

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

Институт Кибернетики

Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»

Кафедра «Технология автоматизированного машиностроительного производства»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование прочности и износостойкости ружейных сверл малых диаметров

УДК 621

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Ратчин Юрий Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Проф. каф. ТАМП	Кирсанов С.В.	Д.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. МЕН	Шулинина Ю. И.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Пустовойтова М. И.	К.Х.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТАМП	Арляпов А.Ю.	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	
Профессиональные компетенции		
P1	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении	
P2	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения	
P3	Способность изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать	
P5	Способность получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, уметь применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения, в том числе в режиме удаленного доступа	
Общекультурные компетенции		
P6	Способность выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства	
P7	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, для приобретения новых знаний и умений.	

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

Институт Кибернетики
Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»
Кафедра «Технология автоматизированного машиностроительного производства»

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
Арляпов А. Ю.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ41	Ратчин Юрий Олегович

Тема работы:

Исследование прочности и износостойкости ружейных сверл малых диаметров	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	18.02.2016, №947/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является - исследование прочности и износостойкости ружейных сверл малых диаметров. Задачи: <ul style="list-style-type: none">• изучить современные конструкции ружейных сверл малых диаметров;• установить пути повышения прочности и износостойкости ружейных сверл малых диаметров;• разработать технологию изготовления заготовок твердосплавных стблей ружейных сверл;• разработать методику выбора износостойких покрытий.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Общие сведения о ружейных сверлах малых диаметров.2. О прочности ружейных сверл малых диаметров.3. Технология изготовления твердосплавных заготовок стблей ружейных сверл.

	4. Повышение износостойкости ружейных сверл малых диаметров. 5. Социальная ответственность. 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.
Перечень графического материала	Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point);
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Исследовательский	Кирсанов С.В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Шулинина Ю. И.
Социальная ответственность	Пустовойтова М. И.
Исследовательский (на англ. яз.)	Степура С. Н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Исследовательский раздел	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Проф. каф. ТАМП	Кирсанов С.В.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Ратчин Юрий Олегович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ41	Ратчин Юрий Олегович

Институт	ИК	Кафедра	ТАМП
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01«Машиностроение»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ) включает в себя: 1. Расчет оплаты труда работников; 2. Расчет стоимости материала.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Расчёт затрат на исследование</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>При расчете заработной платы труда учитывались отчисления во внебюджетные страховые фонды, которые составляют 30 %.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>«Портрет» потребителя результатов НТИ</i>
2. <i>Сегментирование рынка</i>
3. <i>SWOT-анализ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НТИ</i>
5. <i>Оценка экономической эффективности НТИ</i>
6. <i>Потенциальные риски</i>
7. <i>Оценка научно-технического уровня НТИ</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. МЕН	Шулинина Ю. И.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Ратчин Юрий Олегович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ41	Ратчин Юрий Олегович

Институт	ИК	Кафедра	ТАМП
Уровень образования	Магистры	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i> – <i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</i> – <i>негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</i> – <i>чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i> 	
<p>2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i> – <i>действие фактора на организм человека;</i> – <i>приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i> – <i>предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</i> 	
<p>2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>механические опасности (источники, средства защиты);</i> – <i>термические опасности (источники, средства защиты);</i> – <i>электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</i> – <i>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</i> 	
<p>3. <i>Охрана окружающей среды:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>защита селитебной зоны</i> – <i>анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</i> 	

<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Пустовойтова М. И.	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Ратчин Юрий		

Приложение

Раздел (1) Исследовательский раздел

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Ратчин Юрий Олегович		

Консультант кафедры ТАМП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Проф. каф. ТАМП	Кирсанов С.В.	д.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ИЯИК	Степура С.Н.	к.ф.н., доцент		

Оглавление

Введение.....	4
1. Общие сведения о ружейных сверлах малых диаметров.....	5
1.1. Применение ружейных сверл малых диаметров	5
1.2. Сущность процесса сверления глубоких отверстий ружейными сверлами	5
1.3. Конструкции ружейных сверл малых диаметров	6
2. О прочности ружейных сверл малых диаметров.....	19
2.1. Выбор формы сечения твердосплавного стебля.....	19
3. Технология твердосплавных стержней.....	26
3.1. Получение порошков.....	26
3.2. Получение твердосплавных стержней.....	30
4. Повышение износостойкости ружейных сверл малых диаметров	46
4.1. Виды покрытий	46
4.2. Технологии нанесения износостойких покрытий	47
4.4. Контроль качества износостойких покрытий	56
4.3. Методика выбора износостойкого покрытия.....	66
5. Социальная ответственность	71
5.1. Анализ опасных и вредных факторов	73
5.2. Производственная санитария.....	74

5.2.1. Расчёт достаточной площади и объёма помещения.....	75
5.2.2. Микроклимат в помещении	76
5.2.3. Виброакустические факторы	78
5.2.4. Исследование освещенности рабочей зоны	79
5.2.5. Охрана окружающей среды	81
5.2.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	82
5.3. Список использованной литературы	87
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	88
6.1. Предпроектный анализ	89
6.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	89
6.1.2. SWOT-анализ.....	90
6.2. Инициация проекта	92
6.2.1. Цели и результат проекта.....	92
6.2.2. Организационная структура проекта.....	93
6.2.3. Ограничения и допущения проекта	94
6.2. План проекта.....	94
6.3. Бюджет научного исследования	98
6.4. Накладные расходы	101
6.5. Матрица ответственности	102
6.6. Реестр рисков проекта	103
6.7. Оценка экономической эффективности проекта	103
6.8. Оценка научно-технического уровня НИР.....	104

Article review	109
Список использованной литературы.....	118

Введение

Во многих областях машиностроения применяются детали, имеющие глубокие ($l \geq 10d$) отверстия малого диаметра ($d \leq 12$ мм) (химическая и топливная промышленности, двигателестроение и др). Обработку таких отверстий чаще всего производят ружейными сверлами со стальными стеблями (РССС). Однако наиболее эффективно такие отверстия можно сверлить ружейными сверлами с твердосплавными стеблями (РСТС). В нашей стране такие сверла не изготавливаются. Это связано, прежде всего, с тем, что у нас не изготавливаются твердосплавные заготовки стеблей. Поэтому разработка технологии изготовления твердосплавных заготовок стеблей ружейных сверли способов повышения износостойкости этих инструментов крайне необходимы.

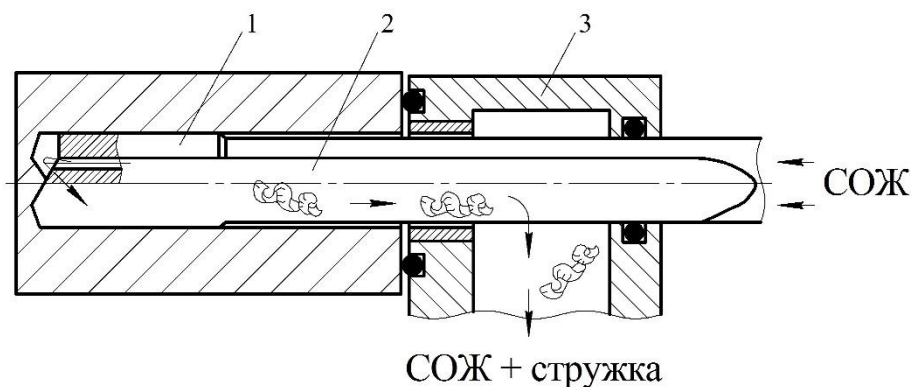
1. Общие сведения о ружейных сверлах малых диаметров

1.1. Применение ружейных сверл малых диаметров

В производстве изделий машиностроения (автомобили, гидравлика, медицина) есть потребность получать глубокие ($l \geq 10d$) отверстия малого диаметра ($d \leq 12$ мм) с высокой точностью (точность размеров IT 6-8, отклонение от круглости $EFK < 2$ мкм, шероховатость Ra 0,08...1,25 мкм, увод осей 0,01...0,03 мм/100 мм). До недавнего времени глубокие отверстия малого диаметра получали сверлением спиральными сверлами. Из-за ряда недостатков спиральных сверл (увод и разбивка отверстия, высокая шероховатость), на данный момент обработка производится ружейными сверлами.

1.2. Сущность процесса сверления глубоких отверстий ружейными сверлами

Процесс сверления глубоких отверстий ружейными сверлами отличается от процесса сверления спиральными сверлами. В связи с тем, что ружейные сверла не обладают самоцентрированием, то при врезании им требуется направление. Для этого применяют кондукторные втулки или предварительно просверленные заходные отверстия. На станках глубокого сверления применяются только кондукторные втулки. Из-за малого диаметра ружейного сверла, шпиндель вращается с высокой частотой для обеспечения нужной скорости резания. В отверстие стебля подается СОЖ под давлением, а по V-образной канавке отводится стружка и СОЖ (Рис. 1).



**Рис. 1. Схема сверления глубокого отверстия ружейным сверлом:
1 – рабочая часть, 2 – стембель, 3 – стружкоприемник**

Анализ конструкции станков для сверления глубоких отверстий малых диаметров, выпускаемых за рубежом фирмы Loch (Германия), Unisig (США), Tiefbohrtechnik (Германия), Auerbach (Германия) и др., показал, что они должны отвечать следующим требованиям:

- наличие высокоскоростных шпинделей (до 25000 мин^{-1});
- бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя и подачи;
- насосная станция высокого давления (до 20 МПа) с тонкой очисткой СОЖ (5-20 мкм).

В качестве СОЖ при сверлении глубоких отверстий малых диаметрах на станках глубокого сверления чаще всего применяют масляные СОЖ.

1.3. Конструкции ружейных сверл малых диаметров

Ружейные сверла обладают следующими достоинствами:

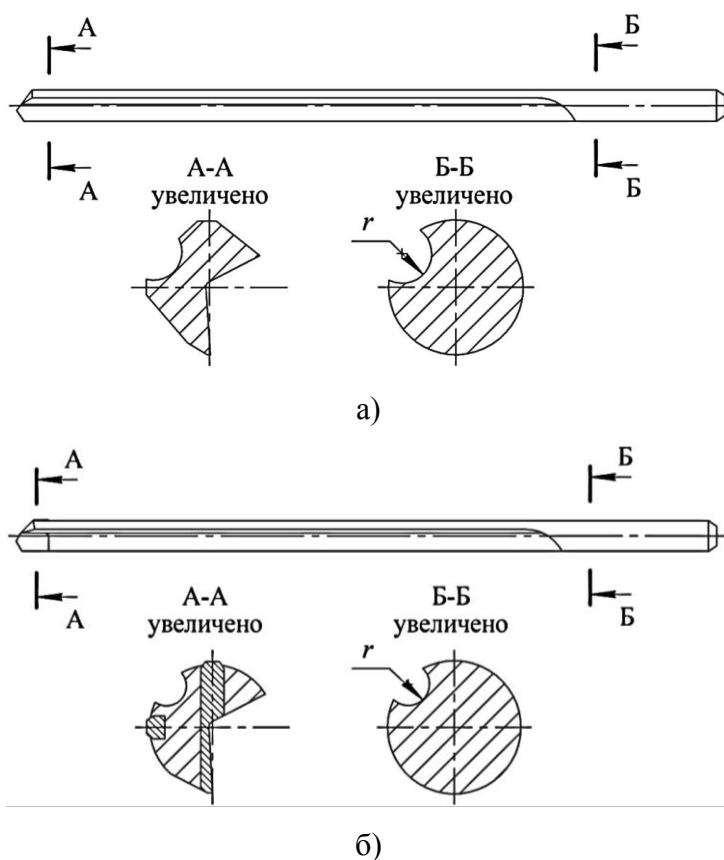
- высокая диаметрально точность отверстий (IT 6-8);
- низкая шероховатость ($Ra 0,63 \dots 0,32 \text{ мкм}$);
- высокая точность формы (отклонение от круглости $< 1 \text{ мкм}$);
- малый увод осей отверстий ($0,01 \dots 0,03 \text{ мм/100 мм}$).

Однако ружейные сверла имеют и ряд недостатков:

- низкие прочность и жесткость;
- необходимость подачи СОЖ под высоким давлением (до 20 МПа);
- необходимость тонкой очистки СОЖ (5...20 мкм);
- сложность изготовления сверл.

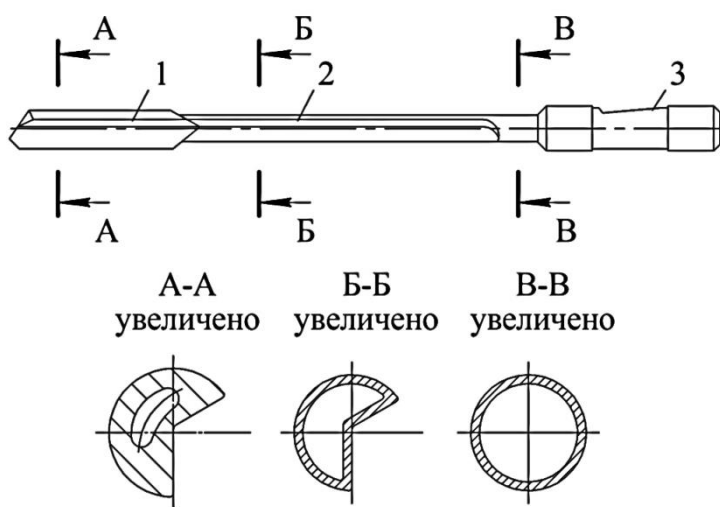
В настоящее время известны следующие конструкции ружейных сверл малых диаметров.

М.Е. Кущевой («ЦНИИТМАШ», г. Москва) разработаны цельные ружейные сверла из быстрорежущих сталей (P18, P18Ф2К8М и др.) и сборные с напайными пластинами из твердых сплавов (ВК6 или ВК8). Каналы для подвода СОЖ выполняли на периферии стебля (Рис. 2).



**Рис. 2. Конструкции ружейных сверл М.Е. Кущевой:
а – из быстрорежущих сталей; б – с напайными твердосплавными пластинами**

А.И. Мещеряков («ВНИИинструмент», г. Москва) разработал ружейное сверло со стальным стеблем (РССС), припаянным к нему твердосплавному наконечнику и хвостовиком (Рис. 3). Из стальной вальцованной трубки (30ХГСА или 40ХН2МА) изготавливался стебель 2, к нему припаивался наконечник 1 (ВК6 или ВК6-ОМ) и хвостовик 3 (40Х). Стебель имел низкую жесткость, что ограничивало производительность сверла.



**Рис. 3. Конструкция ружейных сверл А.И. Мещерякова:
1 – наконечник, 2 – стебель, 3 - хвостовик**

М.А. Царенко (СГТУ им. Ю.А. Гагарина, г. Самара) предложил конструкцию ружейных сверл, со стальным стеблем и твердосплавным наконечником (Рис. 4). Из стальной вальцованной трубки (30ХГСА или 40ХН2МА) изготавливался стебель 2, к нему припаивался наконечник 2 (ВК6-ОМ, ВК6-М).

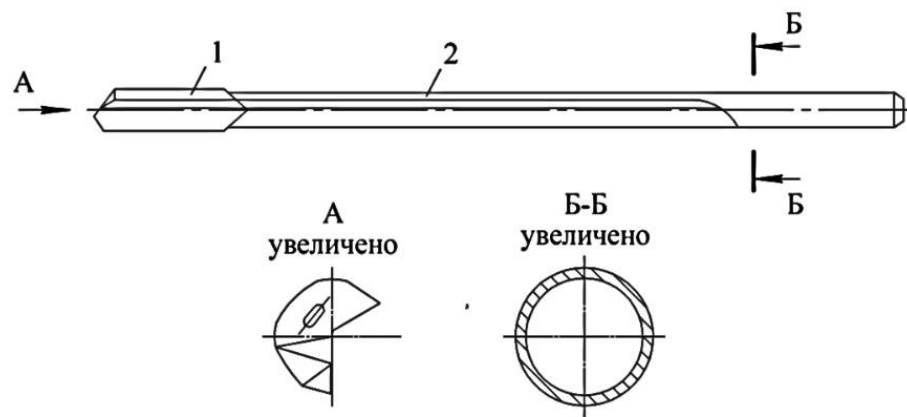


Рис. 4. Конструкция ружейных сверл М.А. Царенко:
1 – наконечник, 2 – стемель

В 1982 г. фирмой Botek (Германия) освоено производство ружейных сверл с твердосплавным стемлем (РСТС) (Рис. 5)

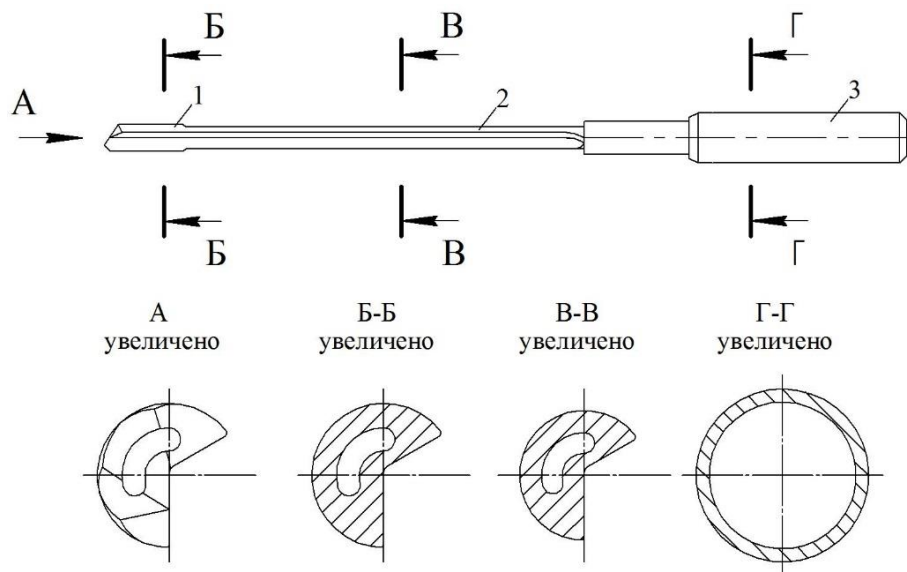


Рис. 5. Конструкция ружейных сверл Botek
(1 – наконечник, 2 – стемель, 3 – хвостовик)

У РСТС наконечник и стемель представляют собой цельный твёрдосплавный стержень 2, припаянный к хвостовику 3 ступенчатой формы. Такая конструкция дает ружейным сверлам прочность, жесткость, стойкость и производительность выше, чем у предыдущих.

В работе [6] исследуется влияние геометрии ружейного сверла на износ инструмента и качество обработанной поверхности. Даются рекомендации по совершенствованию конструкции ружейных сверл.

Сравниваются четыре типа ружейных сверл (Рис. 6):

- сверло А – профиль поперечного сечения стандартный G;
- сверло В – профиль поперечного сечения С с двумя направляющими;
- сверло С – профиль G с большей конусностью, чем у сверла А;
- сверло D – профиль G с другими углами заточки и покрытием.





Tool	A	B	C	D
Peripheral contour:	G 	C 	G 	G 
Conicity:	1 guiding pad 1/800	2 guiding pads 1/800	1 guiding pad 1/400	1 guiding pad 1/800
Tip geometry:	$\chi_1 = 50^\circ, \chi_2 = 120^\circ$	$\chi_1 = 50^\circ, \chi_2 = 120^\circ$	$\chi_1 = 50^\circ, \chi_2 = 120^\circ$	$\chi_1 = 60^\circ, \chi_2 = 110^\circ$ protective chamfer $s = 330 \mu\text{m}$
Cutting material:	K15	K15	K15	K25
Coating:	-	-	-	AlTiN

Рис. 6. Характеристики исследуемых ружейных сверл

Испытания проводили на станке глубокого сверления модели ТВТМЛ-200. Режимы резания: $v = 100$ м/мин; $s = 0,007$ мм/об (для сверл А,В,С); $s = 0,015$ мм/об(для сверла D). Размеры обрабатываемых отверстий: $d = 1,5$ мм; $l = 45$ мм. Суммарная глубина сверления составила 4995 мм. Обрабатываемый материал – коррозионно-стойкая сталь марки AISI 316L (отечественный аналог 03Х16Н15М3).

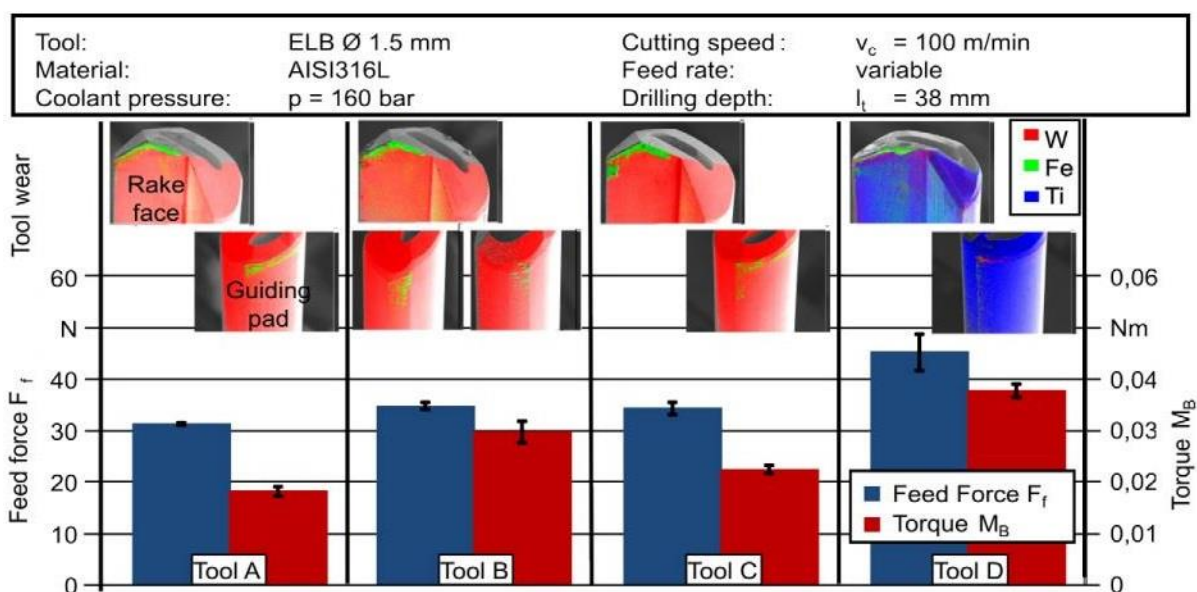
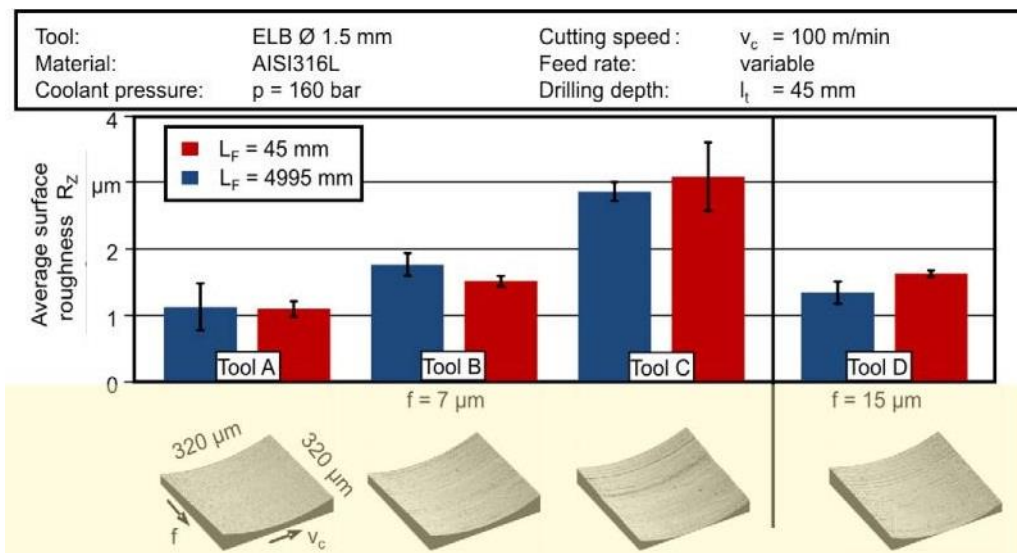


Рис. 7. Результаты исследования

Было установлено, что наименьшая шероховатость поверхности достигается сверлом А (Рис. 7). Нанесение покрытия AlTiN и углы в плане $\varphi = 60^\circ$; $\varphi_1 = 110$ позволили увеличить подачу сверла в два раза, а шероховатость увеличилась не больше, чем на 0,5 мкм по сравнению со сверлом А.

Таким образом, это исследование показало, что нанесение покрытия вызывает уменьшение шероховатости поверхностей отверстий и способствует увеличению износостойкости инструмента.

В работе [11] исследуется влияние геометрии и покрытия ружейного сверла на процесс образования, отвода стружки и износ инструмента.

В ходе исследования сравнивались РСТС с покрытием TiAlN и без. Опыты производились на станке глубокого сверления мод. BW200-3-800 (Германия), мощностью $P = 3,1$ кВт и максимальным числом оборотов шпинделя $n = 20000$ мин⁻¹ (Рис. 7).

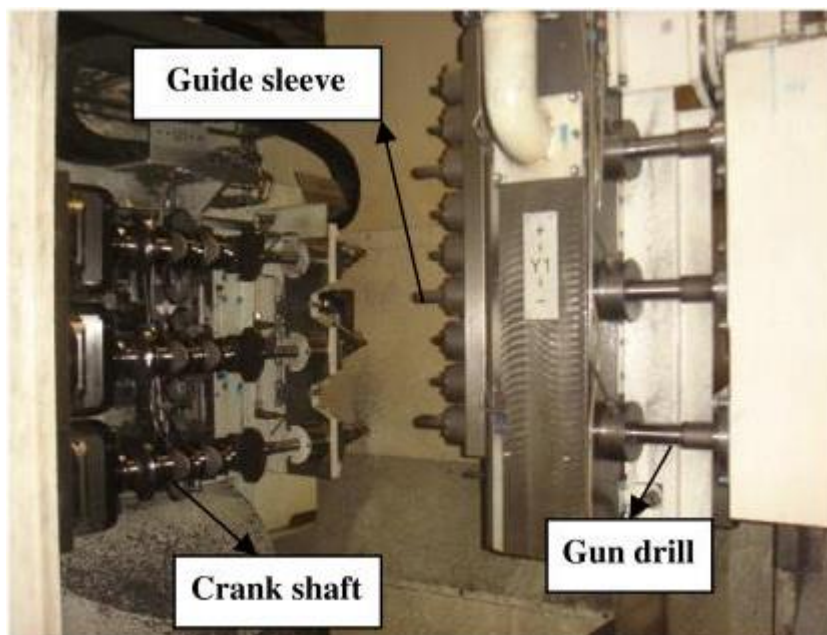


Рис. 7. Общий вид зоны обработки станка глубокого сверления мод. BW200-3-800

При сверлении СОЖ подавали под давлением $P = 19$ Мпа и минимальным расходом $Q = 11 \dots 15$ м³/ч. Режимы резания: $V = 76$ м/мин ($n = 4400$ мин⁻¹); $s = 150$ мм/мин. Режущий инструмент – РСТС с покрытием AlTiN и без него (Рис. 9).

