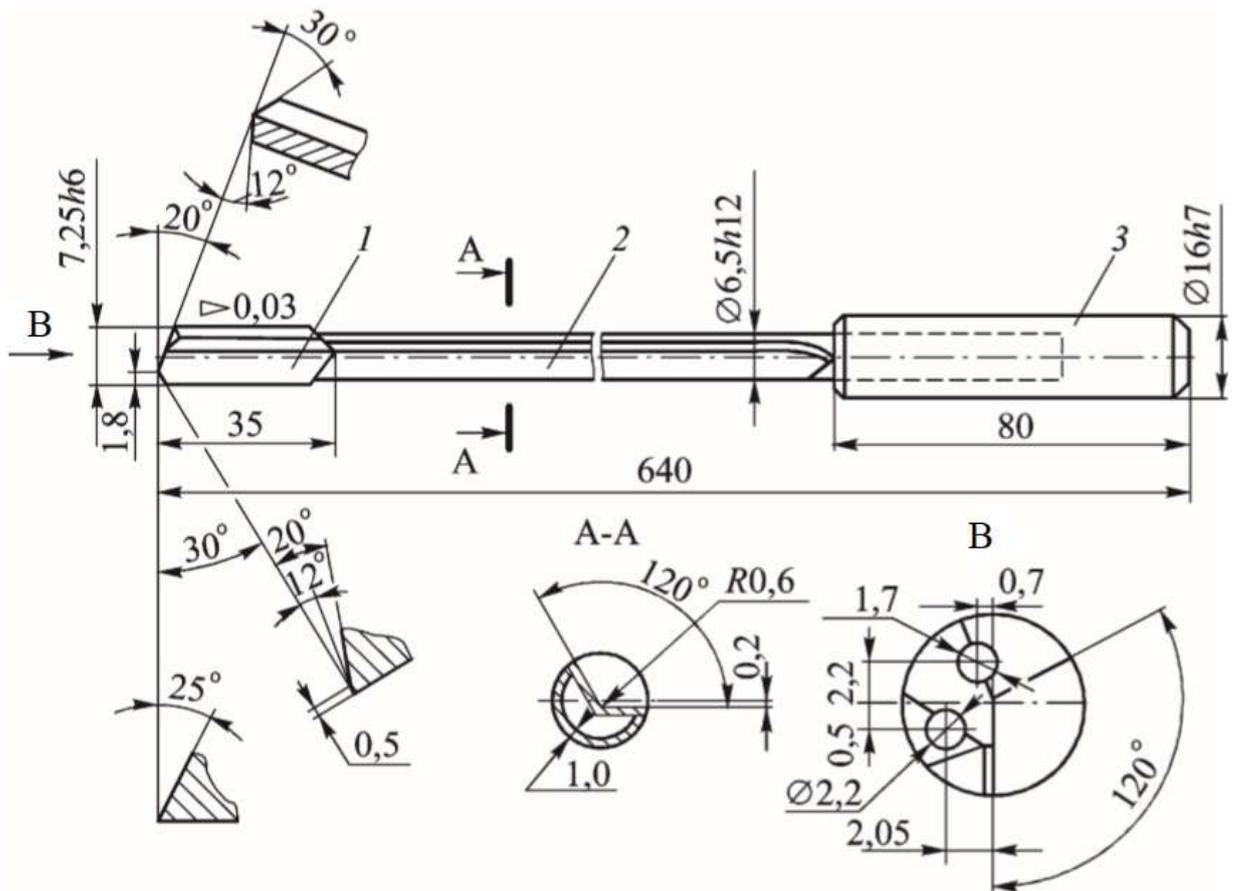


Figure 5.1 – Gun drill:

1 – a working part; 2 – stem; 3 – shank

The principle of operation of the gun drill is quite simple. During drilling, high-pressure coolant is fed into the cutting zone through a channel in the stem and a hole in the tip. Under the pressure, the chip is removed from the treatment area through the V-channel in the tool stem into the chip acceptor of the machine (figure 5.2) [39]:

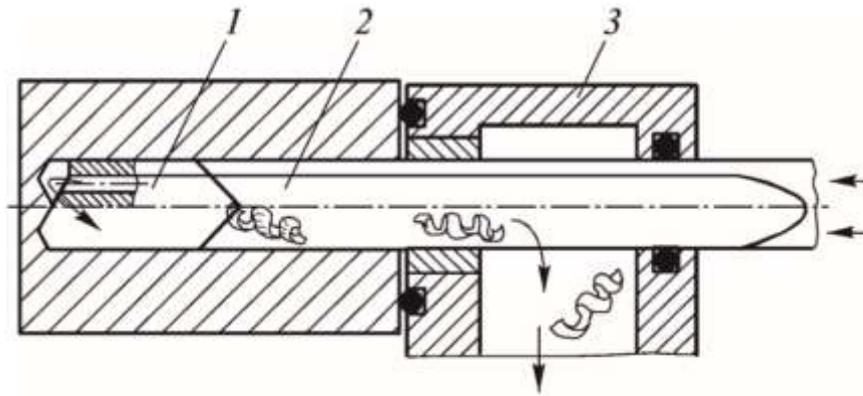


Figure 5.2 – Drilling a deep hole with a gun drill

1 – working part; 2 – stem; 3 – chip acceptor

5.1.2 Working part

Gun drill bits are solid carbide ($d=1,8...30$ mm) (figure 5.3, a), replaceable carbide ($d=10...20$ mm) (figure 5.3, b; figure 5.4), as well as prefabricated ($d=16...40$ mm) (figure 5.3, b; figure 5.5) of steel type 30HGSA, equipped with replaceable polyhedral plates (SMP) of hard alloy. Very seldom, cutting and guiding carbide SMP are soldered directly to the stem of the drill.

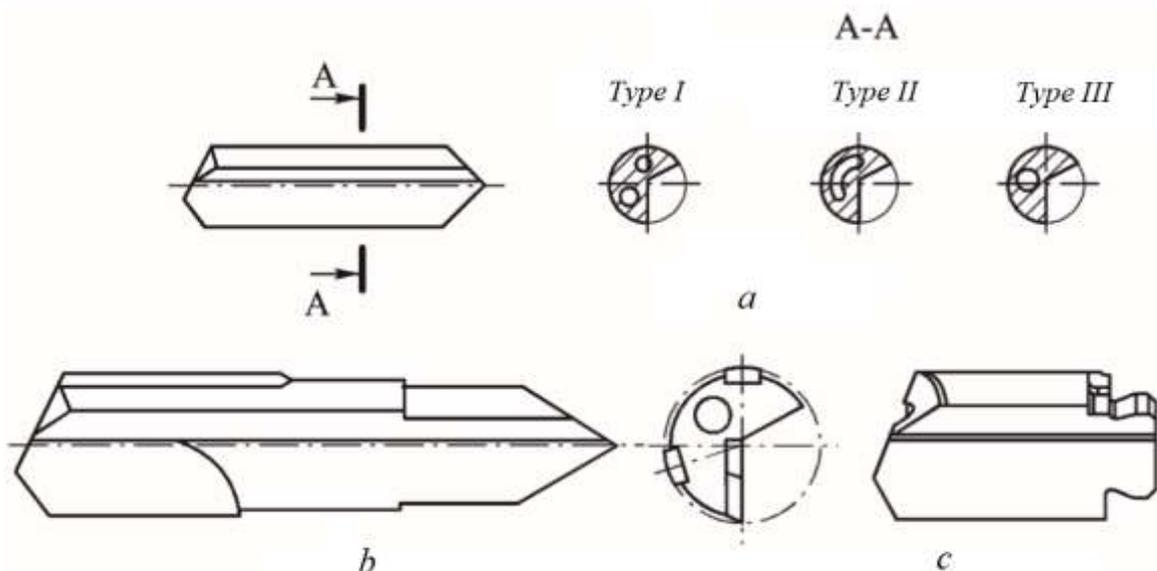


Figure 5.3 – Types of gun drill bits

a – solid carbide; *b* – prefabricated, equipped with soldered carbide plates;

c – replaceable carbide



Figure 5.4 – Precast gun drill with *Iscar* carbide replaceable tip

It is worth noticing that there are other designs of drills with NSR. For example, the company *Unitac* (Japan) produces gun drills with NSR having an original geometry, which has a positive effect on chip breaking (figure 5.5).