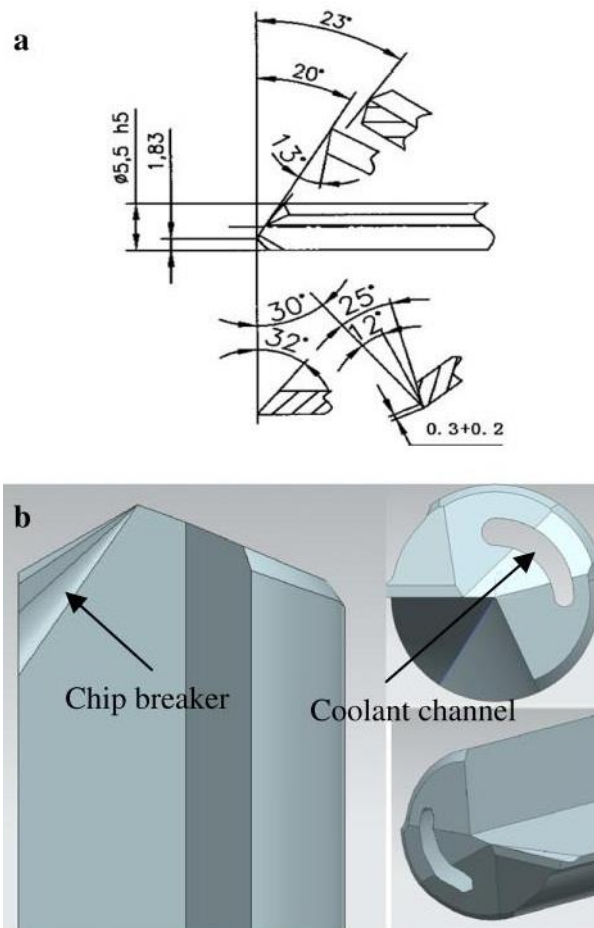
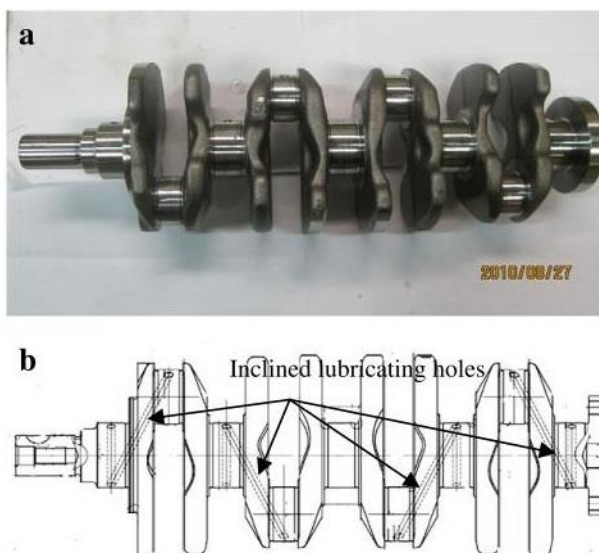


Рис. 9. Геометрия рабочей части испытуемого РСТС:
а–геометрические характеристики; б–элементы (стружколомающая канавка, канал для подвода СОЖ)

В качестве заготовки использовали кованный коленчатый вал из стали S48CS1V (microalloyed forging steel) твердостью HB229...285 (Рис. 10Рис. 10). Крепление вала на станке осуществлялось гидравлическим зажимом.



**Рис. 10. Обрабатываемая деталь
а – фотография, б–отверстия для смазки**

В коленчатом валу сверлились отверстия длиной 83,74 мм.

В процессе сверления контролировали крутящий момент на шпинделе станка. Если крутящий момент превышал начальный на 15%, то станок останавливался. В ходе эксперимента были получены данные по крутящему моменту и количеству просверленных валов как для ружейных сверл с покрытием, так и без него. Установлена зависимость крутящего момента от количества просверленных заготовок (Рис. 11).

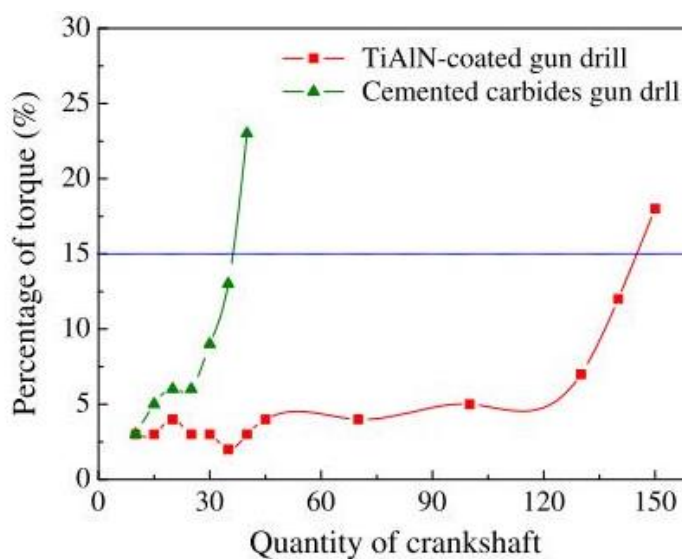
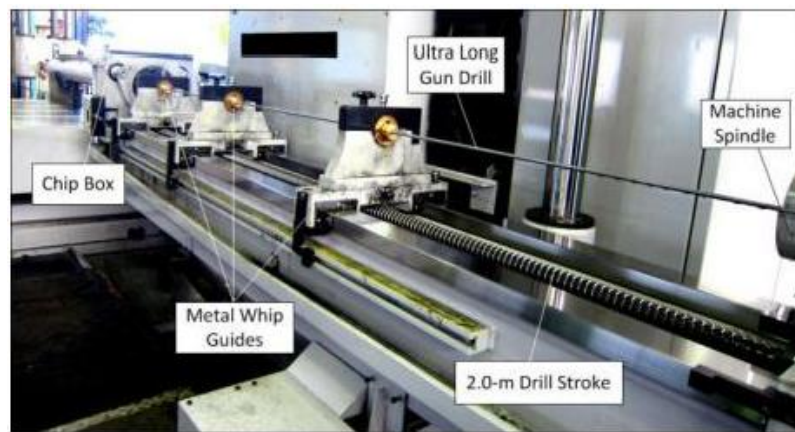


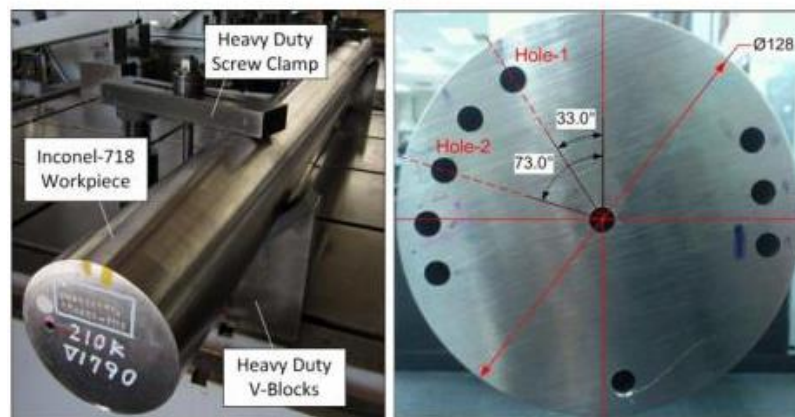
Рис. 11. Влияние количества просверленных заготовок на рост крутящего момента

Из графика видно, что до предельной величины износа, сверла без покрытия просверлили 40 валов, а сверла с покрытием 150 валов. Это объясняется тем, что покрытие TiAlN обеспечивает низкий коэффициент трения, высокую стойкость к окислению при повышенных температурах (900°C), высокую теплопроводность. Кроме того, наличие алюминия в покрытии дает химическую реакцию, в результате которой образуется Al₂O₃, который вызывает повышенное сопротивление износу, а благодаря низкому коэффициенту трения, облегчается движение стружки по передней поверхности инструмента. Исследование показало, что нанесение покрытия TiAlN на рабочую часть ружейного сверла вызывает существенное увеличение стойкости и облегчает стружкоотвод.

В работе [12] сверлили цилиндрическую заготовку длиной 2 м из стали Inconel-718 (отечественный аналог сталь ХН60Ю). Сверление производили тремя РССС длиной от 1000 до 2000 мм, с покрытием TiAlN. Режимы резания: $n = 600 \dots 800 \text{ мин}^{-1}$; $s = 5 \dots 8 \text{ мм/мин}$. СОЖ подавалась под давлением 7 МПа и имела температуру 25°C (Рис. 8).



(a)

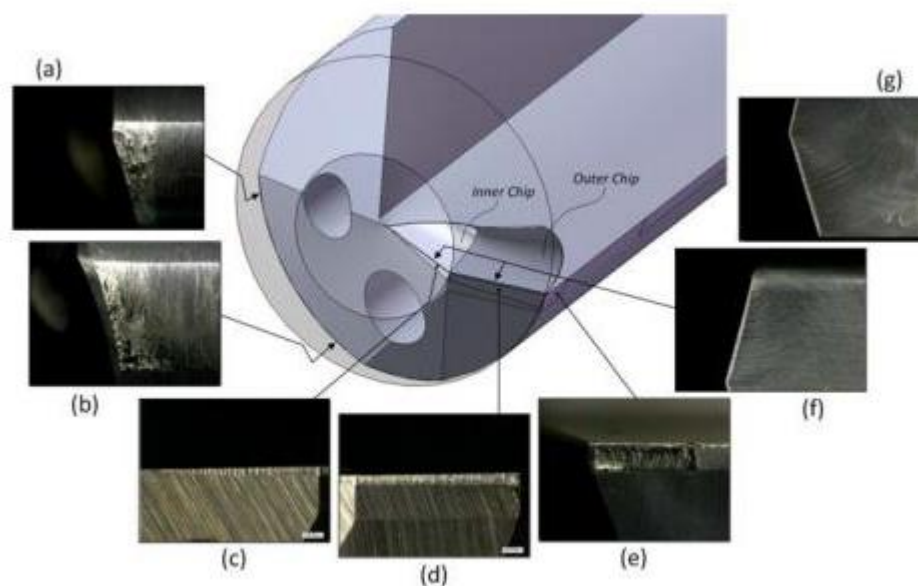


(b)

(c)

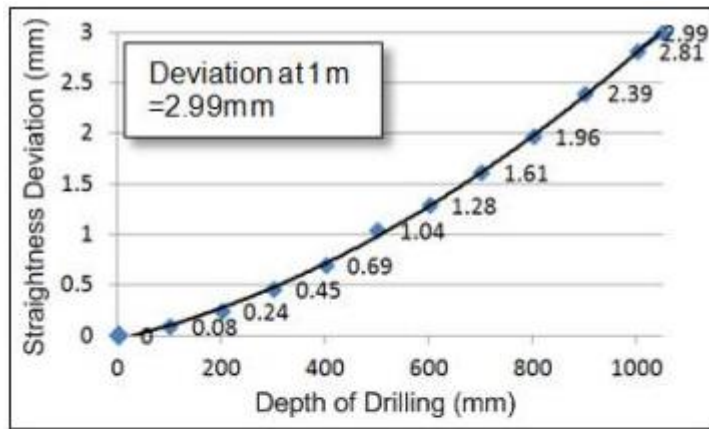
Рис. 8. Сверление глубоких отверстий РССС:
 а) – общий вид станка глубокого сверления; б), с)–заготовка

В ходе испытаний сверление происходило циклами на глубину 50 мм за 1 проход. После каждого прохода контролировали износ и по достижении предельного износа сверло перетачивали (Рис. 9).

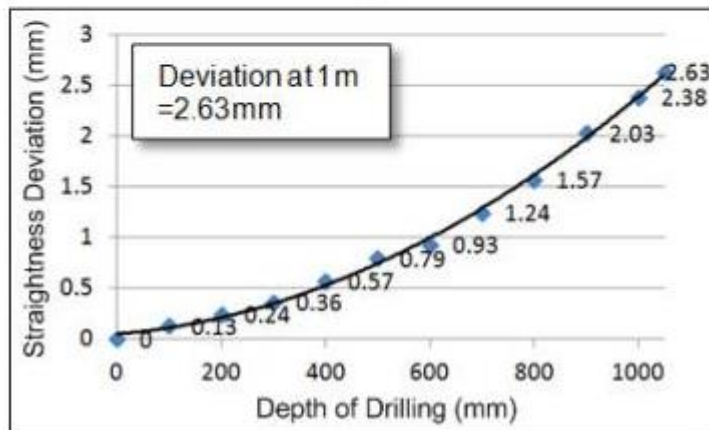


**Рис. 9. Износ сверла в ходе испытаний:
а и б–износ направляющей; с и д–износ режущих кромок; е–боковой износ; ф и г–износ
передних поверхностей**

После каждого цикла сверления контролировали увод оси отверстия ультразвуковым методом (стандарт EN 15317). Было установлено, что благодаря покрытию TiAlN уменьшается износ инструмента, и, соответственно, увод оси отверстия (с 2,99 мм до 2,63 мм) (Рис. 10).



(a)



(b)

Рис. 10. График отклонения осей отверстий

Выполненный анализ литературы показал следующее:

1. РСТС по сравнению с РССС обеспечивают большую прочность и жесткость инструмента, а, соответственно, и повышенную производительность процесса сверления.
2. Для изготовления РСТС необходимо разработать технологию изготовления твердосплавных заготовок стержней этих инструментов.
3. Нанесение износостойких покрытий на рабочие части ружейных сверл вызывает повышение стойкости инструмента, точности и уменьшение шероховатости поверхности отверстий.

2. О прочности ружейных сверл малых диаметров

Прочность ружейного сверла в первую очередь зависит от материала и формы поперечного сечения рабочей части и стебля, поэтому существует два очевидных пути повышения прочности ружейных сверл: применение новых материалов и совершенствование конструкции.

На данный момент, ружейные сверла изготавливают из твердосплавных прутков, что дает большую прочность, по сравнению с ранними конструкциями, где твердосплавный наконечник припаивался к стальному стеблю.

Повышение прочности за счет изменения конструкции возможно за счет выбора рациональной формы сечения.

2.1. Выбор формы сечения твердосплавного стебля

Прочность и жёсткость стебля ружейного сверла зависит от формы и соотношения составляющих площадей сечения: $S_{\text{п}}$ – подводящего канала; $S_{\text{о}}$ – отводящего канала; $S_{\text{т}}$ – тела стебля (Рис.11).

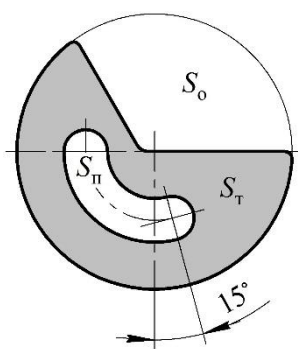
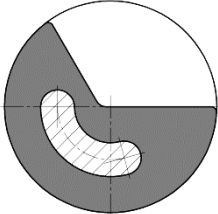
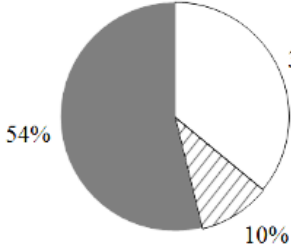
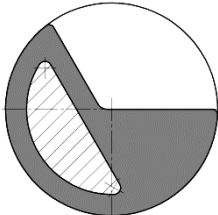
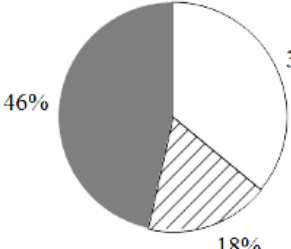
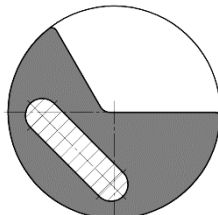
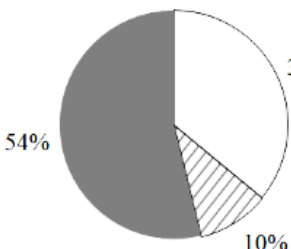
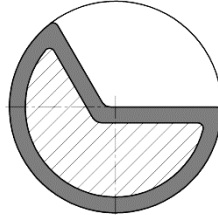
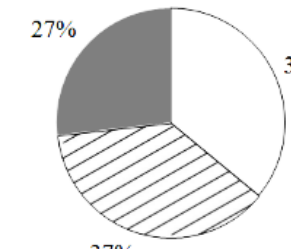


Рис.11. Соотношение площадей сечения стебля

Ниже приведены применяемые на практике формы сечений стеблей и их геометрические характеристики.

Таб. 1. Отношения площадей подводящего $S_{\text{п}}$, отводящего каналов $S_{\text{о}}$ и тела $S_{\text{т}}$ стеблей ружейных свёрл

Формы поперечных сечений	$S_{\text{п}} : S_{\text{о}} : S_{\text{т}}$
<p data-bbox="507 320 555 349">№1</p>  <p data-bbox="368 645 699 678">Фирма <i>Hartmetall</i> (Чехия)</p>	
<p data-bbox="507 712 555 741">№2</p>  <p data-bbox="475 1037 592 1070"><i>R.Eichler</i></p>	
<p data-bbox="507 1104 555 1133">№3</p>  <p data-bbox="443 1435 624 1469">М.А. Царенко</p>	
<p data-bbox="507 1496 555 1525">№4</p>  <p data-bbox="437 1827 630 1861">Б.Н. Кириллин</p>	

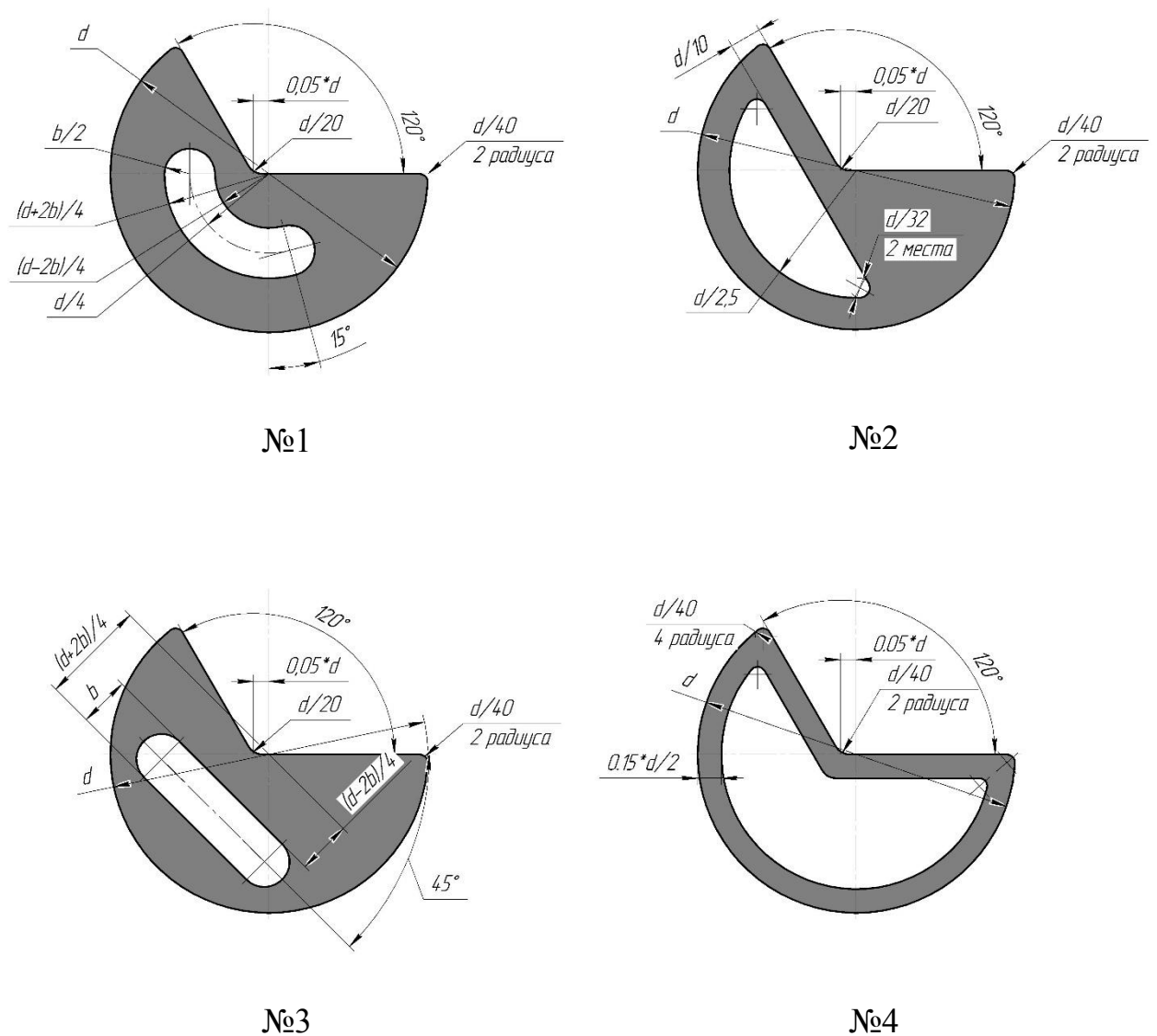


Рис.12. Размеры поперечных сечений

В результате анализа конструкций РСТС фирмы Guhring (Германия) и твердосплавных наконечников фирмы Hartmetall AG (Чехия) было установлено:

$$b = 0,1592 * d - 0,0399 \quad (1)$$

Определим жесткость стеблей при кручении:

$$C = G * I_k \quad (2)$$

Где G – модуль упругости второго рода (модуль сдвига) материала стебля, ГПа;

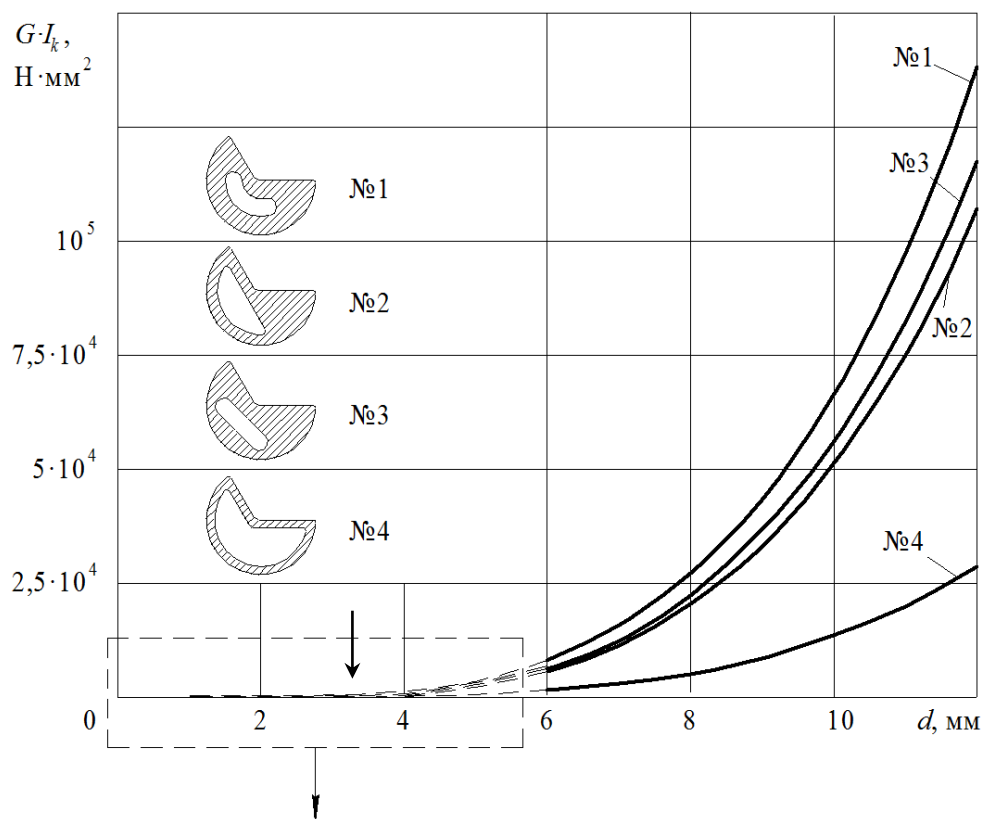
I_k – геометрическая жесткость сечения при кручении, мм⁴.

Модуль упругости второго рода рассчитаем по формуле:

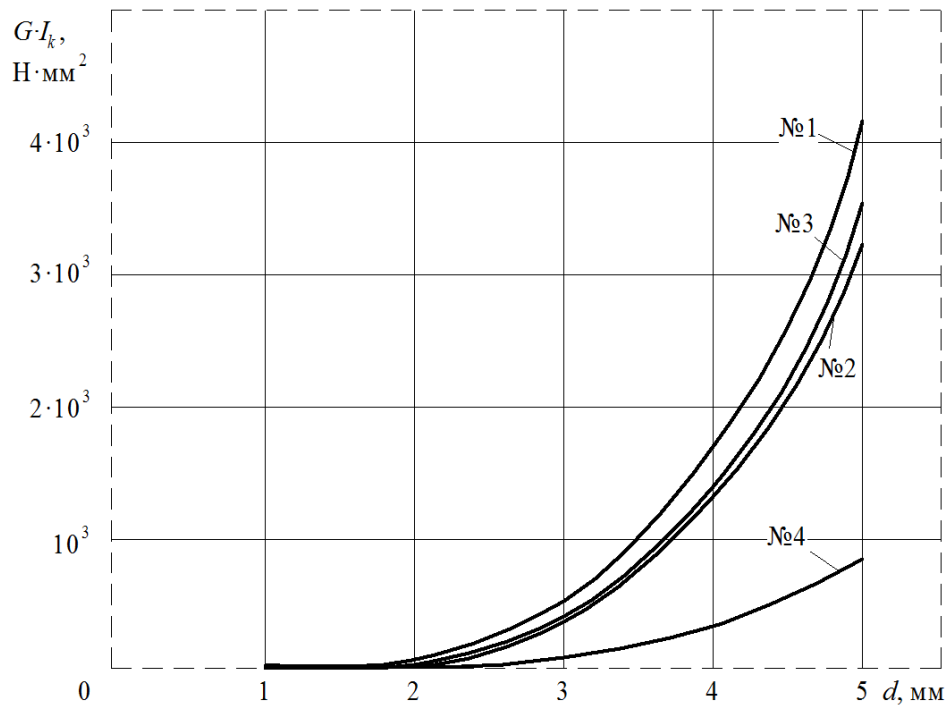
$$G = \frac{E}{2 * (1 + \mu)} \quad (3)$$

Где E – модуль упругости первого рода (модуль Юнга), ГПа (Таб. 1);
 μ – коэффициент Пуассона (Таб. 1).

Для стеблей диаметром $d=1,0...12,0$ мм численный расчёт геометрических жёсткостей I_k был выполнен в модуле КОНСУЛ системы SCAD фирмы SCADSoft (Россия).



a)



б)

Рис.13. Влияние формы поперечных сечений и материала стеблей ружейных свёрл на жёсткость

Для приведённых зависимостей рассчитаем степенные уравнения

$G * I_k = f(d)$ и коэффициенты корреляции R^2 :

форма №1: $G \cdot I_k = 6,6117 \cdot d^{4,0046}$. $R^2=0,98$;

форма №2: $G \cdot I_k = 5,0283 \cdot d^{4,0130}$. $R^2=0,97$;

форма №3: $G \cdot I_k = 5,7234 \cdot d^{3,9972}$. $R^2=0,99$;

форма №4: $G \cdot I_k = 1,4375 \cdot d^{3,3854}$. $R^2=0,97$.

Для стеблей диаметром $d_{ст}=2,0$ мм (Рис.12) принимаем эмпирическое значение крутящего момента $T=100$ Н*мм, и рассчитаем максимальные касательные напряжения по формуле:

$$\tau_{max} = \frac{T}{W_k} \quad (4)$$

Где T - крутящий момент, Н*мм;

W_k - момент сопротивления сечения при стеснённом кручении, мм³.

Момент сопротивления сечения при стеснённом кручении рассчитаем по формуле:

$$W_k = \frac{I_p}{i_p} \quad (5)$$

Где I_p - полярный момент инерции, мм⁴;
 i_p - полярный радиус инерции сечения, мм.

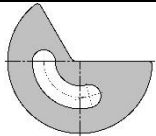
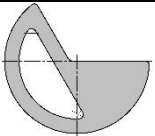
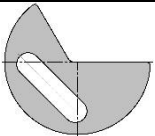
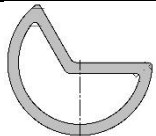
Полярный момент инерции определим по формуле:

$$I_p = I_y + I_z \quad (6)$$

Где I_y и I_z - моменты инерции относительно центральных осей Y и Z , мм⁴.

Для стеблей с сечением $d=2,0$ мм выполнены расчеты и сведены в Таб. 2. Из расчетов следует, что жесткость при кручении твердосплавных стеблей выше стального стебля в 3,3...4,3 раза; а прочность на 25...56%. Поэтому РССС, по сравнению с РСТС, будет иметь меньшую стойкость. Также из расчетов видно, что наибольшие прочность и жёсткость обеспечивают формы сечения №1 и №3. Из них форма №1 наиболее предпочтительна.

Таб. 2. Геометрические характеристики поперечных сечений стержней ружейных сверл диаметром 2,0 мм

Сечения	№1	№2	№3	№4
				
Материалы стержней	Твёрдый сплав марки <i>НВ10F</i>			Сталь 30ХГСА
Площадь подводящего канала $S_{п}$, мм ²	0,37	0,55	0,37	1,17
Площадь отводящего канала $S_{о}$, мм ²	1,13	1,13	1,13	1,13
Площадь «тела» стержня $S_{т}$, мм ²	1,69	1,46	1,69	0,84
$W_{к}$, мм ³	0,626	0,542	0,615	0,405
$I_{р}$, мм ⁴	0,800	0,690	0,779	0,503
$I_{к}$, мм ⁴	0,410	0,317	0,388	0,280
τ_{max} , Мпа	158,8	199,1	181,5	248,4
$G \cdot I_{к} \cdot H$, мм ²	100,0	77,3	94,7	23,5

3. Технология твердосплавных стержней

В настоящее время в качестве заготовок стеблей РСТС используют твёрдосплавные стержни диаметром $d_{ст}=0,5...12,0$ мм длиной 330...480 мм, выпускаемые фирмами *Gühring*, *TaeguTec* и др. В качестве материала стеблей используются однокарбидные твёрдые сплавы с размером зерна карбида вольфрама $d_{wc}=0,2...0,5$ мкм для стержней $d_{ст}=0,5...2,0$ мм, а $d_{wc}=0,5...1,3$ мкм – $d_{ст}=2,0...12,0$ мм.

3.1. Получение порошков

Для изготовления ультра- ($d_{wc}=0,2...0,5$ мкм) и нано- ($d_{wc}<0,1$ мкм) мелкодисперсных твердых сплавов требуются исходные порошки WC, C, WC-Co соответствующей зернистости. Их получают различными путем, но в промышленности нашли применение следующие способы:

а) получение порошка WC путем термохимической переработки оксида вольфрама (WO_3) – быстрое карботермическое восстановление (технология *RCR – Rapid Carbothermal Reduction*).

Исходное сырье для производства – порошки оксида вольфрама WO_3 и твердого углерода C (сажа). Процесс проходит в две стадии и осуществляется в ламинарном газовом потоке вертикального графитового реактора (Рис. 14).

После первой стадии в процессе водородного восстановительного разложения WO_3 при температуре $650^\circ C$ получается порошок карбида вольфрама с дефицитом углерода (WO_{1-x}). Вторая стадия – науглероживание (карбидизация), проводится в среде углеродосодержащего газа (окись углерода CO_2) при температуре более $650^\circ C$.

Углеродное восстановление при относительно высоких температурах ($1800...2000^\circ C$, выдержка 0,2...10,0 с) позволяет получать порошки карбидов с минимальным содержанием кислорода. Получаемые порошки не требуют дополнительного размола или рассева (0,2...0,8 мкм). Они характеризуются

высокой степенью однородности, низкой концентрацией примесей, а также постоянным, от партии к партии, содержанием углерода.

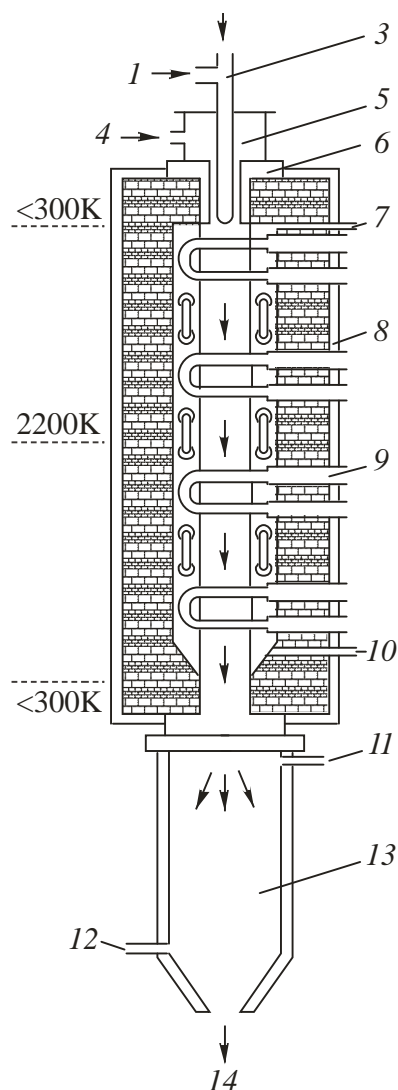


Рис. 14. Схема вертикального графитового реактора ламинарного потока:
 1 – исходный твердый материал (WO_3+C); 2 – газ-носитель;
 3 – охлаждаемая транспортная труба; 4 – омывающий газ; 5 – кольцевой зазор;
 6 – изолирующая втулка; 7 – выход охладителя; 8 – теплоизоляция;
 9 – нагревательный элемент; 10 – вход охладителя; 11 – выход охладителя;
 12 – вход охладителя; 13 – зона охлаждения готового продукта;
 14 – готовый продукт первой стадии (WC_{1-x})

б) получение порошка WC во вращающихся наклонных барабанных печах. Компоненты исходного сырья WO_3 и C смешивают во вращающейся печи в течение 1 часа (Рис. 15). Потом смесь гранулируют до частиц размером $1,2 \times 3,0$ мм, а затем гранулы подвергают сушке и прокаливанию в две стадии: в среде азота ($1000 \dots 1600$ °C) и среде водорода ($1400 \dots 2000$ °C). В результате получают ультра- (110 нм) и нанодисперсные (78 нм)

порошки WC, характеризующиеся однородным распределением частиц по дисперсности и минимальной концентрацией примесей.

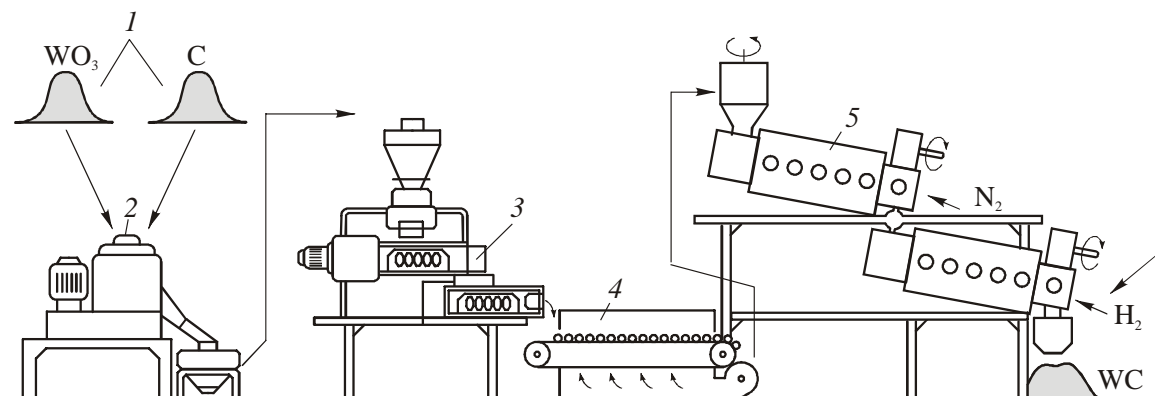


Рис. 15. Схема получения порошка карбида вольфрама WC во вращающейся печи:
1 – исходное сырье; 2 – смеситель Henschel; 3 – гранулятор; 4 – сушилка;
5 – вращающаяся печь

в) получение порошка WC прокаливанием – восстановлением – карбидизацией (технология CRC – *Calcination – Reduction – Carburisation*)

Эта технология позволяет получить порошки WC со средним размером зерен менее 0,5 мкм. Ее суть заключается в твердофазном разложении порошка паравольфрамата аммония (ПВА) в среде азота в процессе прокаливания. При температурах 500...650°C аммиак, содержащийся в ПВА, диссоциирует на азот и водород. Последний восстанавливает оксид вольфрама WO_3 до порошка синего оксида вольфрама WO_{3-x} , имеющего тонкодисперсную структуру. Синий оксид восстанавливают в водороде до порошка вольфрама. Карбид вольфрама WC получают при нагревании смесей порошков вольфрама и твердого углерода (сажи).

Тщательное соблюдение режимов и высокая степень автоматизации процесса позволяют повысить однородность дисперсности порошков и добиться высокой точности воспроизведения и повторяемости их характеристик.

г) получение смеси порошков WC-Co конверсионной сушкой распылением (технология SCP – *Spray Conversion Process*)

В отличие от предыдущих, эта технология позволяет сразу получать композиционную смесь WC-Co с размерами частиц 20...50 нм (Рис.16).

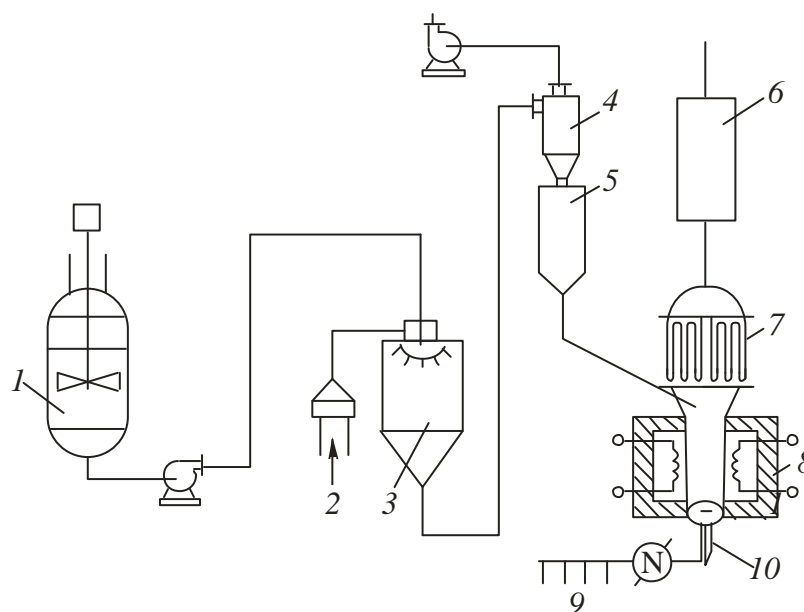


Рис.16. Схема процесса производства нанокристаллических порошков WC-Co методом сушки распылением: 1 – аппарат для смешивания исходных водных растворов; 2 – подача газа для распыления; 3 – установка «сушка распылением»; 4 – циклон; 5 – бункер-накопитель; 6 – камера сжигания; 7 – фильтр; 8 – реактор кипящего слоя; 9 – углеродосодержащие реакционные газы; 10 – готовый продукт

Процесс состоит из трех стадий: 1) получение суспензии водных растворов порошка WC в смеси со связкой и растворителем – задается основной конечный состав композитного порошка; 2) сушка распылением – предшествующая суспензия водных растворов превращается в легкотекучий порошок в виде гранул сферической формы с хорошей уплотняемостью и малыми размерами гранул, обеспечивающих быстрое спекание формованных заготовок; 3) синтез в кипящем взвешенном восходящем потоке нагретого газа слое – в результате реакции между твердыми частицами и реакционными газами предшествующий порошок в высокотемпературном реакторе кипящего слоя превращается в нанодисперсный композитный порошок WC-Co.

В качестве исходных соединений здесь используют хлориды-, нитриды-, , ацетаты кобальта, метавольфрамат аммония с этилендиамином, раствор вольфрамовой кислоты в водном растворе аммиака.

Для получения двухфазного нанодисперсного состава композита необходимо поддерживать активность углерода в определенных пределах. Это достигается автоматическим контролем газовой среды на входе и выходе

реактора кипящего слоя. При этом в реакторе в псевдооживленном состоянии достигается такое качественное перемешивание газа и частиц, что постоянство температуры в слое обеспечивается с точностью ± 1 °С.

д) получение порошков металлического Со

Традиционная технология получения порошка Со восстановлением оксида кобальта (Co_2O_3 или Co_3O_4) водородом в трубчатых или муфельных электрических печах позволяет получать порошок с размером частиц 1...5 мкм. Однако для изготовления нано- и ультрамелкодисперсных твердых сплавов требуются порошки с размером зерен менее 1 мкм. Их получают по специальной технологии:

- порошки с зернами размером 0,5...5,0 мкм получают в автоклавах под давлением водорода 3,5 МПа. Исходное сырье – раствор сернокислого кобальта. В автоклав загружают водный аммиак, катализатор (соль серебра) для образования зародышей и органику для контроля агломерации;
- порошки с зернами размером 0,2...2,0 мкм получают добавлением полиорганики (этиленгликоль, диэтиленгликоль, тетраэтиленгликоль). Такие порошки характеризуются сферической формой частиц с небольшой степенью агломерации, однородным распределением зерен по размеру и отсутствием пирофорности.

С целью уменьшения пылевыведения и окисляемости порошок Со гранулируют.

В целях безопасности при изготовлении порошков, предельно допустимые концентрации составлять: W, WC – 6,0 мг/м³, Со, Co_2O_3 , Co_3O_4 – 0,5 мг/м³.

3.2. Получение твердосплавных стержней

В нашей стране твердосплавные стержни не выпускают, поэтому нами была разработана технология изготовления стержней диаметром $d=1,0...12,0$ мм длиной $l=330...480$ мм способом мундштучного прессования.

Твердосплавные стержни изготавливают в следующей последовательности: приготовление смеси WC+Со (WC 90%, Со 10%), ее

размол, сушка распылением, пластификация смеси, формование и спекание стержней.

Основным условием приготовления смеси для производства твердосплавных стержней является равномерное распределение связки (Co), карбидов (WC) и легирующих элементов (если они присутствуют) между собой в соотношении, отвечающем данной марке твердого сплава. Для этого указанные порошки смешивают, а затем подвергают размолу в жидкой среде (этиловый спирт, гексан, ацетон или другие органические жидкости). Жидкая среда препятствует окислению компонентов полученной суспензии и обеспечивает оптимальное диспергирование ингредиентов.

Процесс размола в значительной мере определяет равномерность распределения компонентов смеси, от которой в дальнейшем зависят условия спекания и эксплуатационные свойства твердого сплава.

Для размола обычно применяют атриторные или барабанные (шаровые) мельницы.

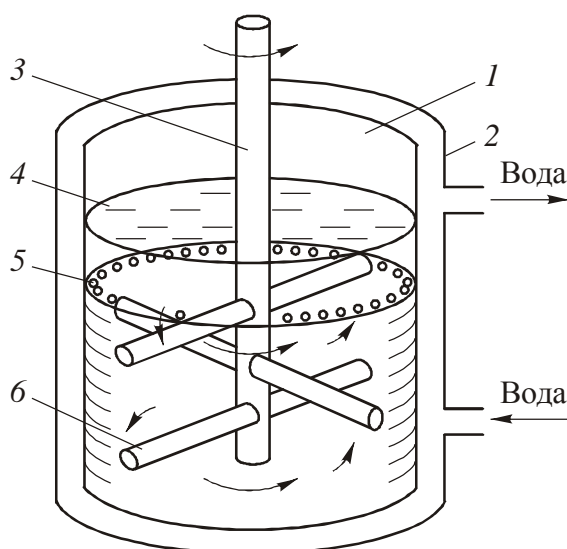


Рис. 17. Схема атриторной мельницы: 1 – размольная емкость; 2 – рубашка водоохлаждаемого кожуха; 3 – вал мешалки; 4 – размалываемая смесь; 5 – размалывающие тела; 6 – лопасти мешалки

Атриторная мельница представляет собой неподвижный стальной барабан с водяным охлаждением и футерованный изнутри твердосплавными пластинами (Рис. 17). В барабан загружают размалываемую смесь и размалывающие тела – твердосплавные шары диаметром 5...15 мм.

Лопастная крестовина (мешалка), армированная твердым сплавом, приводят в движение шары. Во время размола в атриторной мельнице работает система циркуляции суспензии. Соотношение между объемами шаров и суспензии равно 6:1.

Барабанная мельница представляет собой вращающийся цилиндрический барабан из коррозионно-стойкой стали, частично заполненный размалывающими шарами (Рис. 18). При вращении барабана шары совершают многократные падения и перекатывания, разрушая при этом частицы порошка. Оптимальная частота вращения барабана:

$$n_{\text{опт}} = (30 \dots 40) / \sqrt{d}, \text{ мин}^{-1} \quad (7)$$

Где d – диаметр барабана, м.

Условия оптимального использования мельницы: 1) диаметр шаров должен быть примерно в 30 раз больше, чем начальный размер частиц порошка; 2) объем шаровой загрузки должен составлять около 50 % объема барабана; 3) объем измельчаемого порошка должен составлять около 25 % объема барабана.

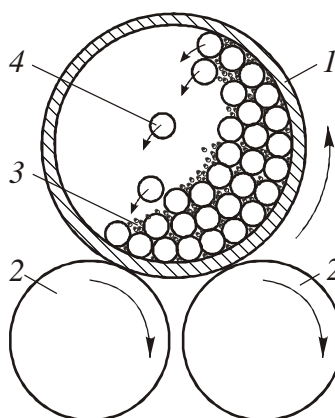


Рис. 18. Схема барабанной (шаровой) мельницы: 1 – барабан; 2 – приводные валки; 3 – измельчаемый материал; 4 – шары

Для получения гранулированного порошка пульпу после мокрого размола насосом под давлением 0,6 МПа через распылительную форсунку подают в сушильную камеру 1 установки сушки распылением (Рис. 19). Туда же, пройдя подогреватель 5, поступает под давлением 0,1...0,3 МПа азот, нагретый до температуры 170...200°С. Образовавшиеся при распылении

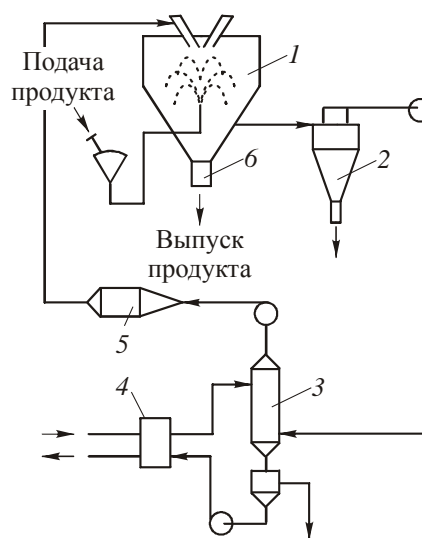
гранулы, высохнув, скапливаются в разгрузочном бункере 6. Смесь паров спирта с азотом (температура примерно 100°C) из камеры 1 поступает в циклон 2, где в разгрузочном бункере накапливаются унесенные из камеры 1 мелкие гранулы, и насосом подается в скруббер-конденсатор 3. Здесь спирт отделяется от азота и поступает в холодильник 4.

Полученные таким способом гранулы порошка WC-Co имеют форму шара диаметром 20...200 мкм.

Карбидная основа твердосплавной смеси делает ее малопластичной, трудно прессуемой и плохо формуемой. Поэтому перед формованием стержней порошок твердосплавной смеси пластифицируют путем ввода в него 6...15% пластификатора (парафин, воск и др.). Это позволяет улучшить текучесть смеси, уменьшить трение между зернами WC и усилие прессования.



а



б

Рис. 19. Установка (а) мод. NS-120 фирмы NiroAtomizer (Дания) для сушки распылением пульпы твердосплавной смеси после размола компонентов в спирте и ее схема (б):

1 – сушильная камера; 2 – циклон; 3 – скруббер-конденсатор; 4 – холодильник;

5 – подогреватель; 6 – разгрузочный бункер

При пластифицировании важно обеспечить равномерное распределение пластификатора в смеси, а также удалить из смеси воздух, который вызывает появление вздутий на поверхности и раковин внутри

прессованных стержней. Для борьбы с этим явлением пластифицирование осуществляют в вакуумной установке с подогревом смеси до температуры 38...42°C горячей водой (Рис. 20). Для повышения интенсивности смешения и получения однородной массы (это обязательное требование процесса экструзии) лопасти установки должны вращаться навстречу друг другу с разными частотами вращения ($n_1 = 0,5 * n_2$).

Формование пластифицированного порошка осуществляют в экструдере мундштучным прессованием. На Рис. 21 представлена схема экструдера фирмы *Dorst* (Германия), используемого для прессования твердосплавных стержней диаметром до 25 мм. Он включает подающий шнек 1, вакуумный насос 2, прессующий (экструдировующий) шнек 12, пресс-цилиндр 8 с держателем 9 мундштука, загрузочный бункер 6, бесступенчатые регуляторы частоты вращения подающего 5 и прессующего 10 шнеков, приводы этих регуляторов 3 и 4, перфорированную шайбу 7, пульт управления 11.

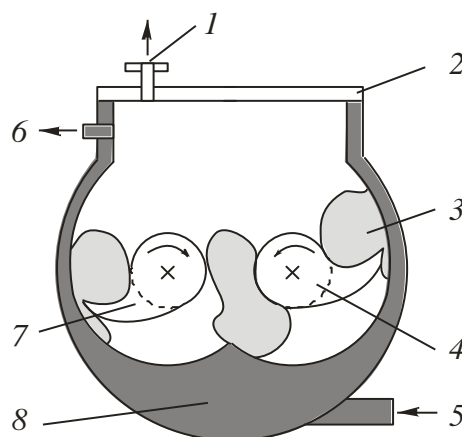


Рис. 20. Вакуумная установка для пластифицирования смеси порошков WC-Co:
 1 – к вакуумному насосу; 2 – крышка; 3 – перемешиваемая масса; 4, 7 – лопасти;
 5 – вход горячей воды, 6 – выход горячей воды; 8 – фасонный корпус

Пресс-цилиндр экструдера имеет возможность регулировать температуру экструдированной массы (Рис. 22). Достигается это благодаря наличию независимых контуров терморегулирования прессующего шнека, а также цилиндрической и конической частей пресс-цилиндра.

После экструдера формованные стержни направляют на спекание. При этом, в начальный период нагрева из формовки удаляют пластификатор. При этом скорость нагрева до температуры 300...500°С не должна превышать 4...6°С/мин из-за опасности появления в стержнях трещин, вызванных значительным, примерно до 20 %, температурным расширением пластификатора.

При температуре более 500°С скорость нагрева стержней может быть увеличена до 6...10°С/мин, т.к. пластификатор к этому времени удален полностью. После этого процесс спекания стержней ничем не отличается от спекания изделий, полученных обычным прессованием.

Спекают стержни либо в печах толкательного типа, работающих в режимах предварительного (в водороде) и окончательного (в вакууме) спекания, либо в садочных печах, также работающих в режимах предварительного (отгонка пластификатора) и окончательного (в вакууме) спекания.