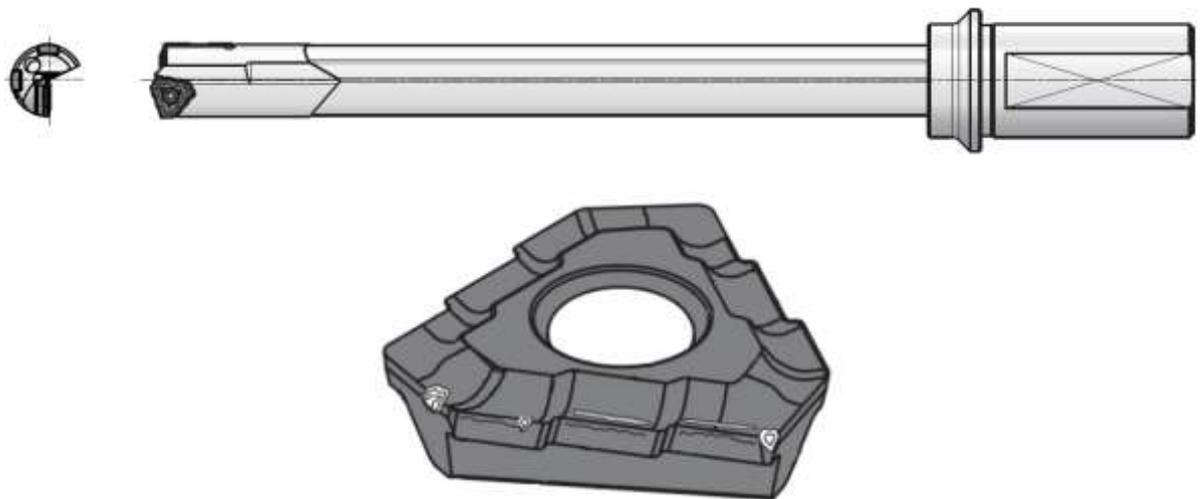


Figure 5.5 – Gun drill with SMP ? produced by *Unitac* company

The connection with the stem of carbide tips is performed by soldering with PSrMNns-49 solder according to TS 48-1-326-73 or using PSr40 according to

GOST 19739-74, with flux F284 according to TS 48-02-62-71 [40], and in the case of composite tips the connection is obtained by argon-arc welding. For a more reliable connection, the tips on one side are to have a wedge-shaped surface with a profile angle of 60...90°.

Tips of gun drills have a round or crescent-shaped holes for coolant supply and the outer V-shaped groove for chip removal with the angle equal to 120°.

The main elements of the carbide working part of the gun drill are shown in figure 5.6.

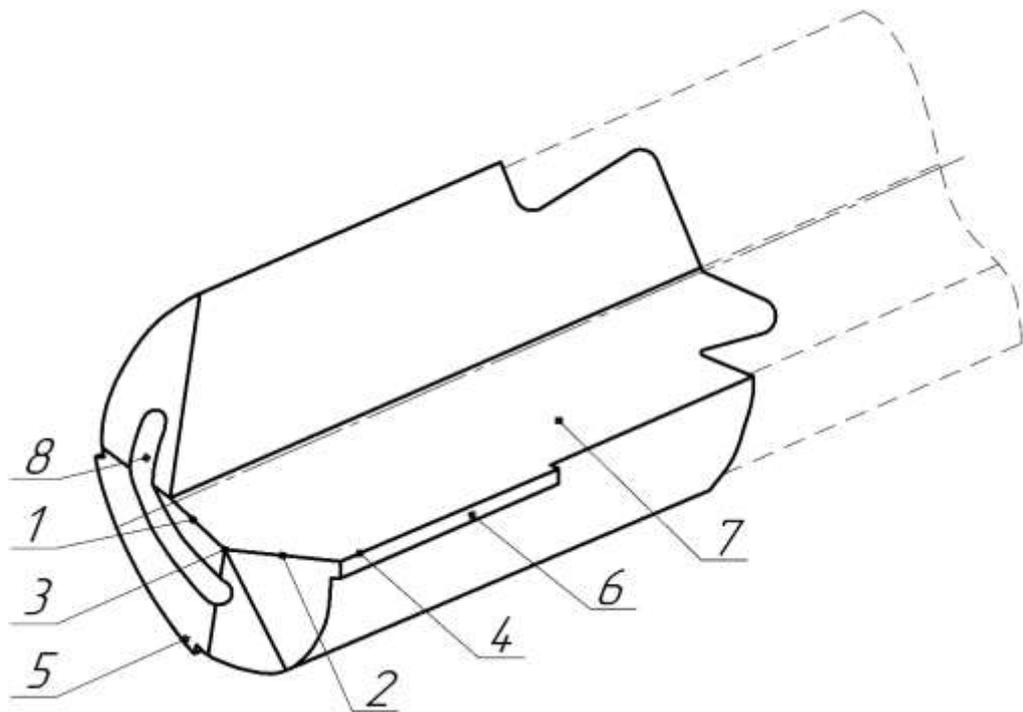


Figure 5.6 – Carbide tip (working part) of the gun drill

- 1 – the inner part of the main cutting edge; 2 – the outer part of the main cutting edge; 3 – top; 4 – auxiliary cutting edge; 5 – guide element; 6 – gauge ribbon; 7 – V-groove for chip removal; 8 – channel for coolant

Depending on the profile, the working parts of the gun drills are divided into two main groups (figure 5.7) [39]:

- Standard profile:

G – for drilling high-precision holes in most materials;

C – for drilling holes in structural, corrosion-resistant steels and difficult-to-process materials using water coolant.

• Special profile:

E – for drilling holes of low accuracy in any materials;

A – for drilling holes of low accuracy in any material under adverse drilling conditions;

D – for drilling grey cast iron, intersecting or inclined holes.

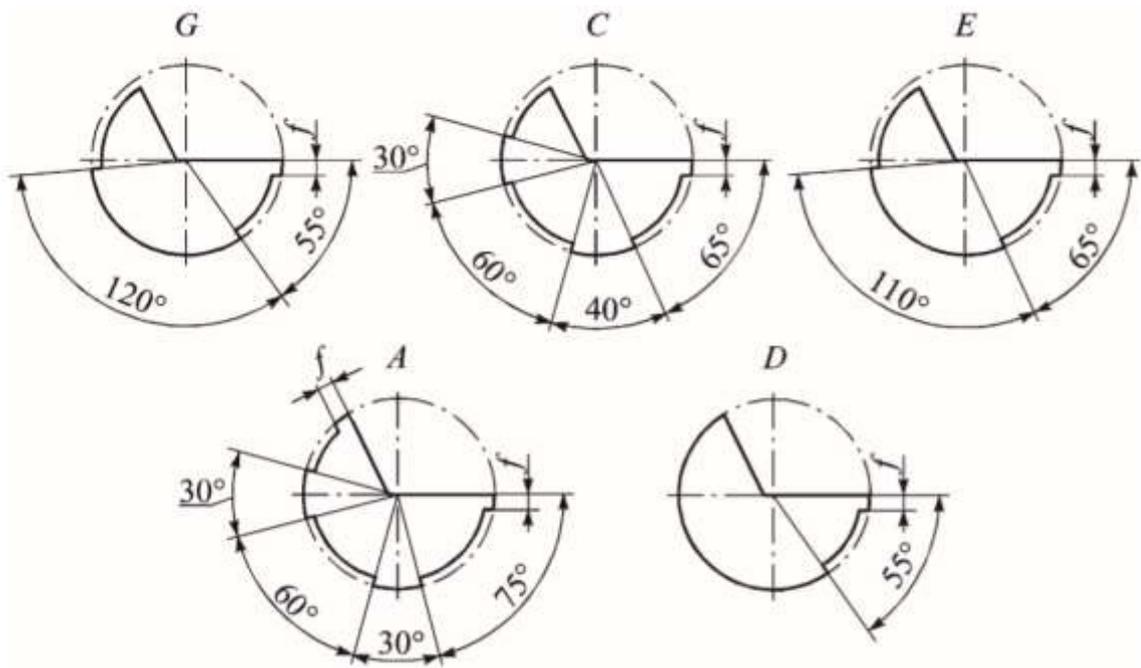


Figure 5.7 – Profiles of working parts of gun drills

The material for the production of the working part in our country is a single-carbide tungsten-cobalt hard alloy of VK6, VK6-M, VK6-TN, VK8 grades. The grain size of the carbide phase is 1.3...0.5 microns. As the grain size decreases, hardness, flexural strength increase, as well as the chipping of the cutting edge decreases. Moreover, when sharpening a fine-grained structure, it is possible to obtain sharper cutting edges, which is especially important for small-size gun drills ($d \leq 2$ mm).