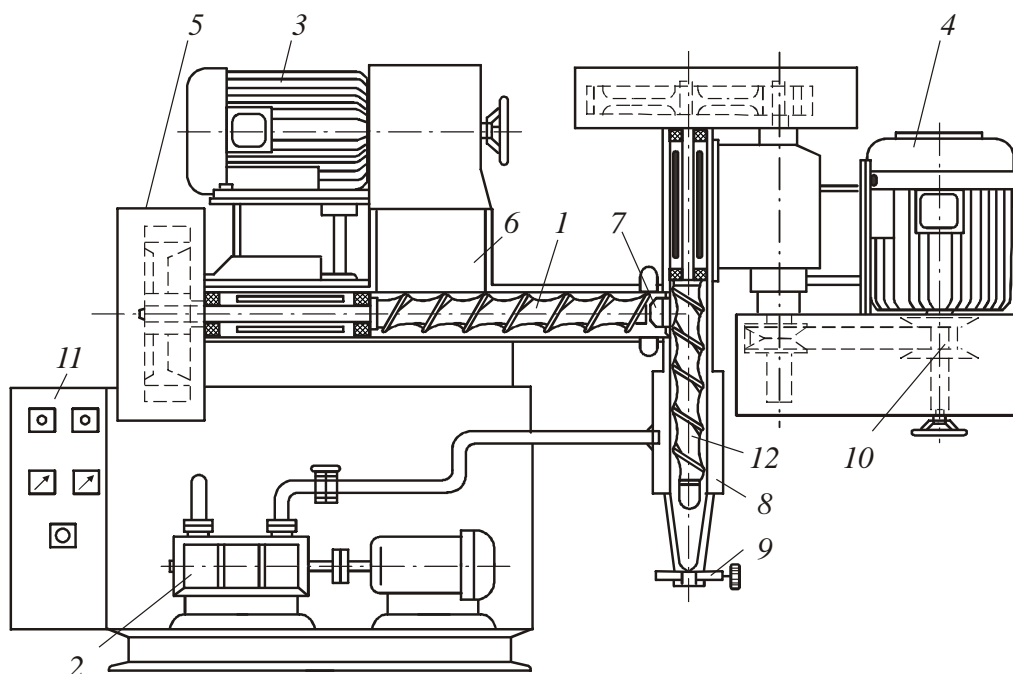


Рис. 21. Схема экструдера мод. V 20 фирмы Dorst (Германия): 1 – подающий шнек; 2 – вакуумный насос; 3, 4 – электрические приводы регуляторов частоты вращения шнеков; 5, 10 – бесступенчатые регуляторы частоты вращения шнеков; 6 – загрузочный бункер; 7 – перфорированная шайба; 8 – пресс-цилиндр; 9 – держатель мундштука; 11 – пульт управления; 12 – прессующий шнек

Работают такие печи в непрерывном и прерывистом режимах, обеспечивая программу спекания в автоматическом режиме с постоянным контролем всех параметров рабочего цикла.

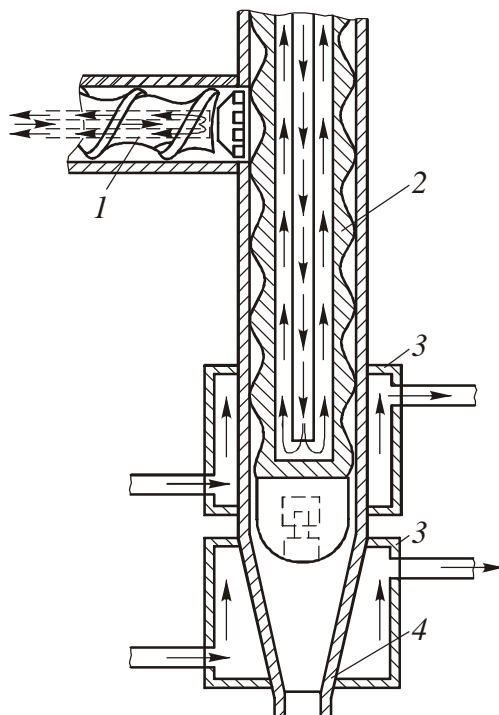


Рис. 22. Пресс-цилиндр экструдера: 1 – подающий шнек; 2 – прессующий шнек; 3 – контуры терморегулирования; 4 – держатель мундштука

Наиболее эффективными для этой цели являются печи *Sinter HIP*, соединяющие в себе печь для спекания и газостат (Рис.23). Печь работает следующим образом: газ (аргон) из баллонов 1 проходит фильтр 2 и заполняет рабочую камеру 10, после чего компрессор 3 повышает давление газа в камере. Давление выше предельного рабочего давления компрессора создается в камере 10 за счет нагрева газа нагревателем 9. Давление газа в трубопроводе 6 контролирует манометр 5. По окончании выдержки под давлением газ возвращают в баллоны 1, причем горячий газ охлаждается автоматически в момент ухода из рабочей камеры вследствие его расширения. В установке имеется дополнительный охладитель 4 для снижения температуры газа до комнатной. Выкачивание газа из рабочей камеры 10 и закачивание его в баллоны 1 прекращают, когда давление в камере 10 становится равным атмосферному. После этого небольшой остаток газа из камеры 10 выпускают в атмосферу. Трехзонный нагреватель 9 создает

длинную равномерную зону нагрева в рабочей камере 10 и обеспечивает быстрый нагрев газа до заданной температуры. Рабочая камера рассчитана на давление до 200 МПа и температуру до 2200°С.

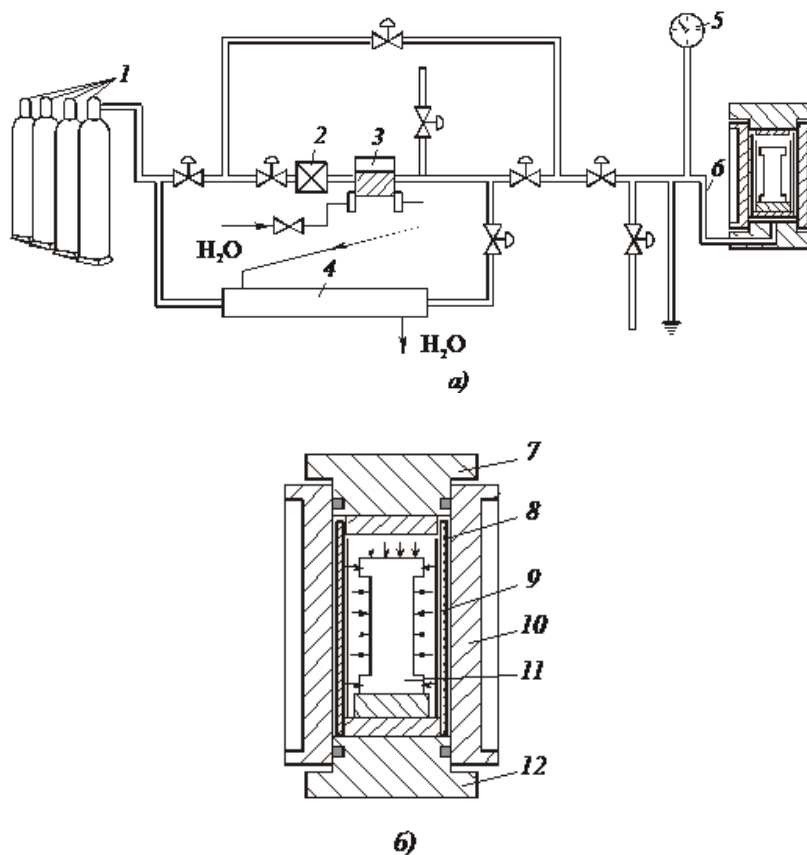


Рис.23. Принципиальная схема (а) и рабочая камера (б) установки горячего газостатического формования фирмы ASEA – AVURE (Швеция):
1 – баллоны со сжатым аргоном; 2 – фильтр; 3 – компрессор; 4 – холодильник; 5 – манометр;
6 – линия подачи аргона; 7, 12 – крышки; 8 – экран теплозащиты; 9 – нагреватель;
10 – рабочая камера; 11 – заготовка

Таким образом, технология спекания в печах *Sinter HIP* заключается в последовательном выполнении спекания и горячего изостатического прессования (*Hot isostatic pressing – HIP*). На первой стадии спекание обеспечивает относительную плотность стержней около 92...95 %, при которой все поры являются закрытыми. Спекание производят в вакууме для того, чтобы не оставлять газов в закрытых порах. После достижения указанной плотности вакуум в печи заменяют атмосферой аргона при повышенном (до 10 МПа) давлении, допрессовывая стержни до беспористого состояния. Благодаря всестороннему сжатию равными по величине

давлениями аргона твердый сплав приобретает более однородную структуру и повышенные механические характеристики. График изменения температуры T и давления P во времени τ в печах *Sinter HIP* представлен на Рис. 24.

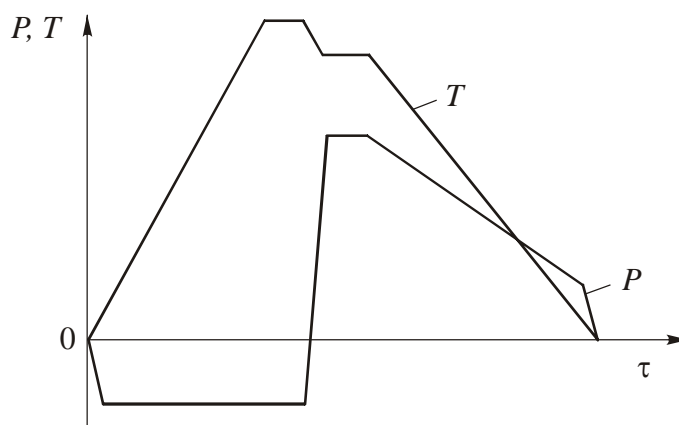


Рис. 24. Рабочий цикл совмещенного процесса спекания и газостатической обработки твердосплавной заготовки: P – давление, T – температура, τ – время

При спекании происходит удаление пластификатора и усадка стержней по размерам. При этом часть стержней подвергается короблению, которое исправляют механотермической правкой. Для этого стержни нагретые до температуры на 100°C ниже температуры спекания сжимают при небольшой нагрузке между двумя пластинами (одна плоская, а другая с треугольными канавками под спечённые стержни), изготовленными из высококачественного тонкозернистого графита марки С4 компании ПКФ Аверс (Россия), получаемого изостатическим прессованием.

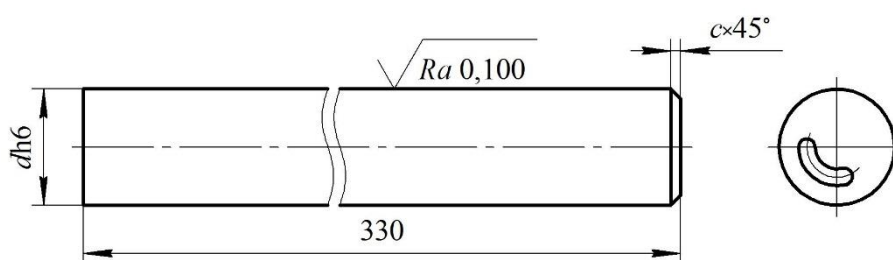


Рис. 25. Твердосплавная заготовка ружейного сверла, получаемая методом мундштучного прессования

После механотермической правки концы стержней остаются неровными и поэтому их отрезают на полуавтоматическом отрезном станке мод. *IB2* фирмы *G.u.K. Ihle* (Германия), выдерживая длину стержней в зависимости от

их диаметра в пределах +0,5...1,0 мм. При этом в качестве режущего инструмента используют алмазные отрезные круги 1A1 200-1,2-5-32 AC32 125/100 50% B1-04 ОАО Полтавский алмазный инструмент (Украина), а смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) – масляную жидкость марки *Morlina Shell 5* фирмы *Shell* (Великобритания).

Затем контролируют отклонение от прямолинейности осей стержней (стрелу прогиба) и диаметр стержней. Допускаемые отклонения осей стержней диаметром 3,0...20,0 мм длиной 330 мм – 0,25 мм. После этого стержни сортируют на группы по диаметру через 0,1 мм. Цель этой и предыдущей операций – предотвращение поломок стержней при бесцентровом шлифовании, осуществляемом на проход вследствие их кривизны и большого припуска.

В Кировградском заводе твердых сплавов шлифование стержней на бесцентровых круглошлифовальных станках ведут в две стадии (Рис. 25):

1. Черновое шлифование (снимается 3/4 припуска).

Станок мод. 3M184 РУП станкостроительный завод Вистан (Беларусь) снимает за первый проход припуск 0,1, а за последующие проходы - по 0,05мм/диаметр.

Шлифовальный (алмазный) круг 1A1 350-100-5-203 AC6 125/100 150% M1-01 ОАО Полтавский алмазный инструмент.

Ведущий круг 1 300-100-127 63С 40...25 СТ1 4 К6 35м/с А1.

СОЖ – 3...5% раствор глицерина в воде.

2. Чистовое шлифование (снимается 1/4 припуска).

Станок мод. *Jupiter 200* фирмы *Junker* (Германия) снимает за каждый проход припуски по 0,015, а за последний проход – 0,010мм/диаметр.

Шлифовальный (алмазный) круг 1A1 400-150-5-305 AC6 10/7 100% M1-01 ОАО Полтавский алмазный инструмент.

Ведущий круг 1 300-100-127 63С 40...25 СТ1 4 К6 35м/с А1.

Угол наклона ведущего круга при черновом и чистовом шлифовании 2,5...3,0°.

СОЖ – *Morlina Shell 5* фирмы *Shell* (Великобритания).

В соответствии с указанными рекомендациями было выполнено шлифование 30 шт. стержней (вариант I) номинального диаметра 9 мм длиной 330 мм из однокарбидного твёрдого сплава марки А04 Кировградского завода твёрдых сплавов (Россия).

Таб. 3. Изменение средних диаметров d_{cp} и стрелы прогиба Δ_{cp} твёрдосплавных стержней номинальным диаметром 9 мм при бесцентровом шлифовании

№прохода	d_{cp} , мм	$\sigma_{d_{cp}}$, мм	Δ_{cp} , мм	$\sigma_{\Delta_{cp}}$, мм
1	9,461	0,017	0,131	0,082
2	9,445	0,011	0,122	0,080
3	9,398	0,010	0,097	0,085
4	9,348	0,010	0,121	0,076
5	9,300	0,010	0,119	0,071
6	9,248	0,009	0,114	0,066
7	9,198	0,009	0,106	0,063
8	9,098	0,012	0,104	0,064
9	9,049	0,011	0,098	0,057
10	9,028	0,010	0,093	0,056
11	9,025	0,011	0,090	0,059
12	9,004	0,018	0,092	0,056
13	8,995	0,010	0,094	0,055

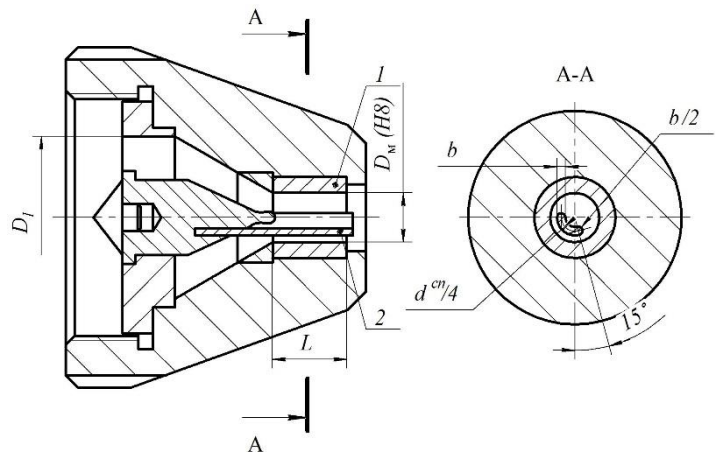
Примечание: №1 – после спекания и механотермической правки; №2-9 – после чернового шлифования; №10-13 – после чистового шлифования.

Средний диаметр и среднее квадратичное отклонение стержней из этой выборки после спекания и термомеханической правки были равны, соответственно, $d_{cp}=9,461$ мм, $\sigma_{d_{cp}}=0,017$ мм, а средняя стрела прогиба и её среднее квадратичное отклонение – $\Delta_{cp}=0,131$ мм, $\sigma_{\Delta_{cp}}=0,082$ мм. Результаты шлифования, представленные в Таб. 3. показывают, что для снятия полного среднего припуска $z_0=9,461-8,995=0,466$ мм и обеспечения шероховатости $Ra \leq 0,1$ мкм требуется 12 проходов. Дальнейшее увеличение количества проходов приводит к снижению производительности процесса шлифования, а уменьшение количества проходов повышает вероятность поломки стержней.

Технология изготовления твёрдосплавных стержней предусматривает также расчёт следующих элементов пресс-оснастки экструдера (Рис. 26):



а)



б)

Рис. 26. Рабочая зона экструдера (а) и схема держателя мундштука (б):
1 – мундштук; 2 – игла

1. Максимальный диаметр спечённого стержня (Рис. 27)

$$d_{\text{макс}}^{\text{сп}} = d + z_{\text{мин}}^{\text{ш}} + T * d^{\text{сп}} \quad (8)$$

Где d - номинальный диаметр ружейного сверла, мм;

z - минимальный припуск на шлифование, $z_{\text{мин}}^{\text{ш}} = 0,2$ мм;

$T * d^{\text{сп}}$ - допуск на диаметр спечённого стержня, мм (Таб. 4).

Таб. 4. Допуски на диаметры спеченных стержней

d , мм	От 1 до 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18
$Td^{\text{сп}}$, мм	0,15	0,20	0,30	0,40

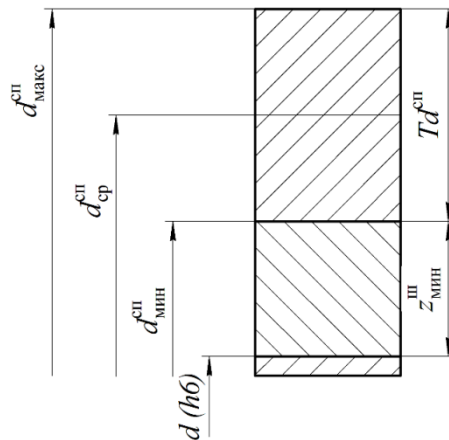


Рис. 27. Схема к расчёту диаметров спечённых стержней

2. Минимальный диаметр спечённого стержня

$$d_{\text{мин}}^{\text{сп}} = d + z_{\text{мин}}^{\text{ш}} \quad (9)$$

3. Средний диаметр спечённого стержня

$$d_{\text{сп}}^{\text{сп}} = (d_{\text{макс}}^{\text{сп}} + d_{\text{мин}}^{\text{сп}})/2 \quad (10)$$

4. Диаметр отверстия мундштука (Рис. 26)

$$D_{\text{м}} = k_{\text{у}} * d_{\text{сп}}^{\text{сп}} \quad (11)$$

Где $k_{\text{у}}$ – коэффициент усадки (например, для однокарбидных мелкозернистых твёрдых сплавов принимают $k_{\text{у}}=1,27$).

5. Длина мундштука

$$L = (4,5 \dots 5,0)D_{\text{у}} \quad (12)$$

6. Диаметр матрицы

$$D_1 = \sqrt{D_{\text{м}}^2 / (1 - k_0)} \quad (13)$$

Где $k_0 = D_1^2 - \frac{D_{\text{м}}^2}{D_1^2}$ – коэффициент обжатия, $k_0=0,90 \dots 0,95$.

7. Ширина фасонного отверстия в спечённом стержне (Рис. 28)

$$B_{\text{м}}^{\text{сп}} = 0,1592 * d - 0,0399 \quad (14)$$

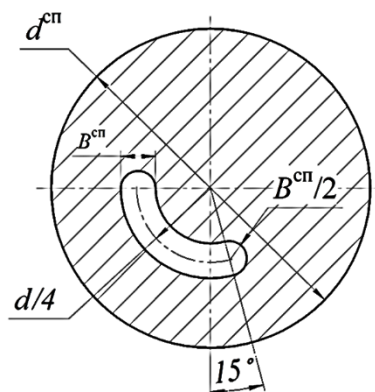


Рис. 28. Форма поперечного сечения спечённой заготовки стебля РСТС

8. Толщина иглы, формирующей отверстие в сыром стержне

$$b = k_y * B^{сп} \quad (15)$$

Расчёты основных размеров пресс-оснастки для изготовления заготовок твёрдосплавных стеблей РСТС, выполненные по разработанной методике, представлены в Таб. 5.

Таб. 5. Размеры пресс-оснастки для изготовления заготовок твёрдосплавных стеблей РСТС d=1,0...12,0 мм

d , мм	$B^{сп} (Js8)$, мм	$D_m (H8)$, мм	$D_1 (H8)$, мм	$L (h14)$, мм
1,0	0,12	1,6	5,0	10,0
1,5	0,20	2,3	8,0	
2,0	0,27	2,9	10,0	20,0
2,5	0,36	3,5	13,0	
3,0	0,44	4,1	15,0	
3,5	0,52	4,8	18,0	
4,0	0,59	5,5	20,0	30,0
4,5	0,68	6,1	23,0	
5,0	0,76	6,7	25,0	
5,5	0,83	7,4	28,0	40,0
6,0	0,92	8,0	30,0	
6,5	0,99	8,7	33,0	
7,0	1,07	9,3	35,0	50,0
7,5	1,15	9,9	38,0	
8,0	1,23	10,6	40,0	
8,5	1,31	11,2	43,0	
9,0	1,39	11,9	45,0	60,0
9,5	1,47	12,5	47,0	
10,0	1,55	13,2	50,0	
10,5	1,63	13,8	52,0	70,0
11,0	1,71	14,4	55,0	
11,5	1,79	15,1	57,0	
12,0	1,87	15,7	60,0	

Технологический процесс изготовления РСТС предусматривает следующие операции:

005. Бесцентрово-шлифовальная.

Шлифование алмазным кругом заготовки стебля на бесцентровом круглошлифовальном станке мод. *Jupiter 200* фирмы *Junker*:

- черновое (3/4 припуска) по $h7$;
- чистовое (1/4 припуска) по $h6$.

010. Отрезная.

Отрезка заготовок стеблей длиной $L_{ст}$ на электроэрозионном станке мод. Разряд 1-В, производства ОАО «НТЦ «Завод Ленинец» (Россия).

015. Бесцентрово-шлифовальная.

Шлифование в упор алмазным кругом стебля на бесцентровом круглошлифовальном станке мод. *Jupiter 200*.

020. Шлифовальная.

Шлифование алмазным кругом V-образной канавки и рабочей части на станке мод. *GrindSmart® 528XF*. При этом необходимо использовать прецизионный подвижной люнет, исключая изгиб заготовки. Для обеспечения определённого расположения подводящего канала относительно V-образной канавки необходима корректировка положения заготовки с помощью оптической камеры.

025. Получение покрытия.

Нанесение на рабочую часть сверла износостойкого покрытия в установке мод. ВПТ-010 ЗАО «Вакуумно-Плазменные Технологии-МК» (Россия).

030. Шлифовальная.

Заточка рабочей части сверла по задним поверхностям на станке мод. *MS-12* фирмы *Botek*.

035. Пайка.

Пайка стебля с хвостовиком на установке ТВЧ мод. Элисит-40ПЗ-М2013 фирмы ООО «Элисит» (Россия). Припой марки *BrazeTec 4900* фирмы *BrazeTec* (Германия) (Таб. 6). Во избежание затекания припоя в подводящий канал стебля под давлением подают аргон.

Таб. 6. Состав и некоторые характеристики припоя BraiseTec 4900 по DIN EN 1044

Содержание элементов, % (вес.)					Температура плавления, °C	Рабочая температура, °C	Прочность на срез, МПа
Ag	Cu	Zn	Mn	Ni			
49	16	23	7,5	4,5	680...705	690	250...300

040. Правка.

Путём деформации рихтовочной части хвостовика минимизируют радиальное биение рабочей части сверла относительно оси инструмента.

045. Контроль.

На установке *Zöller rezGenius 3* фирмы *Zöller* (Германия) контролируют геометрические параметры сверла.

050. Маркирование.

На установке мод. Минимаркер 2 M10 фирмы «Минимаркер» (Россия) лазером на цилиндрическую поверхность хвостовика наносят товарный знак предприятия-изготовителя, диаметр сверла, профиль рабочей части, вид износостойкого покрытия и инструментальный материал.

055. Упаковка.

На рабочую часть сверла одевают пластиковый наконечник, а на стембель - пластиковую трубку. Затем инструмент упаковывают в пластиковый пенал типа Винтопак с шестигранной головкой.

4. Повышение износостойкости ружейных сверл малых диаметров

Стойкость режущего инструмента характеризуется временем его работы до переточки. Различными способами стараются повысить стойкость. Один из них –повышение износостойкости за счет нанесения покрытий на режущую часть.

4.1. Виды покрытий

Для повышения износостойкости рабочих частей ружейных свёрл фирмы *Botek*, *Stock*, *Gühring* и др. наносят различные покрытия (Таб. 7). При этом вид покрытий должны указывать потребители инструментов, а рекомендации к выбору покрытий у фирм-производителей отсутствуют.

Таб. 7. Состав и физико-механические характеристики некоторых износостойких покрытий

Покрытие	Микротвёрдость, Гпа	Температура окисления, °С	Коэффициент трения	Коэффициент термического расширения, $10^{-6}/^{\circ}\text{K}$	Теплопроводность, Вт/(м·°К)
TiN	22...26	400...550	0,40...0,55	9,35	24,7...30,0
AlTiN	32...36	700...900	0,50...0,70	9,0	22,0
TiCN	35...40	400	0,20...0,30	7,0...8,0	43

Наиболее распространённым методом нанесения покрытий на РСТС является *Physical Vapour Deposition (PVD)*, реализуемый при температурах 400...600°С. Это объясняется тем, что, например, метод *Chemical Vapour Deposition (CVD)* реализуется при более высоких температурах - 700...1100°С, что часто неблагоприятно сказывается на работоспособности режущих инструментов. Кроме этого, метод *CVD* практически не используется для нанесения многоэлементных покрытий, например, типа (Al,Ti)N. Поэтому наибольшее предпочтение в нашем случае следует отдать методу *PVD*.

4.2. Технологии нанесения износостойких покрытий

После алмазной заточки ружейных свёрл их режущие кромки имеют малый радиус округления, пилообразную форму и сколы (Рис. 29). При сверлении это приводит к снижению стойкости инструмента. Поэтому далее ружейные свёрла подвергают «сухому» полированию, например, на установках фирмы *Otec* (Германия), *Multifinish* (Германия) и др.

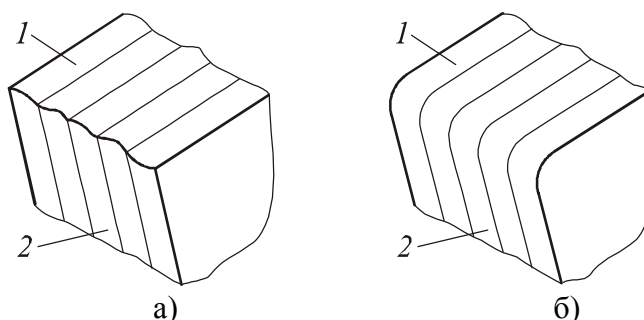


Рис. 29. Вид режущей кромки ружейного сверла: а – после алмазного шлифования; б – после «сухого» полирования (1 – передняя поверхность, 2 – задняя поверхность)

Общий вид установки «сухого» полирования *SF-1/1-68* фирмы *Otec* показан на Рис. 30, а. В процессе работы установки свёрла, закрепленные в быстросменных держателях, неподвижны, а ёмкость с абразивной смесью вращается (Рис. 30). Вращение ёмкости с изменяемой скоростью и глубиной погружения в специально подобранную абразивную смесь позволяет добиться равномерности обработки и хорошей воспроизводимости результатов.