Carbide tips are often made by pressing in split molds of two-sided action (figure 5.8) [41]. The coolant holes will be obtained either during the pressing.

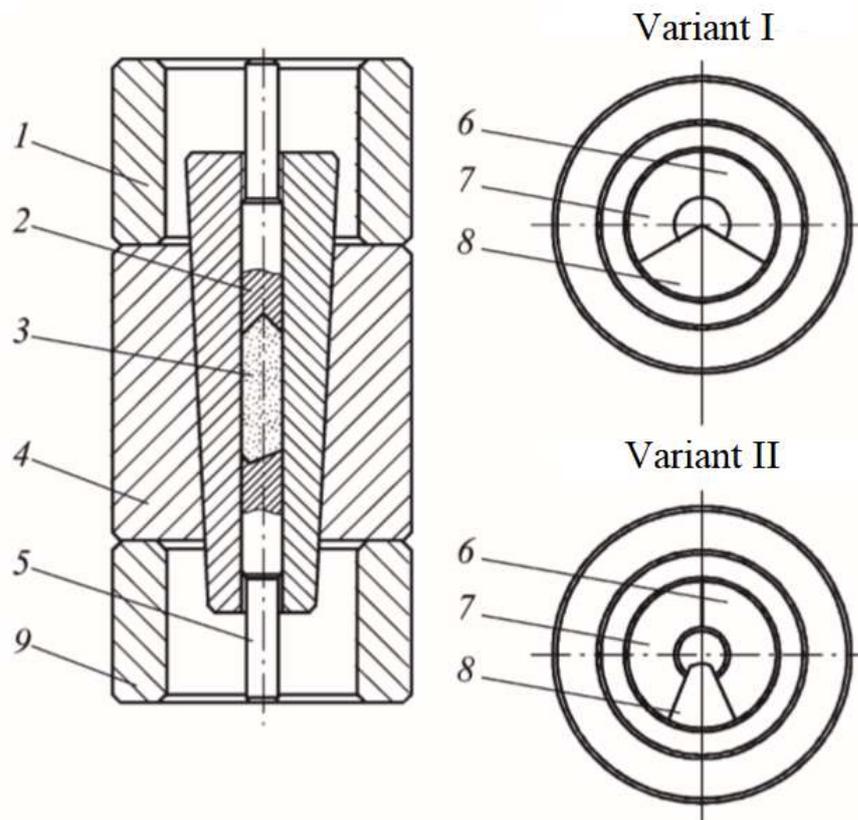


Figure 5.8 – Mold design "VNIInstrument" for pressing blanks carbide tips gun drills:

- 1, 9 – limiter; 2 – upper punch; 3 – workpiece-tip; 4 – clip; 5 – lower punch;
6, 7, 8 – three-piece Cup

5.1.3 Stem

Stems for gun drills can be solid carbide ($d=0,3...12$ mm) or steel ($d=1,8...30$ mm).

In the first case, the tip and stem are made of a solid carbide rod, which is soldered to the shank, fallen out of steel (figure 5.9) [39].

The advantages of this scheme include high strength and stiffness. Due to this fact, the operation of the tool can be performed at higher cutting conditions, which has a positive effect on «performance».

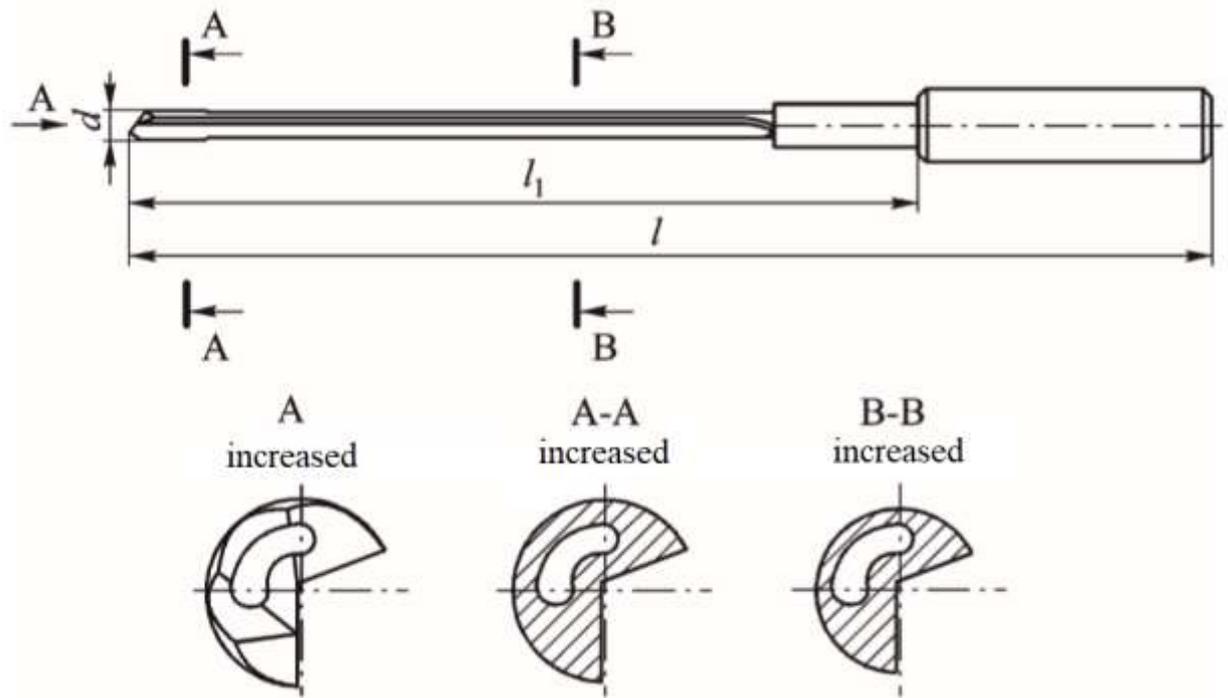


Figure 5.9 – Gun drill with carbide stem

Gun drills are produced with carbide stem by such firms as: *Botek*, *Guhring*, *Stock* (Germany), *Iscar* (Israel), *Tugaloy* (Japan), etc.

In the second case the drills consist of the hard-alloy working part soldered to a steel tubular stalk which, in turn, is soldered to a shank (figure 5.10). In our country, such stems are made of materials of grades 15HM, 20HM, etc. *Heller Bremen* (Germany) recommends the use of viscous low-alloy improved chromium-molybdenum steel grade 25CrMo4V [42]. "VNIInstrument" considers the use of precision pipes according to GOST 9567-75 of steel 30HGSA or 40HN2MA as the most optimal workpiece [42].