Рис. 30. Установка для «сухого» полирования мод. *SF-1/1-68* фирмы *Otec*: а – общий вид; б – схема работы

В качестве абразивной среды здесь используют, например, гранулы оксида алюминия – корракса (Рис. 31) или смесь, рекомендуемую фирмой *Otec* и состоящую из 70 % карбида кремния зернистостью 1,4 мм и 30 % гранул грецкого ореха зернистостью 1,6 мм.

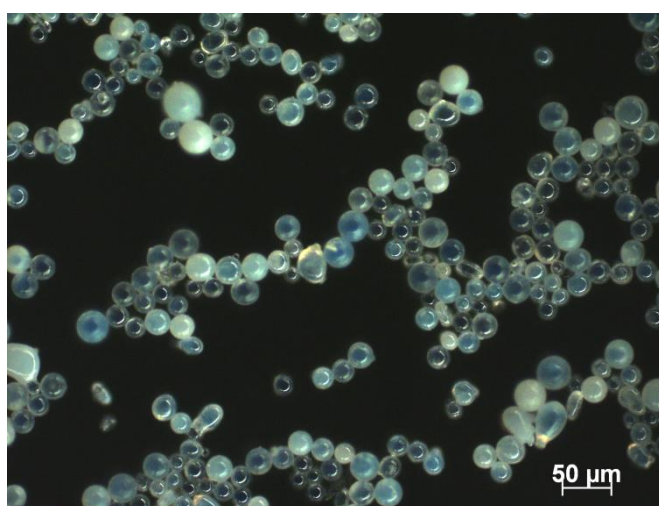


Рис. 31. Гранулы оксида алюминия – корракса (×500)

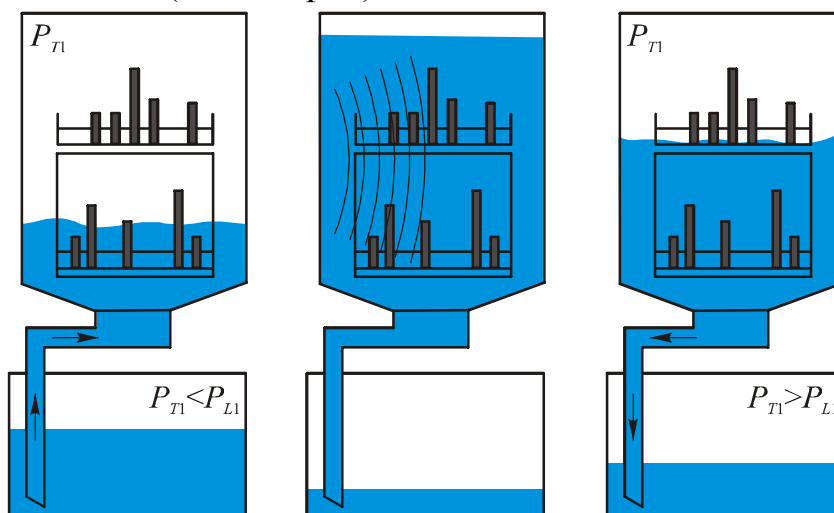
Функциональные характеристики износостойких покрытий зависят от качества подготовки поверхностей рабочих частей ружейных. Поэтому свёрла перед нанесением покрытия подвергают мойке в автоматической моечной машине с вакуумной сушкой, например, фирмы *Platit* (Швейцария) (Рис. 32).



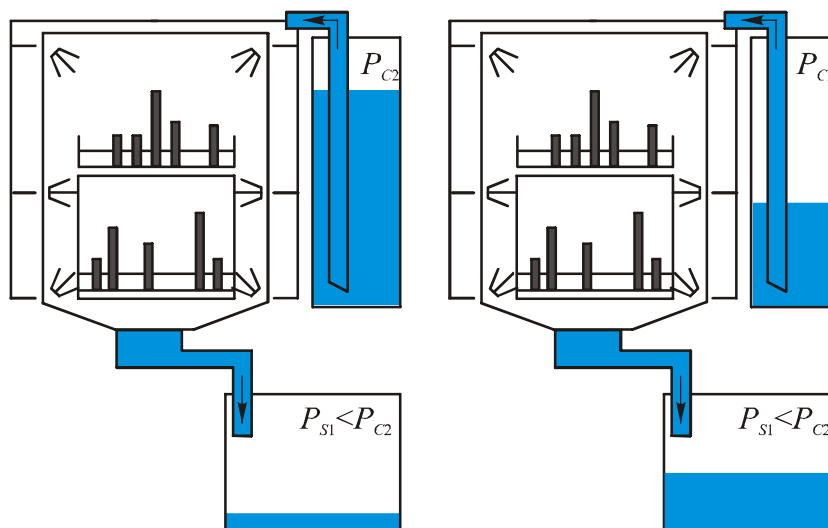
Рис. 32. Общий вид автоматической моечной машины с вакуумной сушкой мод. V300 фирмы Platit (Швейцария)

Мойка ружейных свёрл осуществляется в следующей последовательности (время цикла 45 мин):

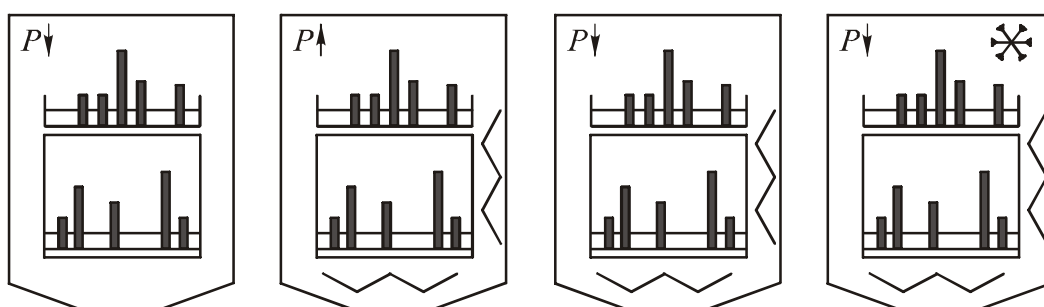
1. Ультразвуковая очистка (моющее средство *Deconex HT 1153* фирмы *Borer Chemie* (Швейцария).



2. Мойка (моющее средство *Deconex Spray Extra* фирмы *Borer Chemie* (Швейцария).



3. Вакуумная сушка (70...80°C).



После такой обработки инструменты готовы для нанесения покрытия.

Износостойкие покрытия на рабочие части ружейных свёрл наносят методами физического осаждения в вакууме – *Physical Vapour Deposition (PVD)*:

- а) метод вакуумно-дугового испарения;
- б) метод магнетронного распыления;
- в) 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. При этом перевод твердого вещества в металлический пар может осуществляться катодным пятном вакуумной дуги (вакуумно-дуговое

испарение, Рис. 33, а); ионным пучком (магнетронное распыление, Рис. 33, б); электронным пучком (электронно-лучевое испарение, Рис. 33, в) при температуре 500...600 °С.

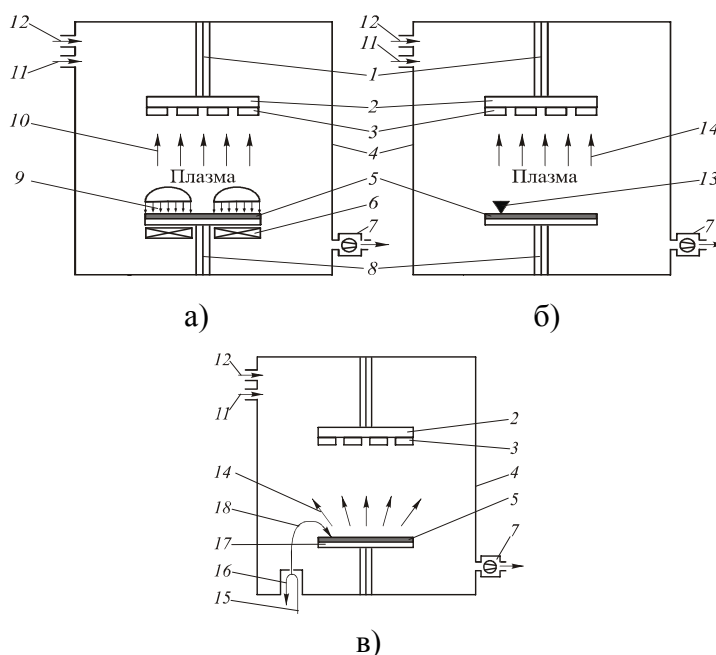


Рис. 33. Принципиальные схемы нанесения покрытий на режущий инструмент PVD-методами: а – магнетронным распылением; б – вакуумно-дуговым испарением; в – электронно-лучевым испарением; 1 – подача напряжения смещения; 2 – держатель инструментов; 3 – инструмент; 4 – вакуумная камера; 5 – осаждаемый материал; 6 – магнитная система для магнетронного распыления; 7 – вакуумный насос; 8 – подача разрядного напряжения; 9 – ионный пучок; 10 – распыленный материал; 11 – реакционный газ; 12 – инертный газ; 13 – катодное пятно; 14 – испаренный материал; 15 – подача ускоряющего напряжения; 16 – термокатод; 17 – тигель; 18 – электронный луч

В качестве испаряемого (распыляемого) вещества обычно используют тугоплавкие металлы (Ti, Cr, Mo, Zr, Al и др.), реакционных газов – азот, метан, кислород и получают соответственно покрытия в виде нитридов, карбидов, карбонитридов или оксикарбидов тугоплавких металлов (Таб. 8).

Таб. 8. Характеристики покрытий, получаемых PVD-методом

Покрытие	Цвет	HV^*	Коэффициент трения по стали 45	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-черный	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

* Так как твердость может варьироваться в широком диапазоне и зависит от режимов осаждения и химического состава покрытия, в таблице представлены данные об оптимальной твердости, рекомендуемой для покрытий на режущий инструмент.

Нанесение *PVD*–покрытий при помощи дугового или тлеющего разряда (магнетрона) обеспечивает бóльшую производительность и не столь чувствительно к незначительным отклонениям технологических параметров. Поэтому *PVD*–метод находит все бóльшее применение.

Типовой технологический процесс нанесения покрытий *PVD*–методом состоит из следующих основных операций:

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 нанесенного покрытия.

Для реализации *PVD*–метода применяется оборудование фирм *Hauser* (Нидерланды), *Oerlikon Balzers* (Швейцария), *Platit* (Швейцария), *Multi Arc Vacuum System* (США), а *CVD*–метода – *Ricter Precision* (США), *Rübig* (Германия), *Ion Bond* (Швейцария) и др.

На Рис. 34 представлен общий вид установки для нанесения покрытий *PVD*–методом мод. п-300 фирмы *Platit*, ее технические характеристики в Таб. 9, а виды наносимых покрытий – в Таб. 10.



Рис. 34. Общий вид установки для нанесения износостойких покрытий мод. П-300 фирмы Plaitit

Таб. 9. Основные технические характеристики установки для нанесения износостойких покрытий мод. П-300 фирмы Plaitit

Число испарителей (катодов), шт.: боковые вращающиеся катоды (LARC®) центральные вращающиеся катоды(CERC®)	3 1
Температура нанесения покрытия, °С: инструментальные стали быстрорежущие стали твердые сплавы	230 350-500 350-600
Производительность, шт., при обработке: осевого инструмента \varnothing 10 x 70 мм (2 мкм) твердосплавных пластин \varnothing 20 x 6 мм (2 мкм) червячных фрез \varnothing 80 x 180 мм (4 мкм)	504 (цикл 4,5 ч) 1890 (цикл 4 ч) 14 (цикл 6 ч)
Наносимые покрытия	TiN, (Ti,Al)N, nACo®, TiCN-MP, (Ti,Al)CN, CrN, nACRo®, GRADVIC®, CROMVIC®, однослойные, многослойные, нанослойные, наноградиентные, нанокомпозитные и их сочетания
Габаритные размеры рабочей камеры: длина×ширина×высота, мм	580×580×540
Материал камеры	коррозионно-стойкая сталь по DIN 1.4301
Максимальные размеры покрываемой детали: диаметр, мм высота, мм	490 450
Максимальная масса одной покрываемой детали, кг	30
Максимальная загрузка, кг	150...200
Габаритные размеры установки: длина×ширина×высота, мм	1660×2350×2300
Электропитание, В/А/Гц	3×400/160А/50-60
Потребляемая мощность: типичная/максимальная, кВт/кВт	50/82

Масса установки, кг	1511
Система управления	персональный компьютер с операционной системой Windows 2000

Таб. 10. Виды износостойких покрытий, наносимых на установке мод. п-300 фирмы Platit

Тип покрытия Структура Цвет	Хим. состав (Общая толщина пластины, мкм)	Последова- тельность слоев	Толщина слоев, мкм
TiN монослой (золотой)	$Ti_{1,0}N_{1,0}$ (1-7)	TiN	5,0
TiAlN монослой (черный)	$Ti_{0,5}Al_{0,5}N$ (1-5)	AlTiN	0,2
		TiAlN	3,9
		TiN	0,2
TiAlN монослой (золотой)	$Ti_{0,5}Al_{0,5}N$ (1-5)	TiN	0,2
		TiAlN	3,9
		TiN	0,2
TiAlN мультислои (темно-фиолетовый)	$Ti_{0,6}Al_{0,4}N$ (1-4)	TiAlN (верх)	1,0
		$TiAlN_2$	0,3
		$TiAlN_1$	0,3
		TiN	0,1
AlTiN монослой (черный)	$Al_{0,35}Ti_{0,65}N$ (1-4)	AlTiN	2,0
		TiAlN	0,9
		AlSiTiN	0,3
		TiAlSiN	0,3
		TiN	0,1
AlTiN мультислои (черный)	$Al_{0,4}Ti_{0,6}N$ (1-4)	AlTiN (верх)	1,0
		AlTiN	0,3
		TiAlN	0,3
		TiN	0,1
nASc [®] градиентный (синий)	$Ti_{0,45}Si_{0,05}Al_{0,5}N$ (1-4)	TiAlSiN	3,8
		TiN	0,1
nASc [®] мультислои (синий)	$Ti_{0,48}Si_{0,04}Al_{0,48}N$ (1-4)	AlSiTiN (верх)	1,0
		AlSiTiN	0,3
		TiAlSiN	0,3
		TiN	0,1

Установка для нанесения покрытий PVD–методом мод. *Berhex BP Xpro 530 L – T* фирмы *IonBond* показана на Рис. 35, ее технические характеристики в Таб. 11, а виды наносимых покрытий – в Таб. 12.



Рис. 35. Общий вид установки мод. VernexVPXpro 530 L – Т фирмы IonBond

Таб. 11. Основные технические характеристики установки мод. VernexVPXpro 530 L – Т фирмы IonBond

Внешний диаметр реактора, мм	530
Длина реактора, мм	1600
Высота реактора, мм	1250
Количество загружаемых поддонов, шт.	41
Максимальная масса загрузки, кг	400
Рабочий объем реактора, л	110
Количество реакторов, шт.	2
Диапазоны рабочих температур, °C	
HT-CVD:	900-1050
MT-CVD:	700-900
Рабочий диапазон давления, Па	$(5-90) \cdot 10^3$
Наносимые покрытия	однослойные: TiN, TiC, CrC, HT-Ti (C _x N _y), CMT-Ti (C _x N _y), α -Al ₂ O ₃ или KAl ₂ O ₃ , многослойные из вышеуказанных (например, TiN/MT-Ti(CN)/Al ₂ O ₃ /TiN), HfN, ZrN, ZrC, TaC, Zr(CN), TiZr(CN) Ti(CBN), TiB ₂ , Al ₂ O ₃ -ZrO ₂
Масса установки, кг	10000
Габаритные размеры установки, мм длина×ширина×высота	5100×8100×7000
Потребляемая мощность (максимальная), кВт:	90

Таб. 12. Виды покрытий, наносимых на установке мод. VernexVPXpro 530 L – Т фирмы IonBond

Обозначение	Тип покрытия цвет структура	Состав толщина слоев, мкм
-------------	-----------------------------------	------------------------------

<i>Bernex D</i> (точение)	MT TiCN, золотой, мультислои	средняя – 12	<table border="1"> <tr><td>TiN – 1</td></tr> <tr><td>MTTiCN – 9</td></tr> <tr><td>TiN – 1</td></tr> </table>	TiN – 1	MTTiCN – 9	TiN – 1	толщина	
TiN – 1								
MTTiCN – 9								
TiN – 1								
<i>BernexF</i>	MT TiCN, Золотой, мультислои	средняя – 4...6	<table border="1"> <tr><td>TiN – 1</td></tr> <tr><td>MTTiCN – 4</td></tr> <tr><td>TiN – 1</td></tr> </table>	TiN – 1	MTTiCN – 4	TiN – 1	толщина	
TiN – 1								
MTTiCN – 4								
TiN – 1								
<i>HSA</i> (скоростное резание)	Alpha Al ₂ O ₃ черный мультислои	средняя – 12	<table border="1"> <tr><td>αAl₂O₃ – 6</td></tr> <tr><td>HTTiCN – 5</td></tr> <tr><td>TiN – 1</td></tr> </table>	αAl ₂ O ₃ – 6	HTTiCN – 5	TiN – 1	толщина	
αAl ₂ O ₃ – 6								
HTTiCN – 5								
TiN – 1								
<i>HSM</i> (черновое фрезерование)	Карра Al ₂ O ₃ золотой мультислои		<table border="1"> <tr><td>TiN – 1</td></tr> <tr><td>κAl₂O₃ – 3</td></tr> <tr><td>MTTiCN – 2</td></tr> <tr><td>TiN – 1</td></tr> </table>	TiN – 1	κAl ₂ O ₃ – 3	MTTiCN – 2	TiN – 1	средняя толщина – 4...6
TiN – 1								
κAl ₂ O ₃ – 3								
MTTiCN – 2								
TiN – 1								
<i>SpeedMill</i> (скоростное фрезерование)	Fine alpha Al ₂ O ₃ черный мультислои		<table border="1"> <tr><td>αAl₂O₃ – 3</td></tr> <tr><td>MT TiCN – 3</td></tr> <tr><td>TiN – 1</td></tr> </table>	αAl ₂ O ₃ – 3	MT TiCN – 3	TiN – 1	средняя толщина – 4...6	
αAl ₂ O ₃ – 3								
MT TiCN – 3								
TiN – 1								
<i>SpeedTurn</i> (скоростное точение)	Карра Al ₂ O ₃ золотой мультислои	средняя – 10...18	<table border="1"> <tr><td>TiN – 1</td></tr> <tr><td>κAl₂O₃ – 6</td></tr> <tr><td>MTTiCN – 5</td></tr> <tr><td>TiN – 1</td></tr> </table>	TiN – 1	κAl ₂ O ₃ – 6	MTTiCN – 5	TiN – 1	толщина
TiN – 1								
κAl ₂ O ₃ – 6								
MTTiCN – 5								
TiN – 1								
<i>HST</i>	Alpha Al ₂ O ₃ черный мультислои	средняя – 10...18	<table border="1"> <tr><td>αAl₂O₃ – 6</td></tr> <tr><td>MTTiCN – 5</td></tr> <tr><td>TiN – 1</td></tr> </table>	αAl ₂ O ₃ – 6	MTTiCN – 5	TiN – 1	толщина	
αAl ₂ O ₃ – 6								
MTTiCN – 5								
TiN – 1								

4.4. Контроль качества износостойких покрытий

Полный контроль качества износостойких покрытий предусматривает измерение следующих параметров:

а) толщина покрытия

Наиболее просто толщина покрытия контролируется путем «протираания» сферических лунок с заглублением в подложку малоизнашиваемого криволинейного контртела, обычно шара, с участием абразива. Последующее измерение хорды лунок позволяет рассчитать толщину покрытия исходя, например, из расчетной схемы «шар-плоскость» (Рис. 36).

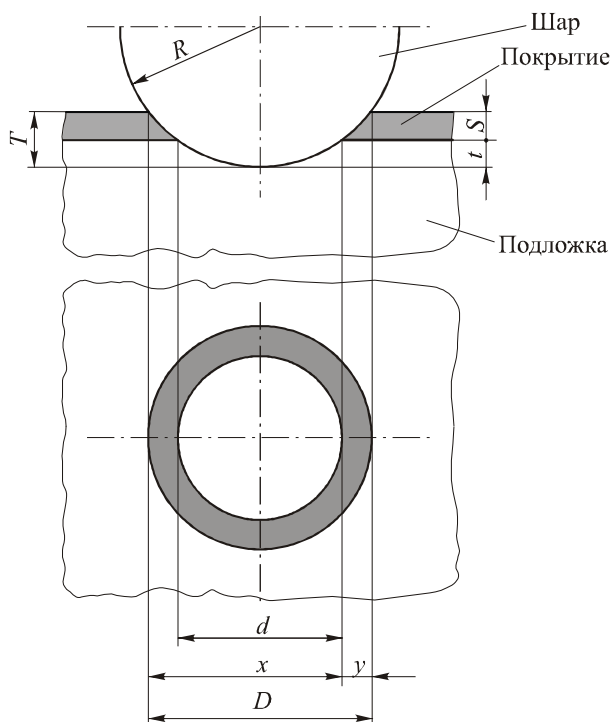


Рис. 36. Расчетная схема для определения толщины покрытия (схема «шар-плоскость»)

Здесь толщина покрытия

$$S = T - t \quad (24)$$

Где T – общая глубина сферической лунки;

t – глубина лунки в подложке.

Общая глубина лунки

$$T = R - \left(\frac{1}{2} \sqrt{4R^2 - D^2} \right) \quad (25)$$

а глубина лунки в подложке

$$t = R - \left(\frac{1}{2} \sqrt{4R^2 - d^2} \right) \quad (26)$$

Тогда толщина покрытия

$$S = \frac{1}{2} \left(\sqrt{4R^2 - D^2} - \sqrt{4R^2 - d^2} \right) \quad (27)$$

У тонких покрытий, когда $T \ll R$ последнее уравнение принимает вид:

$$S = \frac{D^2 - d^2}{8R} \quad (28)$$

или заменив $D = x + y$ и $d = x - y$

$$S = \frac{xy}{2R} \quad (29)$$

Для контроля толщины покрытий рассмотренным методом обычно используют прибор *Calotest* фирмы *GSM Instruments* (Швейцария). Он позволяет измерять одно- и многослойные покрытия толщиной $0,1 \dots 50$ мкм в течение нескольких минут. Для этого прибор оснащен микроскопом, цветной видеокамерой и программным обеспечением для анализа изображения.

б) твердость и модуль упругости покрытия

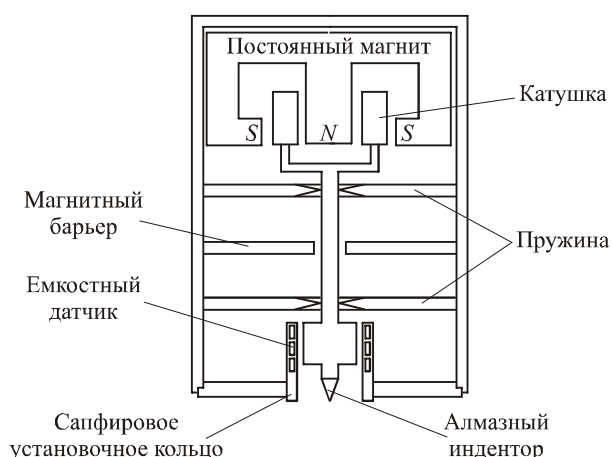


Рис. 37. Схема измерительной головки нанотвердомера Nano-Hardness Tester фирмы GSM Instruments

Для этой цели используют, например, нанотвердомер *Nano-Hardness Tester* фирмы *GSM Instruments* (Швейцария) (Рис. 37). Прибор состоит из

прецизионного твердомера, оптического микроскопа и предметного столика с механическим приводом. Образец с плоско-параллельными поверхностями – опорной и изучаемой, размером не менее 6 мм помещают на предметный столик и с помощью оптического микроскопа выбирают место для индентирования.

Перемещения предметного столика в горизонтальной плоскости (позиционирование) и индентора в вертикальной плоскости (измерения) управляются персональным компьютером с использованием программного обеспечения фирмы *GSM* с очень высокой точностью (Таб. 13).

Таб. 13. Основные технические характеристики нанотвердомера Nano-HardnessTester фирмы GSMInstruments

Технические характеристики	Значения
Нагрузка, МН	0,1...300,0
Глубина проникновения, мкм	0,03...500
Погрешность вертикального позиционирования индентора, мкм	0,0003
Шаг горизонтального позиционирования предметного столика, мкм	1,0

При измерении твердости на поверхность образца опускается сапфировое кольцо внутренним диаметром 5 мм, а затем вдавливается индентор (Рис. 37). Такая схема позволяет термостатировать область измерения, устранить возможный изгиб тонких образцов при нагружении, а по моменту касания кольца оценить расстояние от базового наложения индентора до поверхности образца.

Из схемы измерительной головки видно, что нормальная нагрузка передается индентору через вертикальный стержень, являющийся сердечником прецизионного электромагнита, закрепленного мембранными пружинами. Перемещение стержня относительно сапфирового кольца измеряется высокочувствительным емкостным датчиком, который связан с персональным компьютером. Инденторами являются алмазные четырех– или трехгранные пирамиды соответственно Виккерса или Берковича (Рис. 38).



Рис. 38. Отпечатки инденторов Виккерса (а) и Берковича (б):
d – размер отпечатка по диагонали; **l** – длина горизонтальной проекции отпечатка

Перед началом серии испытаний проводят калибровку нанотвердомера по эталонному образцу с известным модулем упругости (например, плавленый кварц, $E=72$ ГПа, $H=9,5$ ГПа), а измерения производят при нагрузке 10 мН и скорости нагружения 0,33 мН/с.

Затем задают параметры испытания: нагрузка, скорость нагружения, время выдержки под нагрузкой и скорость разгружения. При этом управляющая программа позволяет сохранить на жестком диске персонального компьютера для каждого испытания 1000 точек с координатами «время–нагрузка–глубина вдавливания».