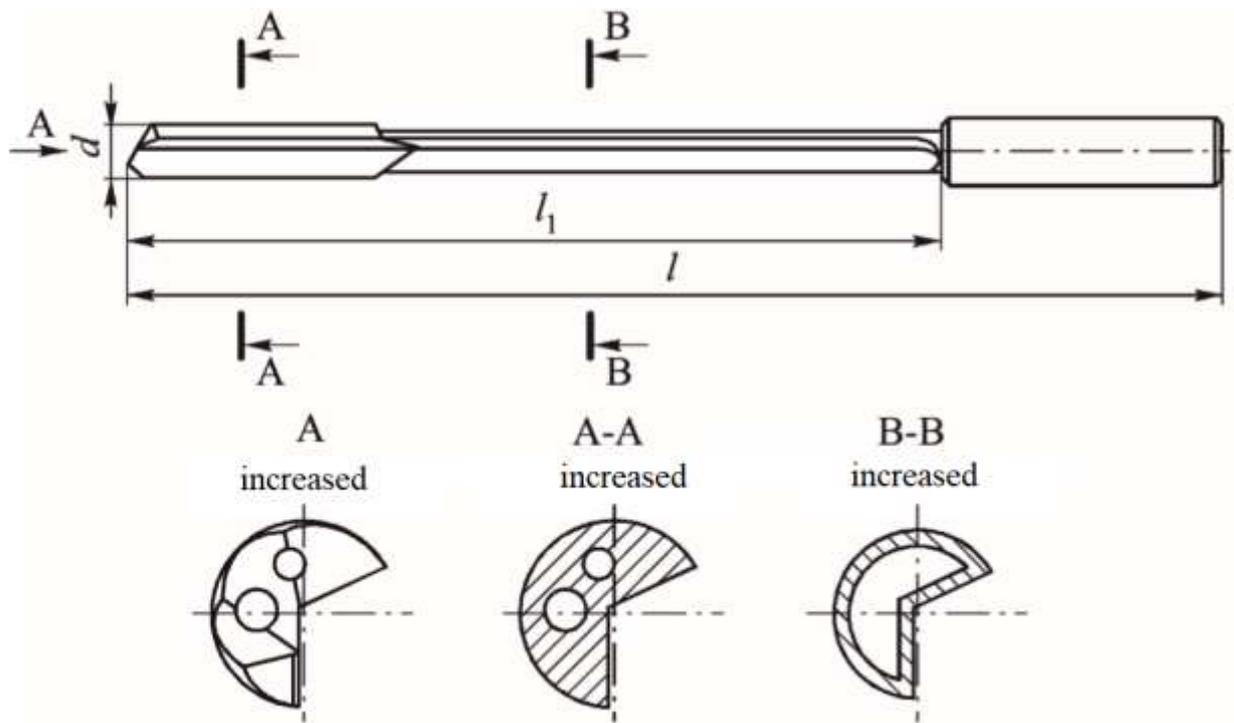


Figure 5.10 – Gun drill with steel stem

Gun drills with steel stem are produced by the firms: *Botek, Hammond* (UK), *Guhring, Stock* (Germany), *Iscar* (Israel), *Tugaloy* (Japan), etc.

V-shaped groove is obtained by cold rolling pipes. To exclude the "salting" of diamond circles, the groove on the front surface is performed at 0.2...0.3 mm below the corresponding surface of the tip.

After quenching in air to 35...40 HRC stems are subjected to multiple straightening to ensure deviation from straightness within 0.03...0.08 mm at the stem length of 400...1000 mm, respectively.

The diameters of the stems should be such as to prevent the latter from touching the treated surface of the hole. In accordance with this fact the equality $d_{ct} = 0,92d$ and a wall thickness of $S = (0,12...0,15) d_{ct}$. must be satisfied.

5.1.4 Shank

On the right side of the stem of the gun drill is soldered to the shank. As solder PrMNMts 68-4-2 according to TS 48-08-476-71, flux F100 according to TS 48-02-48-70 (70%) and dehydrated borax according to TS 48-4-376-75 (30%) are used.

The cylindrical shank is made of steel 45, 50 according to GOST 1051-73 or steel 40H, 45H according to GOST 4543-71 [41].

Depending on the ratio of the diameter of the stem d_{CT} and the diameter of the shank d_{XB} different connection options are chosen. For example, the company *Guhring* (Germany) offers three connection schemes (figure 5.11).

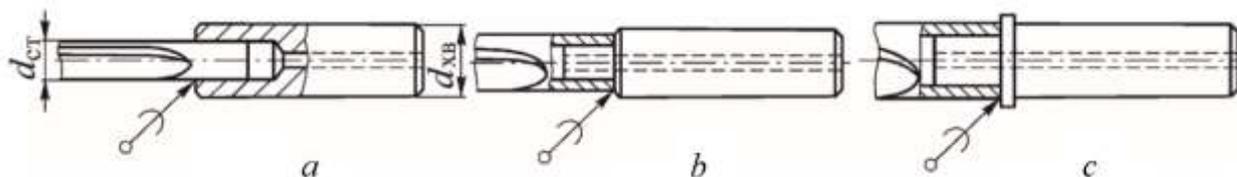


Figure 5.11 – Types of brazed joints of stems and shank of gun drills by *Guhring* (Germany):

$$a - d_{CT} < d_{XB}; b - d_{CT} \approx d_{XB}; c - d_{CT} > d_{XB}$$

In conclusion it is important to note that despite all the variety of designs of gun drills, in our country the most widespread drill bits are ones with steel stem and soldered carbide tip (figure 5.10).

5.2. Issue theoretical basis

Experimental determination of the cutting force components acting upon the gun drill [43]

The paper proposes an improved system of forces and moments acting on the gun drill. The forces and moments of forces are created in the process of drilling deep holes with the help of gun drills. These forces influence on tool. Under the action of these components reactive forces appear which increase the friction force against the surface of the hole (figure 5.12).

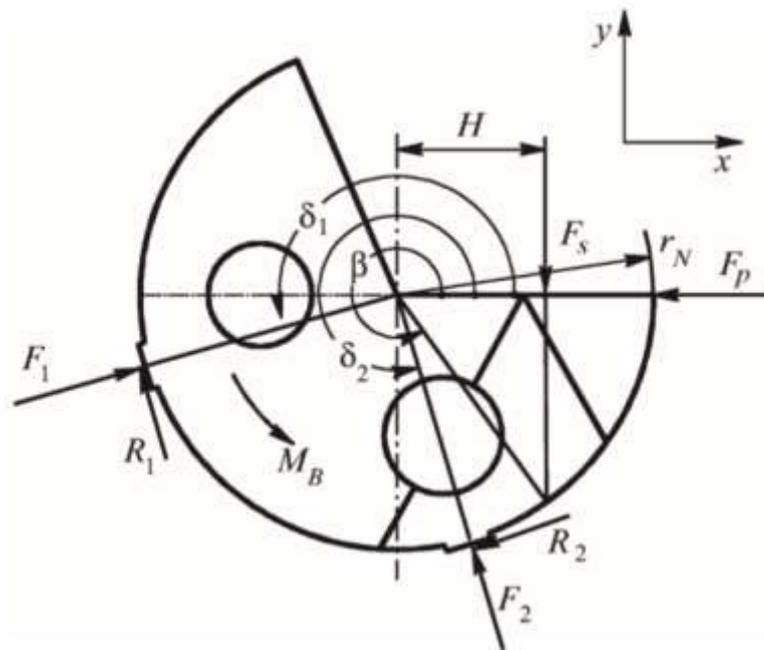


Figure 5.12 – Forces system acting on the gun drill

As a result, wear of carbide guides increases. This leads to increased vibrations, deterioration of the surface layer of the treated hole. The technique of the experimental determination of cutting force components against the tool is offered. The cutting forces of the main axes are determined as the main component of the cutting force and the radial component of the cutting force. Reactive components of the cutting forces of the principal axes, primarily their magnitude rather than direction, are also to be determined. The methods for determining the cutting forces, devices and equipment used to determine experimental cutting forces are considered in the methodology. Specific results of cutting forces determination during drilling

of duralumin D16T, flake graphite iron SCH21, steel 45 and 40H13 are given. All experimental results are presented in the form of graphs and polynomial equations, which allow us to calculate the strength, stiffness and longitudinal stability of gun drills. Such results are necessary for the reasonable choice of design parameters of the tool under certain conditions of deep hole drilling [43].

Retrofitting coolant system of machining [44]

It is not recommended to use special machines for drilling deep holes when drilling a deep hole with gun drills in the conditions of a single production. This is due to many factors, for example, the machine of this type in a single production does not pay off. As a result, the idea to use a wide-purpose multi-operation machine for drilling deep holes was proposed (figure 5.13).