Типичная кривая непрерывного индентирования в виде зависимости глубины проникновения индентора от нагрузки представлена на Рис. 39. Здесь верхняя кривая соответствует нагружению и отражает сопротивление материала внедрению индентора, а нижняя – описывает возврат деформации после снятия внешней нагрузки и характеризует упругие свойства материала.

При внедрении индентора вблизи области контакта создается сложное напряженное состояние, близкое к всестороннему сжатию, а деформация, распространяющаяся вглубь материала, имеет как пластическую (необратимую), так и упругую (обратимую) составляющие. Благодаря этому при непрерывном индентировании оказывается возможным рассчитать:

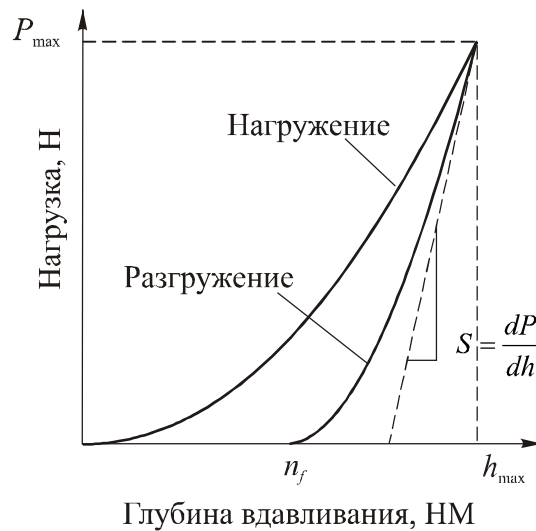


Рис. 39. Типовая диаграмма вдавливания индентора

- твердость (отношение максимальной нагрузки к площади проекции невосстановленного отпечатка)

$$HV=1,854 \cdot P / d^2 \text{ (пирамида Виккерса) (30)}$$

$$HV=1,570 \cdot P / l^2 \text{ (пирамида Берковича) (31)}$$

- приведенный модуль упругости Юнга

$$E^* = \frac{(\sqrt{r} \cdot S)}{2\beta \cdot \sqrt{A}}; \frac{1}{E^*} = \frac{(1-\nu^2)}{E} + \frac{(1-\nu_1^2)}{E_1} \text{ (32)}$$

Где S – контактная жесткость,

$$S = \frac{dP}{dh};$$

β – коэффициент, $\beta=1,012$ (пирамида Виккерса), $\beta = 1,034$ (пирамида Берковича);

A – площадь проекции восстановленного отпечатка;

ν, ν_1 – коэффициенты Пуассона соответственно для стали ($\nu=0,25$) и алмаза ($\nu_1=0,07$);

E_1 – модуль упругости алмаза, $E_1=1140$ ГПа.

в) упругое восстановление (доля упругой составляющей в общей деформации)

$$R = (h_m - h_f) / h_m \text{ (33)}$$

Где h_m – наибольшая глубина погружения индентора, мкм;

h_f – глубина отпечатка после снятия нагрузки, мкм.

Таким образом, в методе наноидентирования твердость определяется исходя из площади невосстановленного отпечатка, т. к. определение твердости по площади восстановленного отпечатка в случае использования материалов, у которых упругое восстановление $R > 10 \dots 20$ %, дает завышенные значения твердости.

в) адгезионная прочность связи покрытия с подложкой

- метод вдавливания (отслаивания)

В поверхность плоского образца с нанесенным покрытием на приборе Роквелла (шкала С) вдавливают алмазный индентор под определенной нагрузкой, приводящей к появлению повреждений в покрытии (Рис. 40). После снятия нагрузки делают микрофотографии зоны вдавливания. Качественную оценку прочности адгезионной связи осуществляют путем сравнения полученных микрофотографий с эталонными (Рис. 41), а количественную – по отношению площади отпечатка к площади скола покрытия, образуемого в результате вдавливания индентора;

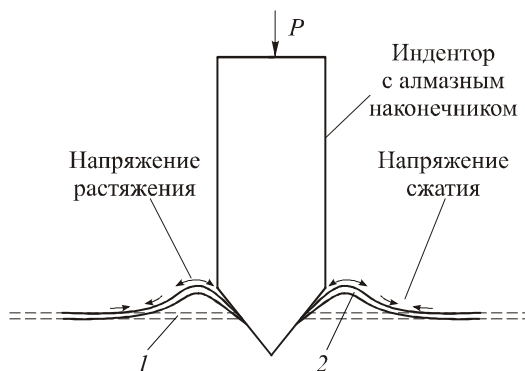


Рис. 40. Схема определения адгезионной прочности покрытия методом вдавливания с помощью прибора Роквелла: 1 – первоначальное состояние поверхности образца с покрытием; 2 – деформированная поверхность покрытия после приложения нагрузки

- склерометрический метод (скретч-тест)

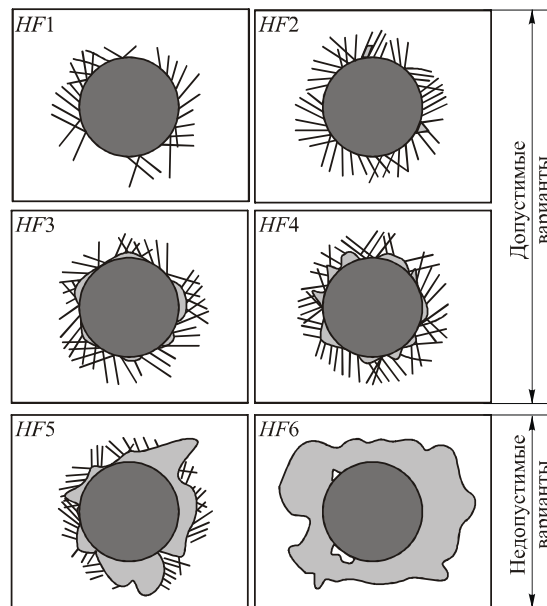


Рис. 41. Варианты разрушения покрытий (HF1 – HF6) на образце в результате вдавливания индентора на приборе Роквелла (VDI 3198)

На поверхность покрытия алмазным индентором наносится царапина при постоянной, постепенно нарастающей или пошаговой нагрузке (Рис. 42). При определенной критической нагрузке $L_c(H)$ покрытие начинает разрушаться. При этом данные критической нагрузки фиксируются с высокой точностью с помощью акустического датчика, а также с помощью встроенного оптического микроскопа. Значение критической нагрузки используют для расчета адгезионной силы в системе «покрытие–подложка». Кроме акустической эмиссии измеряют прилагаемую нормальную нагрузку P , силу трения и глубину проникновения индентора. В совокупности эти параметры определяют уникальный «почерк» каждого покрытия.

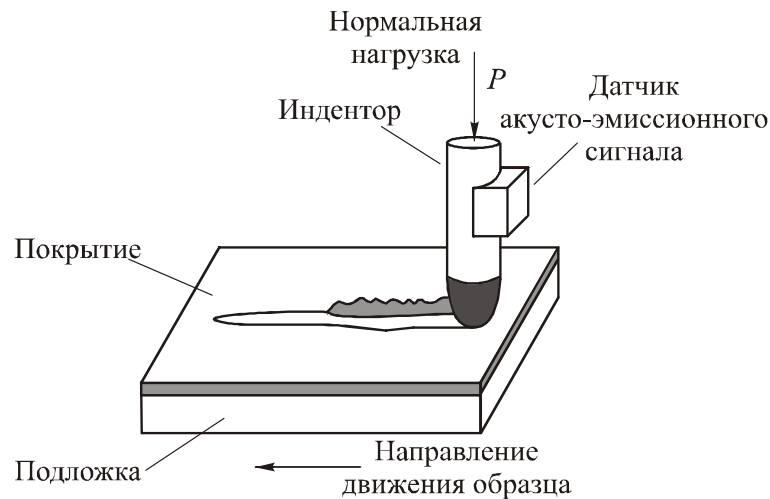


Рис. 42. Схема контроля адгезионной прочности покрытия методом скретч-тестирования (царапания)

В настоящее время для контроля прочности покрытия широко применяют скретч-тестеры фирмы *GSM Instruments* (Швейцария) (Таб. 14).

Таб. 14. Основные технические характеристики скретч-тестеров фирмы *GSM Instruments*

Технические характеристики	Тип прибора		
	Нанотест	Микротест	Макротест
Нормальная нагрузка, Н	0,01...1,0	0,3...30,0	0,5...200,0
Максимальная сила трения, Н	1	30	200
Максимальная длина царапины, мм	120	120	70
Скорость нанесения царапины, мм/мин	0,4...600	0,4...600	0,4...600
Максимальная глубина царапины, мм	2	1	1
Увеличение видеомикроскопа	×200, ×800, ×4000	×200, ×800	×200, ×800

г) износостойкость покрытий

Оценивают на машинах трения в соответствии с международными стандартами *DIN* (стандарт Германии) и *ASTM* (стандарт Американского общества испытания материалов). Это, например, автоматизированная машина трения *Tribometer* фирмы *GSM Instruments* (Швейцария). Она позволяет осуществлять комплексное трибологическое исследование, которое включает:

- непрерывную запись коэффициента трения по схеме «шарик–вращающийся диск» (Рис. 43)

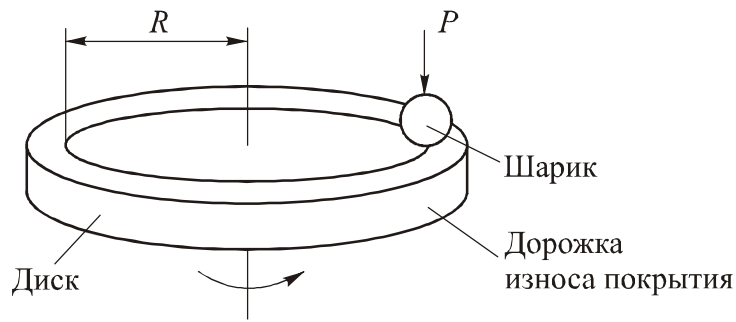


Рис. 43. Схема испытания износостойкости покрытий на машине трения Tribometer фирмы GSMInstruments

- фрактологическое исследование дорожки износа покрытия и площадки износа шарика.

Размеры дорожек и площадок износа измеряют оптическим микроскопом *AxiovertCA25* фирмы *CarlZeiss* (Германия) и стереомикроскопом *MBC*. Затем рассчитывают объемы шара $V_{ш}$ и покрытия $V_{п}$, удаленные в процессе их износа по формулам

$$V_{ш} = \pi \cdot h^2 \left(r - \frac{1}{3} h \right) \quad (34)$$

Где h – высота сегмента, $h = r - \left[r^2 - (d' / r)^2 \right]^{1/2}$;

r – радиус шарика;

d' – диаметр площадки износа шара.

$$V_{п} = S \cdot l \quad (35)$$

Где S – площадь поперечного сечения дорожки износа покрытия;

l – длина дорожки износа, $l = 2\pi R$;

R – радиус дорожки износа.

На основе данных об объемах изношенных материалов с помощью компьютерной программы *Instrum X for Tribometer GSM Instruments* рассчитывают скорости износа покрытия и контртела (шара), а, соответственно, судят об износостойкости изучаемого покрытия.

4.3. Методика выбора износостойкого покрытия

Анализ литературы (см. §1.3) показал, что точность получаемых отверстий существенно зависит от износостойкости направляющих элементов рабочих частей ружейных свёрл. В настоящее время в литературе отсутствуют рекомендации по выбору вида износостойких покрытий для РСМД. Наиболее достоверные данные по выбору износостойкого покрытия можно получить только путём стойкостных испытаний ружейных свёрл с нанесёнными покрытиями. Однако такой путь является весьма затратным и трудоёмким. Поэтому нами было предложено использовать физическое моделирование износа направляющих элементов ружейного сверла, находящихся в контакте с поверхностью обработанного отверстия. Для этого использовали трибометр мод. *THT-5-AX0000* фирмы *CSEM Instruments* в ЦИСМ ТПУ. Прибор работает по схеме «неподвижный шар-вращающийся диск» (Рис. 44). На полированные шары из однокарбидного твёрдого сплава ($Co=6\%$, $d_{wc}=0,5...0,8$ мкм) радиусом $R_{ш}=3$ мм, выполняющие роль направляющих элементов, методом *PVD* в установке мод. *Alpha 100* фирмы *Eifeler* (Германия), были нанесены износостойкие покрытия – TiN , $Al_{70}Ti_{30}N$ и $TiCN$.

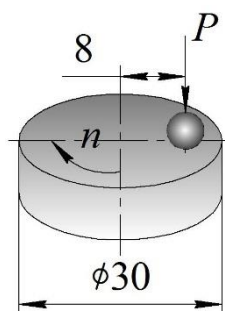


Рис. 44. Схема трибологических испытаний «неподвижный шар-вращающийся диск»

В качестве поверхностей обработанных отверстий использовали полированные диски из стали АЦ40Х по ТУ 14-1-3283-81 диаметром 30 мм и толщиной 5 мм. Диск вращался вокруг своей оси с частотой $n=100$ мин⁻¹ (линейная скорость $V=4,8$ м/мин). Неподвижный шар располагался

эксцентрично относительно оси вращения диска на расстоянии 8 мм и под действием нормального усилия $P=5$ Н прижимался к диску. Электродвигатель прибора в течение 42 минут обеспечивал постоянную частоту вращения диска, находящегося под указанной нагрузкой, а специальное устройство выключало вращение диска после достижения 3981 оборотов. Таким образом, путь трения шара до остановки диска составлял $L=200000$ мм. В эксперименте в качестве СОЖ использовали масляную жидкость марки МР-3 по ТУ 0258-041-57518521-2011, которая широко используется при сверлении глубоких отверстий малых диаметров ружейными свёрлами. В ходе эксперимента изучали влияние трибопары и масляной СОЖ на интенсивность износа покрытия и коэффициент трения.

Исходя из случая контакта двух абсолютно гладких поверхностей, силу для вдавливания шара в упругое полупространство вычисляли по формуле (Рис. 45):

$$P = \frac{4}{3} \cdot E^* \cdot \left(\frac{d_{ш}}{2} \right)^{1/2} \cdot h^{3/2} \quad (16)$$

где E^* - приведённый модуль упругости, Мпа; $d_{ш}$ – диаметр вдавливаемого шара, мм; h – глубина проникновения шара, мм.

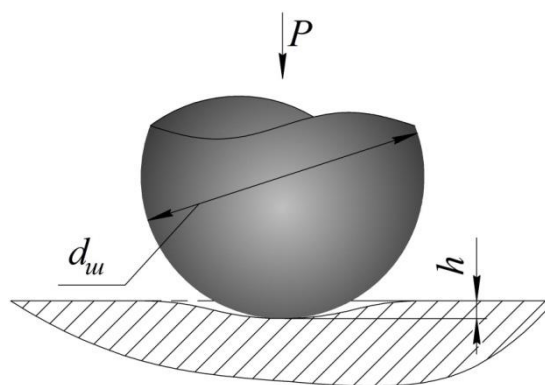


Рис. 45. Контакт шара с плоскостью под действием нормальной силы

В этой формуле приведённый модуль упругости:

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \quad (17)$$

Где E_1 и ν_1 – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала шара;
 E_2 и ν_2 – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала диска.

Глубина проникновения шара:

$$h = \left(\frac{3 \cdot P}{4 \cdot E^* \cdot \left(\frac{d_{ш}}{2} \right)^{1/2}} \right)^{2/3} \quad (18)$$

Тогда площадь контакта:

$$S_{\text{конт}} = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot r_{\text{конт}} \quad (19)$$

где $r_{\text{конт}}$ – радиус зоны контакта шара и плоскости диска:

$$r_{\text{конт}} = \sqrt{\frac{d_{ш}}{2} \cdot h} \quad (20)$$

Расчёты показали, что при контакте твёрдосплавного шара ($E_1=6,32 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ и $\nu_1=0,28$) и плоской поверхности стального диска ($E_2=2,14 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ и $\nu_2=0,29$) контактное давление $p=P/S_{\text{конт}}=495 \text{ МПа}$, а радиус зоны контакта и глубины проникновения – $r_{\text{конт}}=0,040 \text{ мм}$ и $h=0,54 \text{ мкм}$, соответственно.

J. Jung предлагает рассчитывать контактное давление на направляющих элементах ружейных свёрл по формуле:

$$p = \frac{R_f}{\mu \cdot r \cdot \delta \cdot (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)} \quad (21)$$

Где R_f – сила трения, Н; μ – коэффициент трения; r – радиус сверла, мм;
 δ – длина контакта направляющих элементов, мм; θ_1 и θ_2 – углы расположения направляющих элементов, град.

Выполненные по этой формуле расчёты показали, что значение контактного давления имеет расхождение с нашими расчётами в пределах 8...12 %. Таким образом контактные нагрузки при моделировании на трибометре соответствуют нагрузкам, имеющим место при сверлении.

В процессе экспериментов коэффициенты трения μ рассчитывались в автоматическом режиме с помощью программы *TriboX*, встроенной в трибометр (табл. 3.11).

Интенсивность износа покрытий вычисляли по формуле:

$$I = \Delta V_{\text{ш}} / (P \cdot L) \quad (22)$$

Где $\Delta V_{\text{ш}}$ – потеря объёма шара, мкм^3 .

В этой формуле потерю объёма (износ) шара с покрытием рассчитывали по формуле:

$$\Delta V_{\text{ш}} = \pi \cdot d^4 / 64 \cdot R_{\text{ш}} \quad (23)$$

Где d – диаметр пятна износа на шаре, мкм ; $R_{\text{ш}}$ – радиус шара, мкм .

Диаметры пятен износа шаров с покрытиями измеряли на микроскопе мод. *AxioObserverA1.m* (Рис. 46).

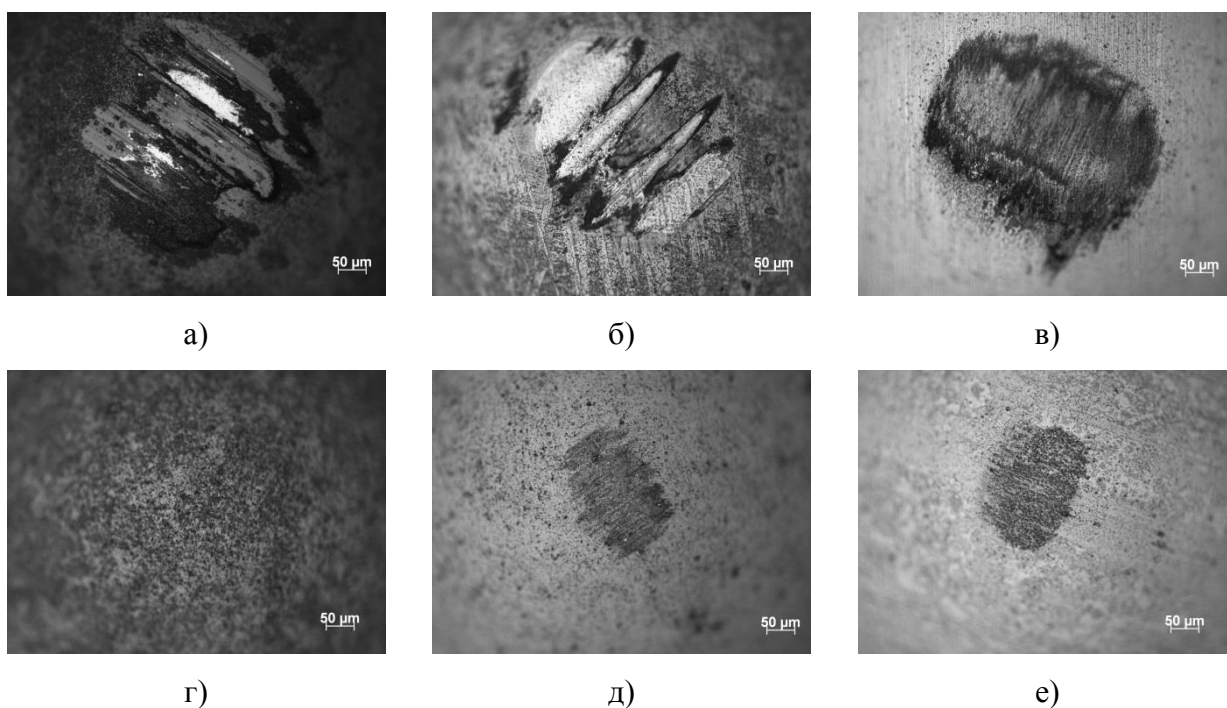


Рис. 46. Микрофотографии пятен износа покрытий на твёрдосплавных шарах:
а) без СОЖ, покрытие Al70Ti30N; б) без СОЖ, покрытие TiCN; в) без СОЖ, покрытие TiN;
г) СОЖ МР-3, покрытие Al70Ti30N; д) СОЖ МР-3, покрытие TiCN;
е) СОЖ МР-3, покрытие TiN

Средние значения интенсивностей износа I и коэффициентов трения μ трибопар «твёрдый сплав+покрытие / сталь», полученные по трём измерениям, приведены в Таб. 15.

Таб. 15. Характеристики трибопар «твёрдый сплав+покрытие / сталь»

Характеристики	СОЖ	Вид покрытия		
		TiCN	TiN	Al ₇₀ Ti ₃₀ N
I , мкм ³ /Н·мм	Без СОЖ	0,411	0,474	0,477
	MP-3	0,049	0,047	<0,010
μ	Без СОЖ	0,45	0,48	0,52
	MP-3	0,09	0,08	0,11

Исследование показало, что при трении без СОЖ происходит когезионное изнашивание покрытий Al₇₀Ti₃₀N и TiCN. При этом покрытие TiCN изнашивается более интенсивно. Покрытие TiN подвержено адгезионному износу, в результате чего, происходит его отслаивание от твёрдого сплава. При трении в среде масляной СОЖ марки MP-3 наибольшей износостойкостью обладает покрытие Al₇₀Ti₃₀N, а наименьшей – покрытия TiCN и TiN.

Проверка адекватности данной методики и влияние вида износостойкого покрытия на точность отверстий была подтверждена в процессе производственных испытаний РСТС.

5. Социальная ответственность

Для исследовательской части магистерской диссертации проводились экспериментальные исследования по трению образцов – дисков из стали АЦ40Х твердосплавными шарами с нанесенными износостойкими покрытиями. Опыты по трению проходили в лаборатории ЦИСМ (Центр измерений свойств материалов) ТПУ.

В ходе исследований производилась отрезка цилиндрического вала диаметром 30 мм из стали АЦ40Х на заготовки для опытов – диски толщиной 5 мм. Отрезка производилась на отрезном станке Brilliant 201 с ручной подачей, водяным охлаждением и закрытой камерой. Затем диски обрабатывали на шлифовально-полировальной машине Saphir 320 с водяным охлаждением – сначала шлифовали черновым кругом, затем чистовым кругом, а затем и полировались. Затем диски устанавливались в шпиндель высокотемпературного трибометра (PC-Operated High Temperature Tribometer ТНТ-S-АХ0000). К диску прижимался палец с установленным твердосплавным шаром с покрытием, затем на диск наливали масляную СОЖ МР-3. После этого, на компьютере задавали режимы опыта и запускали эксперимент и запись данных. Шпиндель с диском вращался, а палец с шаром неподвижно прижат к диску, поэтому происходило трение неподвижного шара об вращающийся диск, в результате образовывалась кольцевая канавка износа. В ходе опыта, диск совершал 4000 оборотов, затем вращение останавливалось, на компьютере сохранялись данные опыта, палец с шаром отжимали от диска, снимали шар и диск, промывали от масла в бензине «Калоша», диск шлифовали и полировали заново и повторяли эксперимент. В ходе экспериментов были исследованы три вида покрытия: TiCN, TiN, AlTiN с СОЖ и без.



Рис. 1. Отрезной станок Brilliant 201



Рис. 2. Шлифовально-полировальная машина Saphir 320



Рис. 3. Высокотемпературный трибометр (PC-Operated High Temperature Tribometer THT-S-AX0000).



Рис. 4. Оператор ПК с трибометром

5.1. Анализ опасных и вредных факторов

При обработке заготовок на любом станке возникает ряд вредных и опасных факторов.

Вредные факторы, возникающие при данном технологическом процессе:

-Недостаточная освещенность рабочей зоны, наличие прямой и отраженной блескости, повышенная пульсация светового потока.

-Абразивная пыль, мелкая стружка и аэрозоли смазочно-охлаждающей жидкости;

-Повышенный уровень вибрации;

-Повышенный уровень шума;

-Повышенный уровень статического электричества;

Опасные факторы, возникающие при данном технологическом процессе:

-Получение травм, при работах на шлифовальном и отрезном оборудовании;

-Поражение электрическим током, при работе оборудования.

-Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы.

Кроме того, в ходе выполнения данного проекта большое количество времени работе велась с использованием ПЭВМ. Для работы с данным оборудованием существует следующая типовая инструкция: ГОИ Р 01-00-01-96 «Типовая инструкция по охране труда для операторов и пользователей персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ) и работников, занятых эксплуатацией ПЭВМ и видеодисплейных терминалов (ВДТ)». Работа оператора ПЭВМ относится к категории работ, связанных с опасными и вредными условиями труда.

Таким образом, в ходе выполнения данного проекта имело место большое количество опасных и вредных факторов

5.2. Производственная санитария

Производственная санитария - это система санитарно-технических гигиенических и организационных мероприятий, препятствующих воздействию на работающих вредных производственных факторов.

Производственная санитария включает оздоровление воздушной среды и нормализация параметров микроклимата в рабочей зоне, защиту рабочих от шума, вибрации, и обеспечение нормативов освещения, а также поддержание в соответствии с санитарными требованиями территории предприятия, основных и вспомогательных помещений (особенно важно в пищевом производстве).

Независимо от состояния природных метеорологических условий данной местности в дисплейных производственных помещениях и на рабочих местах должны быть созданы климатические условия (производственные, микроклимат) наиболее благоприятные для выполнения

заданной работы. Климатические условия определяются сочетанием температуры, влажности и скорости перемещения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей

В результате гигиенических исследований установлено, что шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека. При длительном воздействии шума на организм человека происходят нежелательные явления:

- снижается острота зрения, слуха;
- повышается кровяное давление;
- снижается внимание.

Сильно продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно сосудистой и нервной систем. Измерение шума проводят с целью оценки его на рабочих местах или рабочих зонах для сопоставления с требованиями санитарных норм, а также для оценки шумовых характеристик машин и оборудования, с целью разработки мероприятий по борьбе с шумом. Для оценки шума используют частотный спектр измеренного уровня звукового давления, выраженного в децибелах в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром.