Figure 5.13 – CNC Lathe GOODWAY GLS-1500

However, during the experiment there was a problem related to the pumping station. The machine of this kind is equipped with a pump station of low (standard) pressure, which does not provide the pressure required when drilling deep holes. The study is devoted to upgrading the pumping station of the multi-operation machines. Together with the firm "Pampunion" (Russia), a high-pressure pumping station with a diaphragm pump manufactured by the USA was installed (figure 5.14).

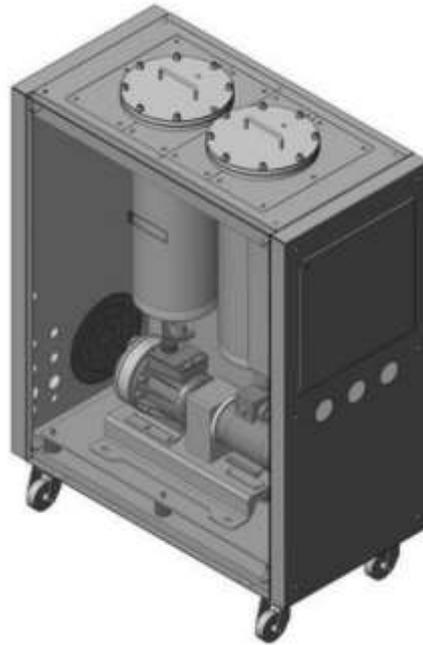


Figure 5.14 – General view of the autonomous hydraulic unit (side wall removed)

The modernized machine has two pumps. The first pump is a low-pressure centrifugal pump that supplies cutting oil from the tank to another pump. The second one is a high-pressure pump, which provides the main pressure in the process of deep holes drilling.

After upgrading the multi-operation machines, there will be an opportunity to drill deep holes with gun drills in terms of a unit production. This is a definite plus [44].

Selecting cutting oil for gun drilling on a machining center [45]

The paper proposes a method for choosing the brand of cutting oil for drilling deep holes on multi-operation machines. It is necessary to consider all the peculiarities of multi-operation machines due to the fact that in a single machine-building production it is not recommended to use special machines. These features include a variety of parameters, for example, the type of cutting oil used to cool the (machine- contrivance- tool-part) (MCTP) system. The work introduces the reader to a very important and delicate point when drilling deep holes on multi-operation machines. The fact is that the machines are widely used not only for drilling deep

holes, but also for a variety of other technological operations. Based on this fact, the authors conclude that the oil-based cutting oil mustn't be used, as it will cause the inability to perform other technological operations using a multi-operational machine. Therefore, the authors of the research recommend to use a water-based cutting oil when working on such machines. This will allow saving an ability of multi-operational machine to perform different technological operations. However, water-based cutting oil have a negative effect on the quality of surface of deep holes.

It is proposed to use two criteria for the selection of the most effective cutting oil: the coefficient of friction of the “workpiece material – cutting tool material” pair in the medium of the cutting oil under study and the particle size of the dispersed phase of the cutting oil. The results of the investigation of the friction coefficients and particle size distribution of the three water-based cutting oil performed with the use of a tribometer and a particle size analyzer are presented [45].

Requirements for oil-based cutting oil applied for deep hole drilling with small diameter gun drills [46]

The paper deals with oil-based cutting oil. For deep hole drilling with gun drills special machines for deep drilling are used. These machines require a number of factors for successful operation. One of them is the availability of high – quality oil-based cutting oil. Oil-based cutting oil is used for the reason that when drilling with tools of certain basing a large amount of energy is spent on the friction of the carbide guides on the surface of the treated deep hole. At the point of contact of the carbide guide and the surface of the hole, the temperature increases to very high values, which is bad for the quality of the surface layer of the deep hole. In this regard, the authors of the work make it clear to the reader that the use of oil-based cutting oil would strongly reduce the friction force between the carbide guides and the surface of the deep hole. This in turn will reduce the temperature at the point of contact and thus prevent damage to the surface of the deep hole. The work presents the requirements for the oil-based cutting oil for such technological operations as

processing a deep hole with gun drills of small diameters. Moreover, the study clarifies the points related to the cleaning of oil-based cutting oil.

Oil cutting oil used for small diameter gun drilling must meet the following requirements: 1) the presence of chemically active additives (S, P, Cl); 2) low viscosity; 3) a narrow temperature range (20...55°C); 4) high quality filtering (5...20 mm). Chemically active additives are desirable due to their ability to create solid lubricant films on machined surface. Cutting oil temperature is limiter due to aging of the liquid at temperatures above 55°C and negative impact of cutting oil vapor on human health. Filtering fluid from chips and sludge deposits promotes longer life of cutting oil, tool and quality of machined holes. For this purpose, for example, a two-stage purification system with magnetic conveyor and a gravity drum filter is used, where the non-woven materials based on viscose are used as filter cloth [46].

Peculiarities of cutting with small diameter gun drills [47]

The paper covers the issues of drilling deep holes with small diameter gun drilling. In the process of deep holes drilling in particular with gun drills of minor diameter such a question is not so acute. The authors present general information concerning the processing of deep holes with gun drills. In the process of drilling deep holes with gun drills an unbalanced system of forces acting on the gun drill is created. This is the main secret of the BTA method tools. In other words, an unbalanced force system is specifically created, due to which a radial component of the cutting force occurs. This radial component serves as a clamp. In other words, this force presses the certainty-based tool to the surface of the machined deep hole. This significantly reduces the withdrawal of the deep hole axis from the theoretical axis and the breakdown of the hole diameter. The authors of the scientific work notice that when drilling deep holes with gun drills of small diameters the situation is worse. Due to the small diameter the cut material thickness is very small. Because of this clamping force is not enough for high-quality processing of deep holes. In deep holes, using gun drills of small diameter for thin layers of metal is impossible

as their thickness becomes comparable with the radius of the cutting edge rounding. In this case, theoretically, the cutting process can not be performed [47].

Accuracy and roughness of surfaces of deep holes obtained by gun drills of small diameters [48]

The scientific work is devoted to the study of the influence of cutting conditions and profiles of the working parts of the gun drill on the diametrical accuracy and roughness of the surface layer of deep holes. The peculiarity of the research is that the tools of small diameters are used. In connection with this fact, there are many difficulties that increase the complexity of the experiment. For example, when processing deep holes of small diameters, the thickness of the cut chips is extremely small and therefore small and the radial component of the cutting force, which is responsible for pressing the gun drill to the surface of the processed deep hole. This in turn affects the withdrawal of the axis of the hole and the breakdown in the diametrical direction. Changing the cutting conditions, the authors try to find the optimal range in which the drilling gun drill with a diameter of 2,05 mm the quality of the surface layer of the deep hole will be better. The paper also discusses the relationship between the profile of the working part of the tool and the quality of the surface layer of the deep hole. There are six main profiles of the working part of the gun drill (figure 5.15).