5.2.1. Расчёт достаточной площади и объёма помещения

Помещение, где производится работа, должно соответствовать количеству работающих и размещенному в них комплексу технических средств. Рабочие комнаты должны иметь естественное освещение, в сочетании с искусственным освещением в темное время суток. Рациональное световое оформление помещений направлено на улучшение санитарно-гигиенических условий труда, повышение его производительности.

При планировании помещений необходимо, соблюдать нормы полезной площади и объем помещения для работающих. Размер помещения, где проводятся работы по составлению документации, имеет следующие параметры:

- длина комнаты $A = 4$ м;
- ширина комнаты $B = 4$ м;
- высота комнаты $H = 4$ м.

Площадь комнаты:

$$S = A \cdot B = 4 \cdot 4 = 16 \text{ м}^2$$

Объем комнаты:

$$V = A \cdot B \cdot H = 4 \cdot 4 \cdot 4 = 64 \text{ м}^3$$

Согласно санитарным нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340 площадь помещения из расчета генерирования требований к персональному ЭВМ и организационной работы на одно рабочее место для взрослых пользователей, следует предусматривать величиной не менее $4,5 \text{ м}^2$, объем - не менее 15 м^3 с учетом максимального числа одновременно работающих. Так как в кабинете оборудовано четыре рабочих места, то на одного человека приходится 6 м^2 по площади и 21 м^3 объема потребляемого воздуха. Следовательно, данное помещение имеет необходимый объем воздуха и площадь для работы каждого человека.

5.2.2. Микроклимат в помещении

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Оптимальные микроклиматические

условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Нормы оптимальных и допустимых метеорологических условий устанавливает СанПиН 2.2.2/2.4.1340. Все категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт). Работа инженера-технолога относится к категории 1а - работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением.

Для помещения без избытка выделения тепла для работ категории тяжести 1а оптимальные параметры микроклимата должны соответствовать требованиям Таб. 1.

Таб. 1. Параметры микроклимата

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С ⁰		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич. значение	Допустим.3 значение	Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение
Холодный	1а	(21÷23)	(20÷25)	55	(15÷75)	0,1	0,1
Теплый	1а	(22÷24)	(21÷28)	55	(15÷75)	0,1	0,1

Из Таб. 1 видно, что в анализируемой комнате параметры микроклимата соответствуют нормам.

Микроклимат комнаты поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

5.2.3. Виброакустические факторы

Шум на производстве - это ещё одна проблема, которая наносит большой экономический и социальный ущерб. Шум не благоприятно воздействует на организм человека, технические и физиологические нарушения, снижает работоспособность и создаёт предпосылки для общих профессиональных заболеваний и производственного травматизма. По ГОСТ 12.1.003-83 на участке сборки уровень звука и эквивалентные уровни звука не должны превышать 80 дБ А.

Необходимые условия для снижения шума:

- Всё оборудование, применяемое на участке сборки, для снижения шума установлено на виброопорах;
- На данном участке, при выполнении мероприятий по сокращению проникновения шумов на улицу, световые проёмы целесообразно закладывать стеклоблоками.

Вибрация - является вредным производственным фактором. Вибрация - это механические колебания твёрдых тел, передаваемые организму человека. Они могут быть причиной расстройства сердечно-сосудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Измерение вибрации производится прибором ВШВ-003, снабженным датчиком вибрации. Нормативным документом, рассматривающим уровни шума для различных категорий рабочих мест, служебных помещений является ГОСТ 12.1.003-88. По которому уровень шума должен составлять 38 дБ, в нашем случае уровень шума составил меньше, что соответствует нормам.

5.2.4. Исследование освещенности рабочей зоны

Применение на рабочих местах одного местного освещения не допускается. Общее же равномерное освещение применяется для тех помещений, где работа производится по всей площади, и нет необходимости в лучшем освещении отдельных участков.

Система общего локализованного освещения применяется тогда, когда в производственном помещении есть участки, на которых проводятся работы с высоким зрительным напряжением.

Система комбинированного освещения применяется в помещении, где выполняются точные зрительные работы; в случае необходимости определённого, изменяемого в процессе работы направления света, а так же в помещениях с не высокой плотностью распределения рабочих мест.

Световой поток создаваемый каждой из ламп рассчитывается по формуле

$$F = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot \eta}$$

Где F – световой поток одной лампы, лк;

E – минимальная освещенность, лк, $E = 400$ лк;

S – площадь помещения, m^2 , $S = 16$ m^2 ;

z – поправочный коэффициент, $z = 0,9$;

k – коэффициент запаса, $k = 1,5$;

η – коэффициент использования осветителей, %;

n – число светильников в помещении.

Коэффициент k для помещений, освещаемых люминесцентными лампами, при условии чистки светильников не реже двух раз в год, берется равным от 1,4 до 1,5.

Коэффициент использования может быть определен по известному индексу помещения (i), рассчитанный как:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

Где A – длина помещения, м, $A = 4$ м;

B – ширина помещения, м, $B = 4$ м.

Для соответствующих размеров аудитории со светлым потолком и стенами, оклеенными светлыми обоями, согласно методическим указаниям, примем коэффициенты отражения от стен $\rho_c = 30\%$ и потолка $\rho_n = 70\%$.

Определим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью (h).

$$h = H - h_p - h_c,$$

Где h_p – расстояние от пола до рабочей поверхности стола, м, $h_p = 0.8$ м;

h_c – расстояние от потолка до светильника, м, $h_c = 0,1$ м;

H - высота потолка в помещении, м, $H = 4$ м.

Из расчетов следует, что $h = 3,1$ м, тогда:

$$i = \frac{4 \cdot 4}{3,1 \cdot (4 + 4)} = 0,645$$

По таблице коэффициентов использования светового потока для соответствующих значений i , ρ_c и ρ_n примем $\eta = 46\%$.

Для осуществления проверочного расчета с целью определения того, создает ли существующая система освещенности требуемую освещенность по СНиП 23-05, рассчитаем количество лампочек в помещении.

$$n = \frac{400 \cdot 16 \cdot 0,9 \cdot 1,5}{1380 \cdot 0,46} = 13,611$$

Таким образом, люминесцентные лампочки дневного света в количестве 13 штук, мощностью 30 Вт, потребляемые ток 0,34 А при питании 220 В, достаточны для обеспечения требуемой освещенности в помещении.

5.2.5. Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов. Технический прогресс постоянно увеличивает возможности воздействия на окружающую среду и создает предпосылки для возникновения экологических кризисов. Поэтому в настоящее время вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов имеют первостепенное значение.

Многие предприятия сейчас внедряют новейшие технологии в процесс эксплуатации, отчистки и утилизации отходов производства. Так, внедрение электрооборудования, ПЭВМ, различных средств вычислительной техники значительно упрощают процесс проектирования, эксплуатации, а также утилизации и защиты природы от вредных воздействий человечества. Например, инженер, метролог, контролер и др. теперь используют

электронные пакеты обработки и носители информации, что значительно сокращает применение бумаги, а значит и вырубку тысячи гектаров леса. Но, с другой стороны, все большее внедрение и применение ПЭВМ приводит к увеличению затрат электроэнергии, количества электростанций и их мощностей. Соответственно, рост энергопотребления приводит к таким экологическим нарушениям, как глобальное потепление климата, загрязнение атмосферы и водного бассейна Земли вредными и ядовитыми веществами, опасность аварий в ядерных реакторах, изменение ландшафта Земли. Целесообразным является разработка и внедрение систем с малым потреблением энергии.

Проблему с выбросом перегоревших люминесцентных ламп можно частично решить при выполнении требований утилизации соответствующих ламп.

При написании дипломного проекта на предприятии вредных выбросов в атмосферу, почву и водные источники не производилось, радиационного заражения не произошло, чрезвычайные ситуации не наблюдались, поэтому существенных воздействий на окружающую среду и соответственно вреда природе не оказывалось.

5.2.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Разработаем для нашего помещения систему пожарной сигнализации (СПС). СПС - это комплекс технических средств, предназначенный для

обнаружения признаков возгорания на объекте и подачи сигнала тревоги на пульт охраны, а также управление системами оповещения, автоматического тушения пожара и инженерными системами здания. Принцип проектирования, монтажа и технического обслуживания пожарной сигнализации основан на требованиях соответствующих нормативных документов, отраслевых и ведомственных стандартов. Материалы и оборудование, применяемые для монтажа пожарной сигнализации должны быть сертифицированы (иметь пожарные сертификаты).

Для обнаружения загораний в нашем здании используем извещатели пламени и тепловые пожарные извещатели. Это объясняется тем, что цикл горения веществ разный и протекает при различных скоростях, а также может сопровождаться открытым пламенем уже на начальном этапе возгорания.

Выберем пожарные извещатель пламени ИПП-330-1-1-С. Данный извещатель имеет высокую дальность обнаружения очага пожара и приемлемым временем распознавания пожара.

Таб. 2. Технические характеристики ИПП-330-1-1-С

Дальность обнаружение тестового очага поражения (ТП5), угол обзора	60м, 10°
Напряжение питания	8...28 В
Ток потребления, не более	15 мА
Время обнаружения пожара	2 сек
Габаритные размеры	80×70×60 мм
Масса извещателя	0,35 кг
Исполнение	IP 65
Рабочая температура	-40..+50°С

В качестве теплового извещателя выберем ИП-101-1А-А3. Извещатель соответствует требованиям ГОСТ 22782.5.

В проектируемой системе есть возможность ручного извещения с помощью обслуживающего персонала. Это необходимость возникает в случаях отказа автоматика или первичное обнаружение пожара персоналом. В качестве ручного извещателя выберем ИПР-К (СУ). Извещатели выполнены в ярко красном-корпусе из ударопрочной пластмассы. Приводятся в действие нажатием на приводной элемент - неразрушаемую пластину в глубине корпуса, с надписью, определяющей место и

направление приложения усилия. После срабатывания пластина фиксируется в нажатом состоянии. Контрастная шторка, появившаяся в углублении, указывает, что извещатель переведен в тревожное состояние. Контакты извещателя изменяют состояние шлейфа сигнализации.

Таб. 3. Технические характеристики ИПР-К (СУ)

Диапазон коммутируемых напряжений постоянного или переменного тока, мА	5,0 ... 72,0
Диапазон коммутируемых токов, В	0,1 ... 200,0
Диапазон рабочих температур, °С	-40 ... +55

Так же необходимо иметь 2 огнетушителя марки ОП-5, исходя из размеров помещения, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить помещение. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться. Желательно помещать на стенах инструкции по пожарной безопасности и план эвакуации в случае пожара. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации.

На Рис. 5 представлен план эвакуации из помещения, где проводились опыты.

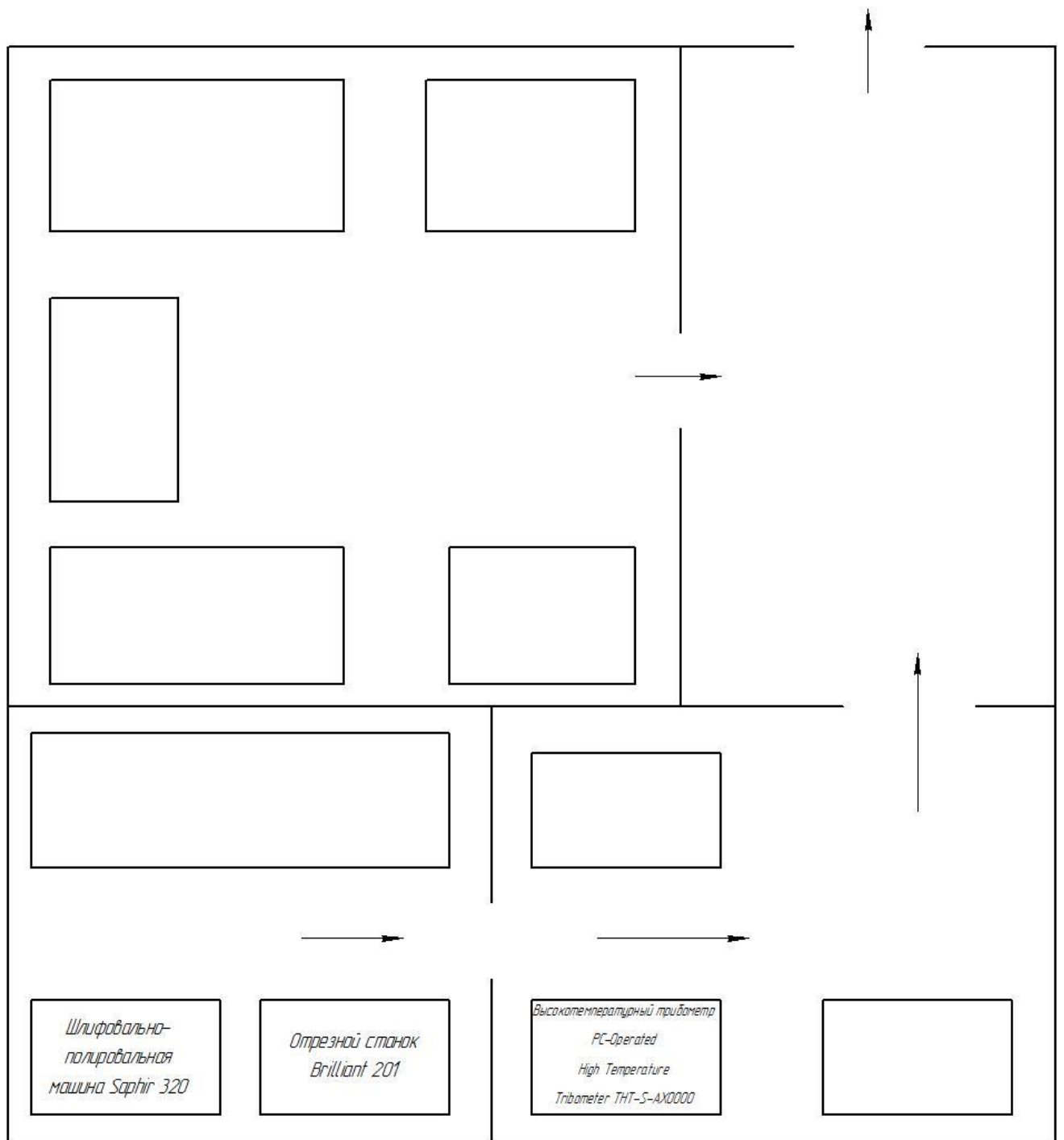


Рис. 5. План эвакуации

В данной работе для сотрудников созданы комфортные условия труда, такие как рабочее место, объем помещения и его состояние, в том числе освещенность обеспечивающая оптимальную динамику работоспособности, улучшение санитарно-гигиенических условий труда и сохранение здоровья. Рассмотрены вопросы связанные с пожарной безопасностью, шум, вибрация и план эвакуаций.

5.3. Список использованной литературы

1. Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 - 2016 г.
2. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 17 декабря 2010 г. N 1122н "Об утверждении типовых норм бесплатной выдачи работникам смывающих и (или) обезвреживающих средств и стандарта безопасности труда "Обеспечение работников смывающими и (или) обезвреживающими средствами".
3. Извещатель пожарный пламени. Режим доступа: <http://www.idsas.ru/page.php?al=alias1344>. свободный.
4. Извещатели пожарные тепловые. Режим доступа: <http://arsenal01.ru/show/showgood.php?idg=87> свободный.
5. Извещатель пожарный ручной ИПР-К (СК). Режим доступа: <http://www.komplekt01.ru/node/863> свободный.

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Машиностроение является одной из движущих отраслей индустрии. Эффективный рост промышленности, а также в свою очередь темпы внедрения инновационных технологий в превосходящей степени зависят от уровня развития отрасли машиностроения. Технический прогресс в отрасли машиностроения характеризуется не только улучшением конструкций машин, но и циклическим улучшением технологии их производства. Очень важно качественно, дешево и в заданные плановые сроки с минимальными затратами живого и овеществленного труда изготовить машину, применив высокопроизводительное оборудование, технологическую оснастку, средства механизации и автоматизации производственного процесса. От выбранной технологии производства во многом зависит качество работы выпускаемых машин, а также более низкие экономические затраты на их эксплуатацию.

Оправданное применение прогрессивного оборудования и инструмента способно привести к значительному снижению себестоимости продукции и трудоёмкости её производства. К таким же результатам может привести и использование совершенных методов обработки деталей.

Также машиностроение относится к энергоемким производствам и является крупнейшим потребителем электроэнергии, газа, мазута и других энергоносителей. Трудовые ресурсы машиностроительных предприятий должны отличаться высоким уровнем профессиональной подготовки от рабочего до управляющего, что обусловлено применением сложной техники, созданием сложнейшей конкурентоспособной продукции и технологических процессов ее изготовления, а также в связи с постоянной необходимостью координации и регулирования хода производства, обусловленных его прерывностью. Указанные особенности машиностроительного производства требуют от каждого работника (мастера, инженера, руководителя) знаний экономических законов, реализуемых на машиностроительном предприятии, умений использования их для достижения главных целей предприятия.

Коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

6.1. Предпроектный анализ

6.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Разрабатываемые технологии изготовления твердосплавных заготовок ружейных сверл малого диаметра, а также нанесения, контроля и метода выбора износостойких покрытий на конкретного потребителя – инструментальное производство.

6.1.2. SWOT-анализ

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта. Первый этап проведения SWOT-анализа представлен в таблице 6.1.

Таблица 6.1. Матрица SWOT

Strengths (сильные стороны) С1. Единственный способ получения точных глубоких отверстий малого диаметра	Weaknesses (слабые стороны) Сл1. Низкие прочность и жесткость инструмента Сл2. Необходимость подачи СОЖ под высоким давлением Сл3. Необходимость тонкой очистки СОЖ Сл4. Сложность изготовления сверл
Opportunities (возможности) В1.Импортозамещение и независимость от зарубежных производителей В2.Возможность внедрения результатов проведенного исследования на производство В3. Подъем топливной, химической, гидравлической промышленности	Threats (угрозы) У1. Ограниченное число заказчиков У2. Экономический кризис в стране

После того как сформированы четыре области, переходим ко второму этапу, на котором необходимо выявить соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в рамках данного этапа строится интерактивная матрица, при этом каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблице 6.1.1, 6.1.2, 6.1.3 и 6.1.4.

Таблица 6.1.1. Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта		
Возможности проекта		C1
	B1	+
	B2	-
	B3	+

Таблица 6.1.2. Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	-	+
	B2	-	-	-	-
	B3	-	-	-	+

Таблица 6.1.3. Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта		
Угрозы		C1
	У1	+
	У2	+

Таблица 6.1.4. Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта					
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	-	-	+
	У2	-	-	-	-

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 6.1.5.

Таблица 6.1.5. Итоговая матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Единственный способ получения точных глубоких отверстий малого диаметра	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Низкие прочность и жесткость инструмента Сл2. Необходимость подачи СОЖ под высоким давлением Сл3. Необходимость тонкой очистки СОЖ Сл4. Сложность изготовления сверл
Возможности: В1.Импортозамещение и независимость от зарубежных производителей В2.Возможность внедрения результатов проведенного исследования на производство В3. Подъем топливной, химической, гидравлической промышленности	В1С1 В3С1	В1Сл4 В3Сл4
Угрозы: У1. Ограниченное число заказчиков У2. Экономический кризис в стране	У1С1 У2С1	У2Сл4

6.2. Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

6.2.1. Цели и результат проекта

В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 6.2. Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Магистрант	Магистерская диссертация
Руководитель проекта	Получение результатов исследований прочности и износостойкости ружейных сверл малого диаметра

В табл. 6.3 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 6.3. Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Исследование силовых зависимостей при алмазном выглаживании
Ожидаемые результаты проекта:	<ul style="list-style-type: none"> • исследовать существующие конструкции ружейных сверл малых диаметров; • исследовать пути повышения прочности и износостойкости ружейных сверл малых диаметров; • разработать рекомендации по выбору покрытий и их нанесению; • разработать технологию изготовления твердосплавных стеблей и порошков.
Критерии приемки результата проекта:	Полученные данные и рекомендации полностью обоснованы
Требования к результату проекта:	Требование:
	Получение результатов исследований
	Способ стойкостных испытаний покрытий
	Оформленный графический материал
	Оформленная магистерская диссертация

6.2.2. Организационная структура проекта

На данном этапе работы решены следующие вопросы: кто входит в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в

данном проекте, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эта информация представлена в таблице 6.4.

Таблица 6.4. Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Ратчин Ю.О., магистрант каф. ТАМП	Исполнитель	1. Проведение испытаний. 2. Анализ результатов 3. Составление отчета.	1500
2	Кирсанов С.В., НИ ТПУ, профессор	Руководитель, эксперт	1. Консультация по теоретической части проекта. 2. Помощь в проведении анализа и оформлении отчета.	130
ИТОГО:				1630

6.2.3. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта.

Таблица 6.5. Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	200000 руб.
3.1.1. Источник финансирования	ООО "Промдизель" (г. Барнаул)
3.2. Сроки проекта:	12.10.2015-10.06.2016
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	13.11.2015
3.3. Прочие ограничения и допущения*	-

6.2. План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представляется в виде табл. 6.6.

Таблица 6.6. Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Постановка целей и задач	3	12.10.15	15.10.15	Кирсанов С.В.
2	Изучение литературы	19	19.10.15	7.11.15	Кирсанов С.В. Рагчин Ю.О.
3	Разработка календарного плана	4	9.11.15	13.11.15	Кирсанов С.В. Рагчин Ю.О.
4	Обсуждение литературы	26	16.11.15	12.12.15	Кирсанов С.В. Рагчин Ю.О.
5	Выбор методики проведения эксперимента	12	14.12.15	26.12.15	Рагчин Ю.О.
6	Подготовка образцов к эксперименту	12	11.01.16	23.01.16	Рагчин Ю.О.
7	Проведение экспериментов	54	1.02.16	26.03.16	Кирсанов С.В. Рагчин Ю.О.
8	Анализ результатов исследования	5	28.03.16	2.04.16	Кирсанов С.В. Рагчин Ю.О.
9	Оформление пояснительной записки	40	4.04.16	14.05.16	Рагчин Ю.О.

10	Оформление графического материала	5	16.05.16	21.05.16	Ратчин Ю.О.
11	Подведение итогов	18	23.05.16	10.06.16	Кирсанов С.В. Ратчин Ю.О.
Итого:		193			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы

Таблица 6.7. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы	Вид работы	Исполнитель	Т _к , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ												
				окт.	нояб.	дек.	январ.	фев.	март	апр.	май	июнь				
1	Постановка целей и задач	Кирсанов С.В.	3													
2	Изучение литературы	Кирсанов С.В. Ратчин Ю.О.	19													
3	Разработка календарного плана	Кирсанов С.В. Ратчин Ю.О.	4													
4	Обсуждение литературы	Кирсанов С.В. Ратчин Ю.О.	26													
5	Выбор методики проведения эксперимента	Ратчин Ю.О.	12													
6	Подготовка образцов к эксперименту	Ратчин Ю.О.	12													
7	Проведение экспериментов	Кирсанов С.В. Ратчин Ю.О.	54													
8	Анализ результатов исследования	Кирсанов С.В. Ратчин Ю.О.	5													
9	Оформление пояснительной записки	Ратчин Ю.О.	40													
10	Оформление графического материала	Ратчин Ю.О.	5													
11	Подведение итогов	Кирсанов С.В. Ратчин Ю.О.	18													



по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде табл. 6.7 с разбивкой по месяцам и декадам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Сетевой график – графическое отображение комплекса работ по теме с установленными между ними взаимосвязями.

6.3. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

1) Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Таблица 6.8. Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование, марка	Размер	Кол-во, шт. (кг)	Цена за единицу (кг), руб.	Сумма, руб.
Полированный шар из однокарбидного твердого сплава	d=6 мм	1	5000	5000
Пруток АЦ40Х	d=30 мм, l=50 мм	1	44000 (1 м)	2200
Всего за материалы				7200

Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)	216
Итого по статье C_m	7416

2) Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

Где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя и инженера (магистранта) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

Где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

Где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. $F_d = 1790$ раб.дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

Где Z_b – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 6.9.

Таблица 6.9. Расчет основной заработной платы

Исполнители	Зб, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	Зм, руб	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	33162,87	1,2	1,1	1,3	99156,98	576,11	62	35718,82
Инженер	14584,32	1,2	1,1	1,3	43607,12	253,36	193	48898,48

3) Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

Где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Таблица 6.10. Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	35718,82	48898,48
Дополнительная зарплата	3571,88	4889,85
Итого по статье $C_{зп}$	93079,03	

4) Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot 93079,03 = 27923,71 \text{ руб.}$$

6.4. Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,7 \cdot 93079,03 = 65155,32 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости проведения исследований. Все данные сведены в таб 6.11.

Таблица 6.11. Группировка затрат по статьям

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	7416
Основная заработная плата	84617,3
Дополнительная заработная плата	8461,73
Отчисления на социальные нужды	27923,71
Накладные расходы	65155,32
Итоговая плановая себестоимость	193574,06

6.5. Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (табл. 6.12).

Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом:

Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Таблица 6.12. Матрица ответственности

Этапы проекта	Инженер (магистрант)	Руководитель проекта
1. Постановка целей и задач	И	О
2. Изучение литературы	И	О
3. Разработка календарного плана	И	О
4. Обсуждение литературы	И	О
5. Выбор методики проведения эксперимента	И	У

6. Подготовка образцов к эксперименту	И	У
7. Проведение экспериментов	И	О
8. Анализ результатов исследования	И	О
9. Оформление пояснительной записки	И	У
10. Оформление графического материала	И	У
11. Подведение итогов	И	О

6.6. Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 6.13. Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Поставки материала	Срыв поставки материала	3	3	Средний	Смена поставщиков	Истечение срока договора
2	Экономический	Снижение финансирования	4	4	Средний	Комплекующие изделия по низкой цене	Экономический кризис
3	Технический	Изменение технологии обработки	4	4	Средний	Применение универсальных приспособлений	Изменение конструкции оправки

6.7. Оценка экономической эффективности проекта

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта. Так как последние являются единовременными, то мы имеем дело с частным случаем задачи оценки экономической эффективности инвестиций, т.е. вложением денежных средств в предприятие, организацию, отраслевую, региональную социально-экономическую систему и т.п. (т.н.

объекты инвестиций) с целью получения определенного результата в будущем. Отличительными особенностями инвестиций, особенно когда речь идет о вложениях в нематериальные активы в форме НИР являются:

- результат может быть получен в течение ряда последующих лет в общем случае – на протяжении жизненного цикла создаваемой системы;
- результаты инвестиций содержат элементы риска и неопределенности;
- связывание на некоторое время финансовых средств инвестора.