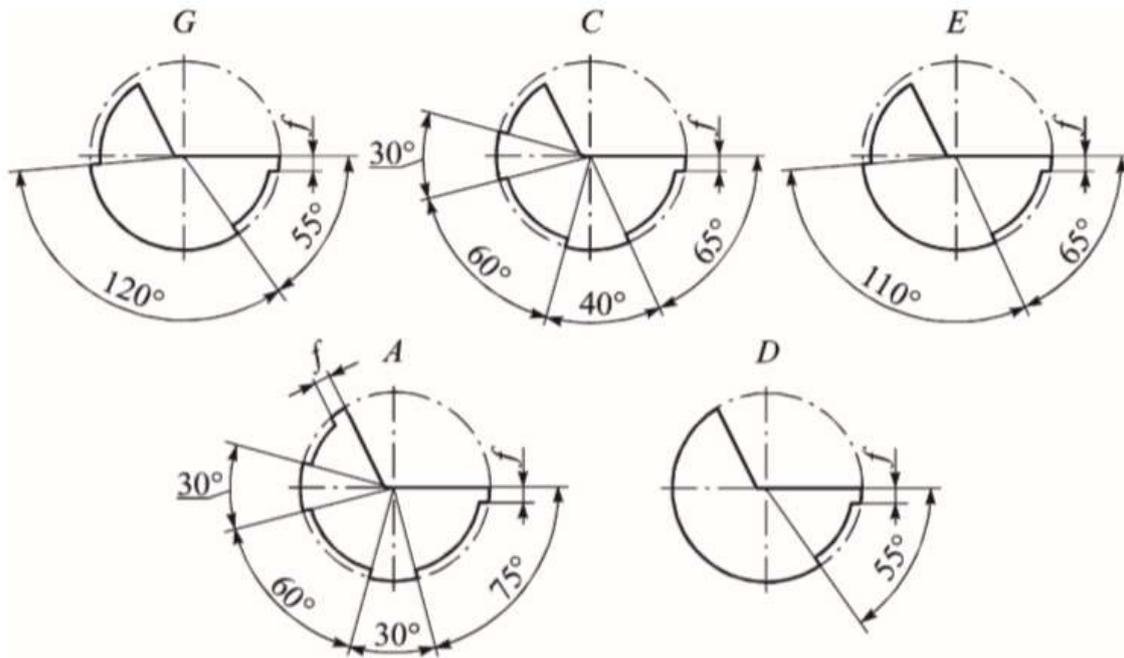


Figure 5.15 – Profiles of tips of gun drills produced by *Guhring* company
(Germany)

The authors experimentally select the most optimal profile of the working part of the tool [48].

Precision and surface roughness of the holes produced with small diameters gun drill [49]

The work introduces the reader to the relationship between the quality of the surface layer of the deep hole, the diametrical accuracy and wear-resistant coating applied to the tool. When performing deep hole drilling with certainty-based tool in present wear-resistant coatings are in high demand. When processing a deep hole with an uncoated tool, its overall resistance is significantly reduced. During the technological operation on the drill acts several destructive factors. The most important of them is the temperature. Despite the fact that in our time the process of drilling deep holes is not performed without cutting oil temperature in the cutting zone of the material is very high. This fact proves that the friction forces between the carbide guides and the treated surface of the deep hole are of great importance. The authors of the scientific work focus on this fact and offer and recommend using when drilling deep holes with gun drill of small diameters wear-resistant coatings of

different types. The use of wear-resistant coatings according to the authors increases the overall durability of the gun drill many times. In addition, the paper discusses the advantages of using a gun drill with a carbide rod in contrast to conventional steel. X-ray fluorescence analysis revealed the presence on surface holes solid lubricants sulfide films that reduce frictional forces and surface roughness of deep holes [49].

Selection of cross-section profile of carbide stem of gun drill [50]

In the scientific work the issues related to the selection of the profile cross section of the stem of carbide gun drill are examined. The study considers the strength conditions of tungsten carbide stems. During the processing of deep holes with a gun drill, many power factors affect the stem of the tool. The most significant of them are torsion and bending. Having cutting force on the workpiece, the tool will be affected by the cutting force reacting components causing dangerous type of loading tool stem as a torsion. In addition, deep hole drilling is accompanied by some withdrawal of the hole axis from the theoretical axis of the hole. This error handling immediately causes a type of loading like bending solid carbide gun drill stem by the same amount. The profiles of the carbide stem of the gun drill come in different types (figure 5.16) [50].

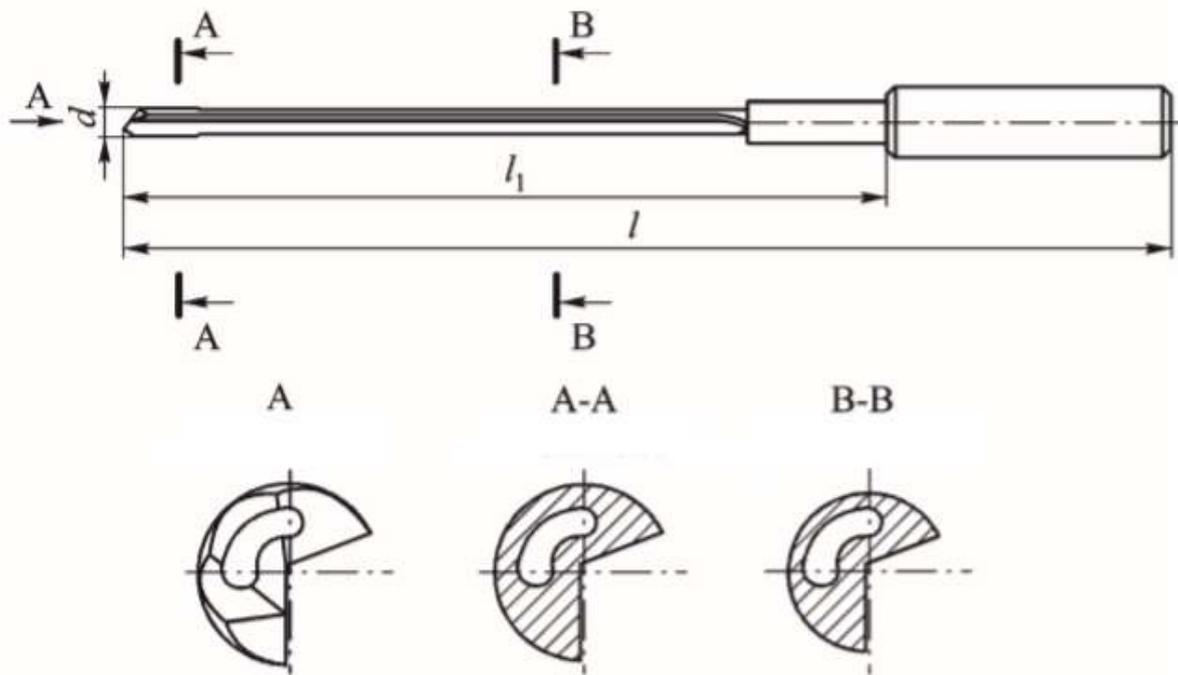


Figure 5.16 – Gun drill with carbide stem

Software for automated calculation of the gun drill stem deflection [51]

Scientific work introduces the reader to such a question as the effect of reactive power load on the bending of the stem of the gun drill. When performing deep hole drilling on machining machines with gun drills, unbalanced system of forces occurs. Such a system of forces has both advantages and disadvantages. The authors consider the emergence of large values of reactive components to be the main disadvantage, which negatively affects the strength characteristics of the tool stem. The gun drill changes the form in the process of deep hole. There are three variants of drilling. It will be possible to observe the bending of the stem gun drill within acceptable bounds. This is, of course, an undesirable phenomenon, but nevertheless, in this case, the deep hole processing can continue. The second case is a certain mean value. The value of the bending moment exceeds the recommended, but is within the permissible limits. The situation the authors describe as: gun drill Stem under the action of weight training will be curved to such an extent that it becomes possible touch with the processed surface of the hole. This is definitely undesirable, as it will cause damage to the treated surface or breakage of the tool, which will immediately lead to an emergency stop of the operation. And the third

case is a critical one. The authors argue that if the bending moment acting on the stem of the gun drill exceeds the permissible value, then these will be followed by an immediate breakage of the tool. Thus, the authors make the relevance of this scientific work. Explaining this by the fact that it is necessary to be able to determine the simplest ways to bend the arrow of the stem of the gun drill.

When deep and precise holes are being drilled with gun drills at multifunction machining centers, the tool stem bends, affected by the power load impact. It may cause the stem to touch the machined hole's surface and result in a failure of the tool. To rule out such contact, it is critical to know the stem bend deflection, determined analytically. Calculation of the bend deflection, in its turn, requires determination of the geometric characteristics of the stem, computed using the finite element method. Therefore, specialized software has been developed for automated calculation of the required geometrical characteristics and elastically deformed state of the gun drill stem. The software allows calculating bend deflections of gun drills and, thus, preventing the tool's stem from touching the machined hole surface during the drilling process.

Such automated software, according to the authors, will make it possible to calculate the deflection boom of the tool stem in the easiest and most productive way [51].

Tool life tests of small diameter gun drills [52]

The work is devoted to the study of wear-resistant coatings. Currently, there are quite a lot of types of wear-resistant coatings. Analysis of each type of coating will improve the productivity and efficiency of deep hole machining with small diameter shotguns.