Однако в данной работе провести оценку экономической эффективности проекта не представляется возможным.

6.8. Оценка научно-технического уровня НИР

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i,$$

где R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 6.14. Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэф-та n_i
1. Уровень новизны	0,4
2. Теоретический уровень	0,1
3. Возможность реализации	0,5

Таблица 6.15. Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 6.16. Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1 Установка закона, разработка новой теории	10
2 Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3 Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4 Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5 Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 6.17. Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Таблица 6.18. Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

Таблица 6.19. Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,4	Относительно новая	4	Обобщение и систематизация данных о различных видах конструкций ружейных сверл малых диаметров; составление рекомендаций по производству заготовок; выбору, нанесению и проверке износостойких покрытий
Теоретический уровень	0,1	Элементарный анализ связей между фактами	2	Описание влияния геометрии ружейных сверл малых диаметров на их износ и качество обработанной поверхности
Возможность реализации	0,5	В течение первых лет	10	Полученные данные и рекомендации позволят производить ружейные сверла малых диаметров с твердосплавным стеблем; обоснованно выбирать износостойкие покрытия и контролировать их.

Из сводной таблицы 6.19 можно сделать вывод, что исследование имеет широкое практическое применение.

В производстве изделий машиностроения (автомобили, гидравлика, медицина) есть потребность получать глубокие ($l \geq 10d$) отверстия малого диаметра ($d \leq 12$ мм) с высокой точностью. На данный момент обработка производится ружейными сверлами. У ружейных сверл есть недостатки: низкие прочность и жесткость. В исследовательской работе описаны способы повышения прочности и жесткости ружейных сверл. Также существует другая проблема. Ружейные сверла производятся только зарубежными фирмами: Botek, Gühring, Tiefbohrtechnik, Hartner, Stock, Sandvik Coromant, Iscar, Eldorado Gun Drills, Sterling Gun Drill, Hammond и др. Заготовки для них (твердосплавные стержни) выпускают лишь несколько фирм: Gühring, TaeguTec, Voehlerit. Основная проблема производства ружейных сверл в России – отсутствие технологии изготовления твердосплавных стержней (технологии являются производственной тайной). Рекомендации, приведенные в работе, позволят освоить выпуск ружейных сверл в России.

Исходя из оценки признаков НИОКР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$K_{\text{нту}} = 0,4*4 + 0,1*2 + 0,5*10 = 1,6 + 0,2 + 5 = 6,8$$

Таким образом данное исследование имеет средний уровень научно-технического эффекта.

Article review

In [6] author examines the influence of the geometry of gun drill at its wear and surface quality. Author also gives recommendations for improving the design of gun drills.

Author compares four types of rifle drills (Рис. 6):

- drill A – standart cross-sectional profile G;
- drill B – cross-sectional profile C with two guides;
- drill C- profile G with greater conicity than the drill A;
- drill D – profile G with other grind angles and coating.





Tool	A	B	C	D
Peripheral contour:	G 	C 	G 	G 
Conicity:	1 guiding pad 1/800	2 guiding pads 1/800	1 guiding pad 1/400	1 guiding pad 1/800
Tip geometry:	$\chi_1 = 50^\circ, \chi_2 = 120^\circ$	$\chi_1 = 50^\circ, \chi_2 = 120^\circ$	$\chi_1 = 50^\circ, \chi_2 = 120^\circ$	$\chi_1 = 60^\circ, \chi_2 = 110^\circ$ protective chamfer $s = 330 \mu\text{m}$
Cutting material:	K15	K15	K15	K25
Coating:	-	-	-	AlTiN

Fig. 47. Characteristics of the test gun drills

Tests were carried out on the deep hole drilling machine TBTML-200. Cutting parameters: $v = 100 \text{ m/min}$; $s = 0,007 \text{ mm/rev}$ (for drills A, B, C); $s = 0,015 \text{ mm/rev}$ (for the drill D). Dimensions of machined holes: $d = 1,5 \text{ mm}$; $l = 45 \text{ mm}$. Total drilling depth was 4,995 mm. Processed material - corrosion-resistant steel grade AISI 316L (russian analogue 03X16H15M3).

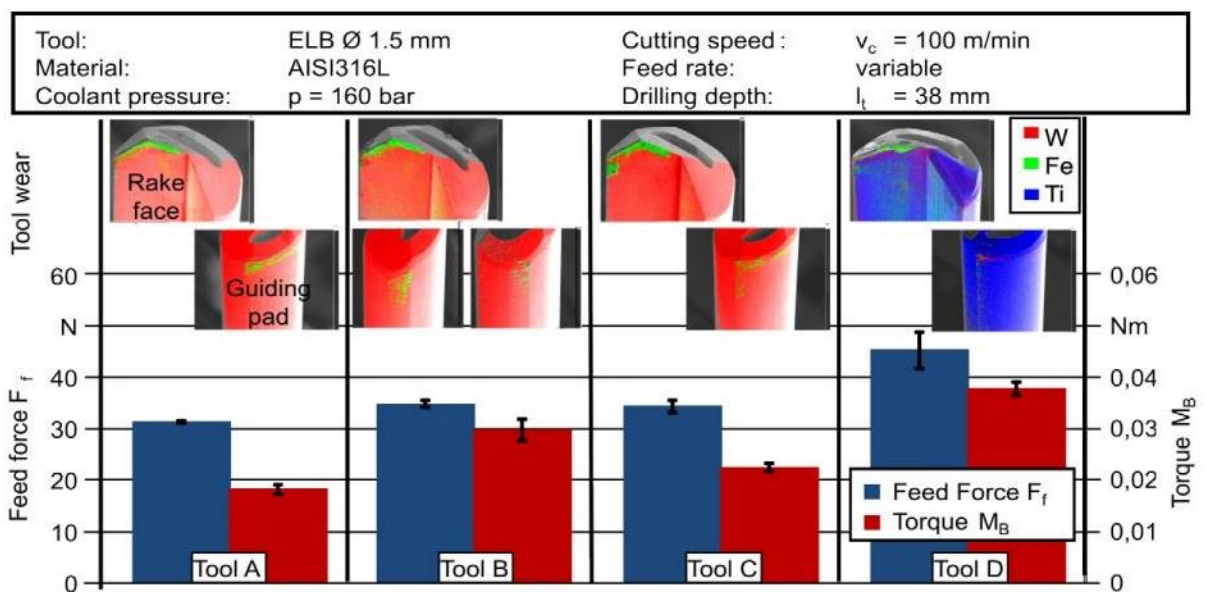
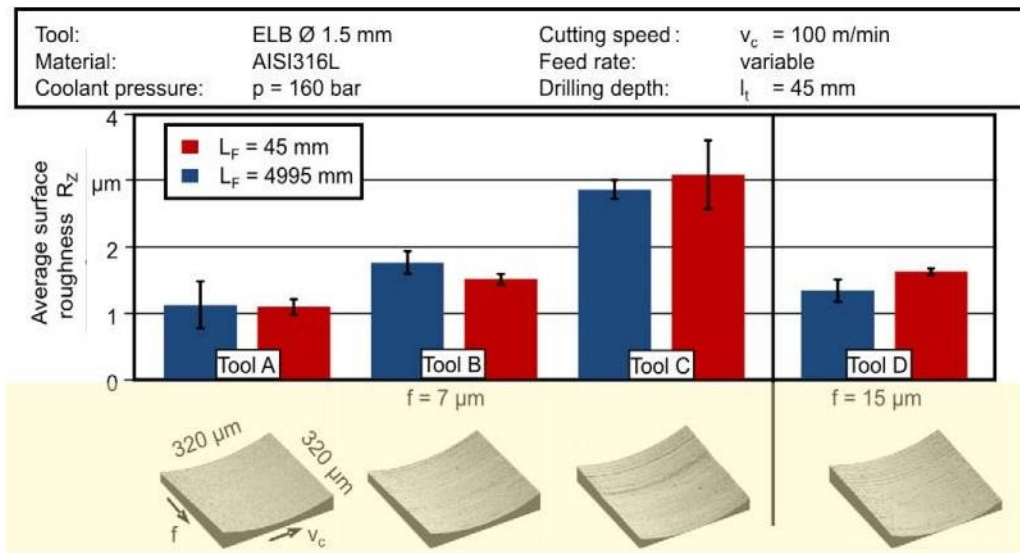


Fig. 7. The results of the study

It was found that the lowest surface roughness was achieved by drill A (Рис. 7). The coating AlTiN and angles of grinding $\varphi = 60^\circ$; $\varphi_1 = 110$ allowed to increase the feed drill twice and roughness less than 0,5 micron in compare with a drill A.

This study shows that application of coating causes a reduction in hole surface roughness and increases the wear resistance of the tool.

In [11] author examines the influence of geometry and coating of gun drill on the chip formation and evacuation and tool wear.

The study compares solid carbide gun drill with and without TiAlN coating. Tests were carried out on the deep hole drilling machine BW200-3-800 (Germany) which had power for 3.1 kW and maximum speed for 20000 rpm (Рис. 7).

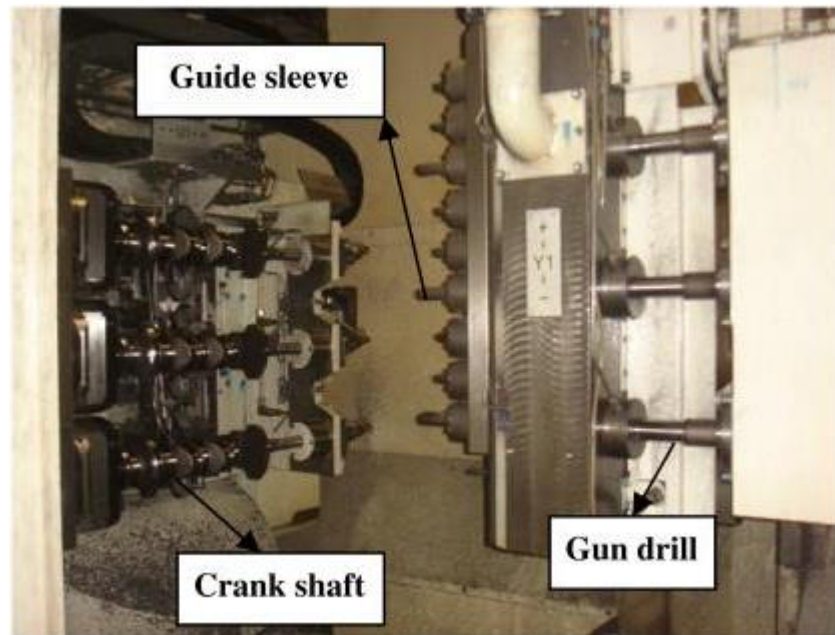
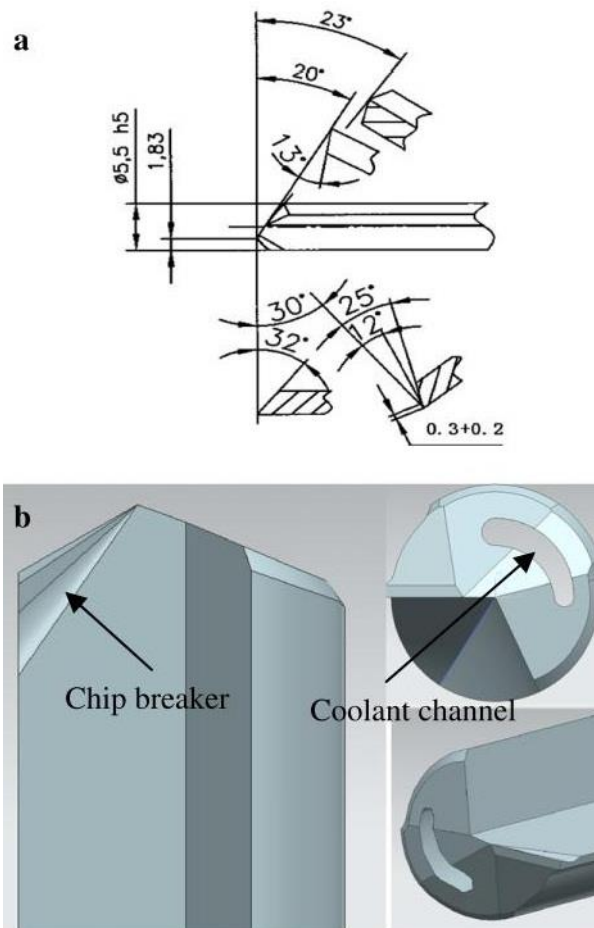


Fig. 8. A general view of deep hole drilling machine BW200-3-800

While drilling there was a coolant feed under pressure for 19 bar and minimum quantity lubricant at 11–15 m³/h. Cutting parameters: $V = 76 \text{ m/min}$ ($n = 4400 \text{ rpm}$);. Cutting tool – solid carbide gun drill with and without TiAlN coating (Рис. 9).



**Fig. 9. The geometry of the working part of the gun drill:
a-geometric characteristics; b-elements (chipbreaking groove for a coolant supply channel)**

As a workpiece was used forged crankshaft made of steel S48CS1V (microalloyed forging steel) with hardness for HB229...285 (Рис. 10). Shaft was fixed in the machine by a hydraulic clamp.

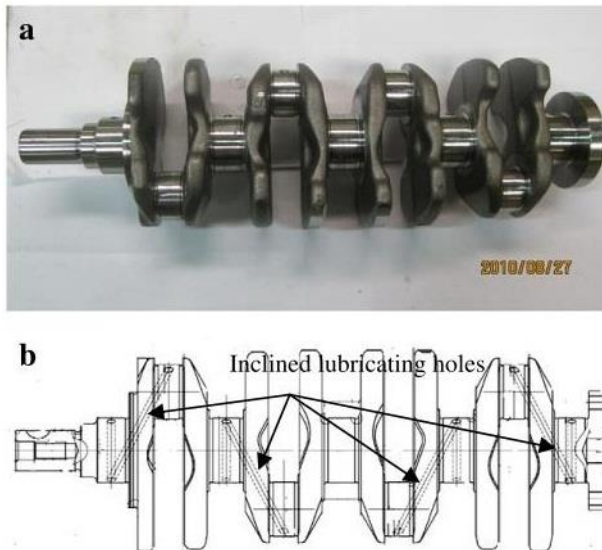


Fig. 10. The workpiece: a - picture, b-lubrication holes

The holes were drilled on length of 83.74 mm.

The was controlled. If the amount of torque exceeds for 15% of starter, the machine stops and alarms. During the experiment the data about the torque and number of drilled shafts was obtained. The relation between the amount of torque and number of shafts drilled (Рис. 11).

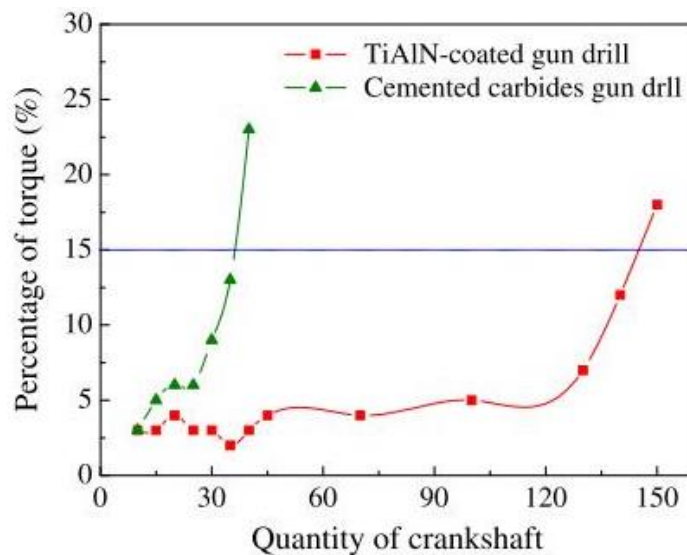
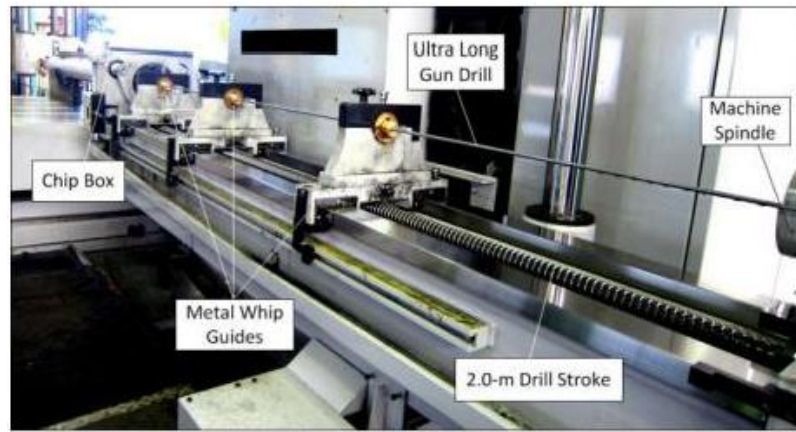


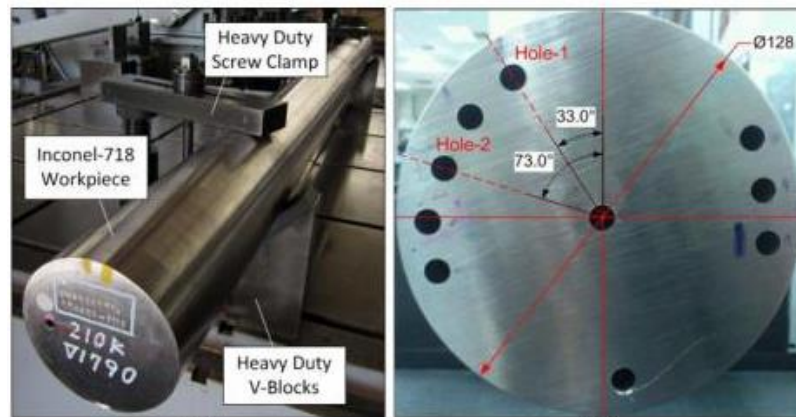
Fig. 11. The effect of the increasing number of drilled shafts on the torque increase

The graph shows that there was 40 shafts drilled by uncoated gun drill and 150 shafts by coated drill before extreme wear. This is explained by the fact that the TiAlN coating provides a low friction, high resistance to oxidation at elevated temperatures (900°C), high thermal conductivity. Furthermore, the presence of aluminum in the coating provides a chemical reaction resulting in the formed Al_2O_3 , which causes high wear resistance and low coefficient of friction due to the facilitated movement chip on the front surface of tool. The study shows that TiAlN coating on the working part of the gun drill causes a significant increase in resistance and facilitates chip evacuation.

In [12] a 2 m cylindrical workpiece of steel Inconel-718 (russian analogue XH60Ю) was drilled. Drilling was performed by TiAlN-coated gun drills in three different lengths ranging from 1000 to 2000 mm. Cutting parameters: $n = 600 \dots 800 \text{ rpm}$; feed $s = 5 \dots 8 \text{ mm/min}$. While drilling there was a coolant feed under pressure for 7 bar and a temperature of 25°C (Рис. 8).



(a)



(b)

(c)

Fig. 48. Drilling deep holes by gun drills:

a) - a general view of deep hole drilling machine; b), c) -workpiece

Drilling was done by cycles, 50 mm each. After each cycle wear of tool was controlled, and after extreme wear gun drill was grinded (Рис. 9).

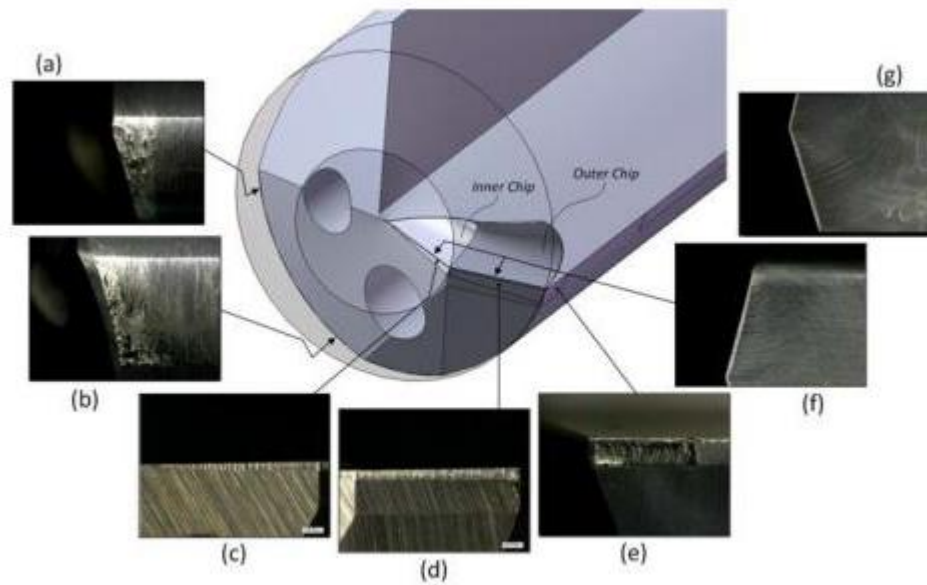
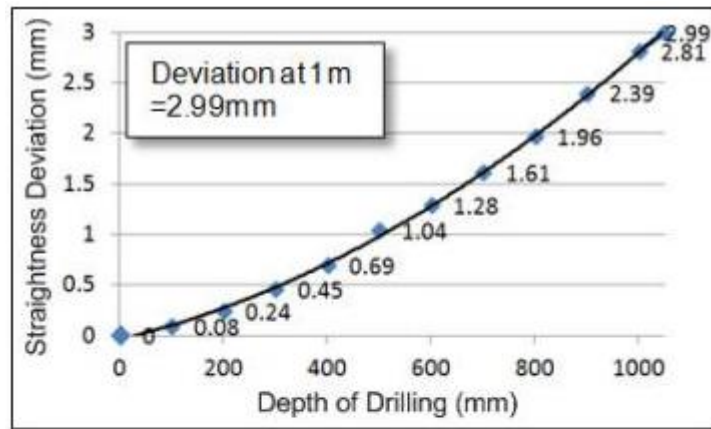
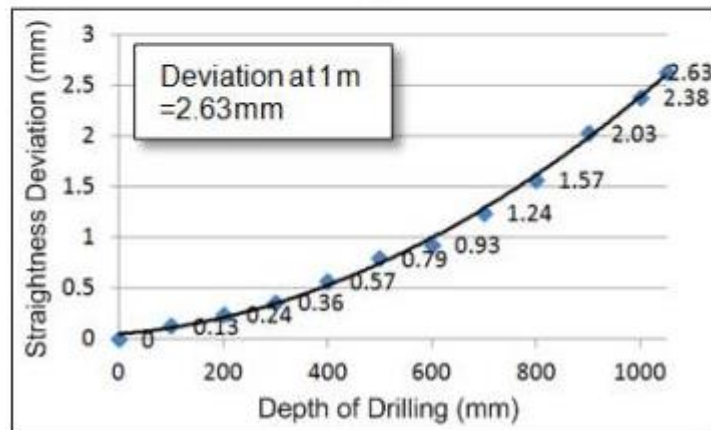


Fig. 49. Drill wear during tests:
a, b-guide wear; c and d-cutting edge wear; e-lateral wear; f and g-front surface wear

After each cycle of drilling withdrawal hole axis was controlled by ultrasonic method (EN 15317 standard). It was found that the TiAlN reduces withdrawal of hole axis (from 2.99 mm to 2.63 mm) due to reduced tool wear (Рис. 10).



(a)



(b)

Fig. 50. Withdrawal of hole axis

The article review showed:

- Solid carbide gun drill compared to gun drill with steel body and carbide work part (K-type) provides greater strength and rigidity of the instrument, and improved performance of drilling process.
- For manufacturing solid carbide gun drill it is necessary to develop a technology for production of carbide body blanks of these tools.
- Applying wear-resistant coatings on the work part of the gun drill causes an increase of tool life, accuracy and reducing roughness of holes surfaces.

Список использованной литературы

1. Обработка глубоких отверстий. Н.Ф. Уткин, Ю.И. Кижняев, С.К. Плужников и др.; Под общ. Ред. Н.Ф. Уткина – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988 269 с.
2. Сверление глубоких отверстий в кальцийсодержащей стали ружейными сверлами малых диаметров. С.В. Кирсанов, А.С. Бабаев.
3. Покрyтия для режyщего инструмента. Состояние вопроса и перспективы. Титов В.
4. Сравнительные испытания ружейных сверл диаметром 2,22 мм. Бабаев А.С.
5. Investigation of Properties of Composite Tribological Coatings Mo-S-Ti-C Formed by Magnetron, Vacuum-Arc and Combine Evaporation Methods. V.M. Savostikov, A.I. Potekaev, A.N. Tabachenko, I.A. Shulepov, A.A. Didenko.
6. Analysis of the Influence of Tool Geometry on Surface Integrity in Single-lip Deep Hole Drilling with Small Diameters. D. Biermann, M. Heilmann, M. Kirschner.
7. Инновационные функциональные покрытия для режyщего инструмента. Верещака А.А., Верещака А.С., Зинченко Г.В., Козлов А.А., Устинов А.А. ИКТИ РАН, МГТУ «СТАНКИН», МГТУ «МАМИ».
8. Износостойкие покрытия режyщего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания. В.П. Табаков, А.В. Чихранов – Ульяновск: УлГТУ, 2007 – 255 с.
9. The wear of single flute gun drill and tool life tests. I. Sihvo, J. Varis

10. Глубокое сверление. Троицкий Н.Д. «Машиностроение», 1971, 176 с.
11. The study on the chip formation and wear behavior for drilling forged steel S48CS1V with TiAlN-coated gun drill. Yongguo Wang, Xiangping Yan, Bin Li, Guocai Tu.
12. The Effects of Tool Degradation on Hole Straightness in Deep Hole Gundrilling of Inconel-718. K.S. Woon, A. Chaudhari, A. Senthil Kumar, M. Rahman
13. Deep hole drilling using tools with small diameters – Process analysis and process design. Andreas Zabel, Markus Heilmann.
14. Разработка автоматизированной системы регулирования молекулярного состава циркулирующей масляной смазочно-охлаждающей жидкости с целью повышения экологичности и безопасности процесса глубокого сверления. Аунг Кхаинг Пью
15. Инструментальное обеспечение сверления глубоких и точных отверстий малых диаметров. Кирсанов С.В., Гречишников В.А., Бабаев А.С. «Инновационное машиностроение», 2016.
16. Режущий инструмент: Учебник для вузов. Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Кокарев В.И., Схиртладзе А.Г. «Машиностроение» 2005
17. Сверла ружейные перетачиваемые тип 110 113 – Каталог фирмы «Botek»