The results of life tests of gun drills with different wear-resistant coatings (TiN, AlTiN, TiCN) are given. It was found that the lowest resistance provide by gun drills with cemented carbide stems and TiN. By Fourier transform infrared spectroscopy confirmed the possibility of oxidation of TiN coating due to formation the oxides of the supporting parts and machined holes (FeO, Fe₂O₃, TiO₂). Is a

photomicrograph of the wear of working parts of gun drills, as well as information on changes in the process of drilling the cutting edges microgeometry are presented. By energy-dispersive X-ray spectroscopy revealed the presence of built-up edge on the tools [52].

Список литературы

1. Кожевников Д.В. Современная технология и инструмент для обработки глубоких отверстий: обзор. М.: НИИМАШ, 1981. 60 с.
2. Минков М.А. Технология обработки глубоких точных отверстий. М.–Л.: Машиностроение, 1965. 176 с.
3. Обработка глубоких отверстий / Н.Ф. Уткин, Ю.И. Кижняев, С.К. Плужников и др.: под общ. ред. Н.Ф. Уткина. Л.: Машиностроение, 1988. 269 с.
4. Троицкий Н.Д. Глубокое сверление. Л.: Машиностроение, 1971. 176 с.
5. Кононенко С.Г. Обработка глубоких отверстий. М.: Машиностроение, 1964. 41 с.
6. Медведев Д.Д. Точность обработки в мелкосерийном производстве. М.: Машиностроение, 1973. 120 с.
7. Ketter L.C. The Gundrilling Handbook. USA, Cambell Viking Press. 2004. 112 p.
8. Lobbe H. Tiefbohren auf Bearbeitungscentren. Diss. Universitat Dortmund. 2003. 149 s.
9. Ружейные свёрла. Проспект фирмы *Botek*.
10. Кирсанов С.В. Станки для обработки глубоких отверстий // Справочник. Инженерный журнал, №8 (53), 2001. С. 46-49.
11. Sturenburg O.H. Zum Mittenverlauf beim Tiefbohren. Ursachen, Messung und Verringerung der Mittenabweichung von Bohrungen in der Metallbearbeitung. Diss. Stuttgart: Institut fur Werkzeugmaschinen, 1983, 113 s.
12. Многооперационные станки ружейного сверления. Проспект фирмы *Mollart*.
13. Станки с ЧПУ для сверления глубоких отверстий. Проспект фирмы *AUERBACH*.
14. Туктанов А.Г. Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия. М.: Машиностроение, 2007. 375 с.

15. Шашков В.П., Шатин Ю.В. Устройство для сверления глубоких отверстий в трубных решётках титановых теплообменников // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 1997, №5. С. 44-45.
16. Модернизация насосной станции многооперационного станка / Семченко А.В., Самсонов А.А., Кирсанов С.В., Цыганков Р.С. Справочник. Инженерный журнал, 2017 №6, с. 40-42.
17. Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) Avantin. Проспект фирмы *Bechem*.
18. ГОСТ 24642 – 81. Допуски формы и расположения поверхностей. – Введ.1981. – 01.07. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 45 с.
19. ГОСТ 2789 – 73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики – Введ.1975. – 01.01. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 6 с.
20. Кирсанов С.В. Обработка глубоких отверстий в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2009. – 296 с.; ил.
21. Попов М.Е. Расчёт усилий и деформация при выглаживании поверхностей // Вестник машиностроения № 8. – М.: Машиностроение, 1975 – С. 69-74.
22. Стратечук О.В. Исследование процесса обработки точных отверстий твердосплавными развертками одностороннего резания: Дисс. канд. техн.наук. Томск, ТПИ, 1981. – 181 с.
23. Трение скольжения [Электронный ресурс] // Википедия: [сайт]. – Режим доступа: https://ru-wiki.ru/wiki/Трение_скольжения, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 25.02.2019)
24. ГОСТ 25.503 – 97. Расчёты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытания на сжатие – Введ.1999. – 01.07. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 25 с.
25. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента. М.: Машиностроение, 2011. 368 с.
26. Кирсанов С.В., Гречишников В.А., Бабаев С.А. Инструментальное обеспечение сверления глубоких и точных отверстий малых диаметров /

- под общ. ред. С.В. Кирсанова. М.: Инновационное машиностроение, 2016. – 188 с.
27. Методические указания к выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» для всех специальностей/ сост. В.Ю. Конотопский; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 29 с.
 27. ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”
 28. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
 29. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
 30. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
 31. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
 32. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
 33. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
 34. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
 35. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
 36. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
 37. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
 38. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
 39. Kozhevnikov D. V. Modern technology and tools for processing deep holes: review. М: NIIMASH, 1981. 60 PP.

40. Minkov M. A. Technology of processing of deep accurate holes. M.–L.: Mechanical Engineering, 1965. 176 p.
41. Deep hole machining / N. F. Utkin, Y. I. Kizhnyaev, S. K. Pluzhnikov, etc.: ed. by N. F. Utkin. L.: Mechanical Engineering, 1988. 269 p.
42. Troickiy N. D. Deep drilling. L.: Mechanical Engineering, 1971. 176 p.
43. Kirsanov S.V., Tsigankov R.S. Experimental determination of the cutting force components acting upon the gun drill. Journal – «Mechanical engineering», National Research Tomsk Polytechnic University, 239 (2), 2017, pp. 26-28.
44. Semchenko A.V., Samsonov A.A., Kirsanov S.V., Tsygankov R.S. Retrofitting coolant system of a machining. Journal – « Mechanical engineering », «PampYunion», National Research Tomsk Polytechnic University, 243 (6), 2017, pp. 40-42.
45. Kirsanov S.V., Chekantseva L.V., Tsygankov R.S. Selecting cutting oil for gun drilling on a machining center. «Handbook. An engineering journal with appendix». National Research Tomsk Polytechnic University., 248 (11), 2017, pp. 3-9.
46. Kirsanov S.V., Babaev A.S. Requirements for oil-based cutting oil applied for deep hole drilling with small diameter gun drills. «Handbook. An engineering journal with appendix». National Research Tomsk Polytechnic University., 211 (10), 2014, pp. 7-10.
47. Kirsanov S.V., Babaev A.S. Peculiarities of cutting with small diameter gun drills. «Handbook. An engineering journal with appendix». National Research Tomsk Polytechnic University., 217 (4), 2015, pp. 37-39.
48. Kirsanov S.V., Babaev A.S. Accuracy and roughness of surfaces of deep holes obtained by gun drills of small diameters. Journal – «Mechanical engineering», National Research Tomsk Polytechnic University, (1), 2015, pp. 58-60.
49. Kirsanov S.V., Michaeovich E.P., Babaev A.S. Precision and surface roughness of the holes produced with small diameters gun drill. «Handbook. An engineering journal with appendix». National Research Tomsk Polytechnic University., (51), 2016, pp. 18-24.

50. Kirsanov S.V., Babaev A.S., Tukhfatullin B.A. Selection of cross-section profile of carbide stem of gun drill. Journal – «Mechanical engineering», National Research Tomsk Polytechnic University, (11), 2015, pp. 60-62.
51. Tuhfatullin B.A., Kirsanov S.V., Tsygankov R.S. Software for automated calculation of the gun drill stem deflection. «Handbook. An engineering journal with appendix». National Research Tomsk Polytechnic University., 243 (6), 2017, pp. 36-39.
52. Kirsanov S.V., Babaev A.S. Tool life tests of small diameters gun drills. «Handbook. An engineering journal with appendix». National Research Tomsk Polytechnic University., (S1), 2016, pp. 11-17.

Приложение Б

Основные технические ОЦ AUERBACH серии AX TLW

Наименование параметра	Численное значение
Диапазон диаметров сверления, мм	4-25
Глубина сверления, мм	1600
Максимальная частота вращения шпинделя, об/мин	30 000
Число шпинделей, мм	1-4
Мощность главного двигателя, кВт	14

Приложение В

Основные технические ОЦ AUERBACH серии AX TLW

Наименование параметра	Численное значение
Диапазон диаметров сверления, мм	3-20
Глубина сверления, мм	1600
Максимальная частота вращения шпинделя, об/мин	24 000
Максимальная масса детали, кг	2000
Мощность главного двигателя, кВт	18
Размер рабочего стола, мм	900 x 500

Приложение Г

Основные технические характеристики ОЦ TIEFBOHRFIX

Наименование параметра	Численное значение
Диапазон диаметров сверления, мм	1...15
Максимальная глубина сверления, мм	850
Число люнетов, шт	2
Габаритные размеры модуля, мм	440 x 220 x 1430
Общая масса модуля, кг	80
Требования к станку	
Область для установки, мм	170 x 400
Давления в пневмосети, Бар	6
Расход охлаждающей жидкости, л / мин	До 50
Давления СОЖ, Бар	До 100
Геометрический контроль осей	
Встроенная автоматическая измерительная система	
Возможность интегрирования программного обеспечения для глубоко сверления	

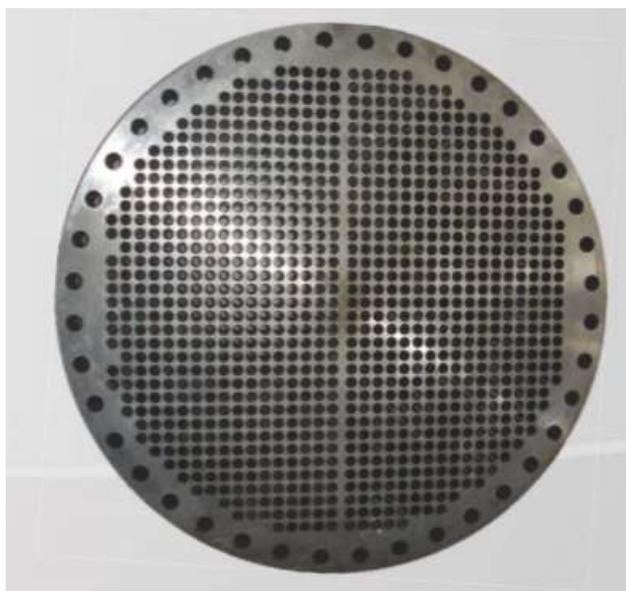
Приложение Д

Основные технические характеристики станка фирмы Goodway модели GLS 1500

Наименование параметра	Численное значение
Диапазон диаметров сверления, мм	5-25
Глубина сверления, мм	330
Максимальная частота вращения шпинделя, об/мин	6000
Максимальный диаметр заготовки, мм	560
Перемещение оси X, мм	230
Перемещение по оси Z, мм	330
Мощность главного двигателя, кВт	7,5

Приложение Е

Некоторые типовые детали, обрабатываемые на многооперационных станках
глубокого сверления



Приложение Ж

Автоматическая моечная машина с вакуумной сушкой модели V300 фирмы
Platit (Швейцария)



Приложение 3

Установка для нанесения износостойких покрытий PVD-методом мод. п-300
фирмы *Platit* (Швейцария)



Приложение К

Основные характеристики покрытий, получаемых PVD-методом

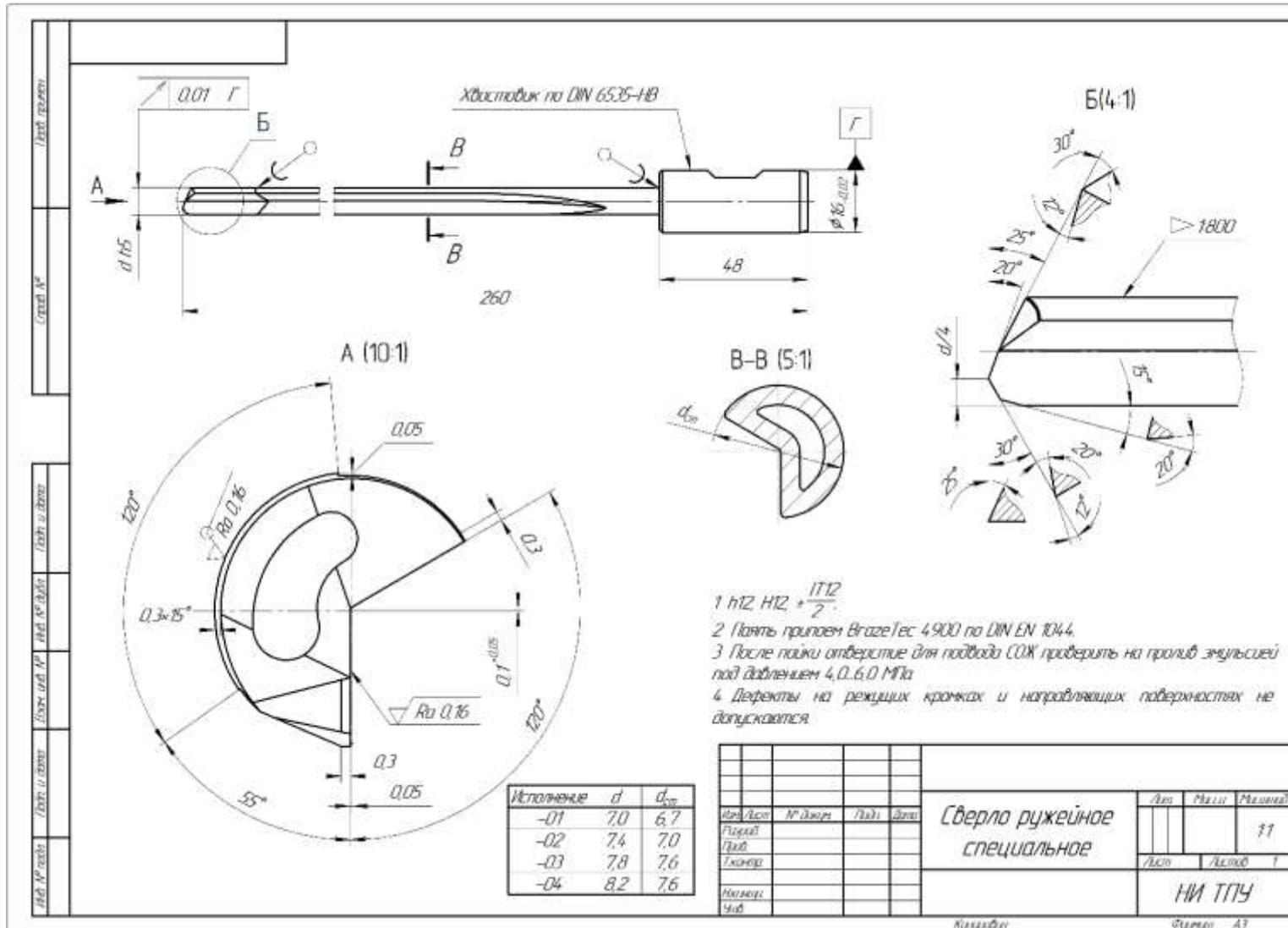
Покрытие	Цвет	Микротвёрдость, HV*	Коэффициент трения**	Температура начала окисления на воздухе °С
TiN	золотистый	23...25	0,55	550...600
TiCN	серо-голубой	35...37	0,2	400
(Ti, Al)N	фиолетово- чёрный	31...35	0,6	800...850
(Ti, Al)CN	фиолетово- красный	35...37	0,25	500
CrN	серебристо- металлический	12...14	0,3	650
ZrN	Золотисто- белый	26...28	0,5	550
(Ti, Cr)N	золотисто- серый	18...20	0,5	700
(Ti, Al, Cr)N	бронзовый	28...30	0,4	850...900

* Указан оптимальный диапазон;

**Трение по стали 45.

Приложение Л

Чертеж ружейного сверла специального фирмы *Votek* (Германия).



Приложение М

Основные технические характеристики СОЖ Avantin 3309 фирмы *Bechem*
(Германия)

Наименование параметра	Численное значение параметра
Кинематическая вязкость при 20°С, мм ² /с	400-800
Плотность при 20°С, г/л	1,02-1,04
рН эмульсии 5%	9,0
Антикоррозионные свойства при 5%	0-1
Коэффициент рефрактометра	2,0