МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (национальный исследовательский университет)»

Политехнический институт

Факультет «Материаловедения и металлургических технологий»

Кафедра «Материаловедение и физико-химия материалов»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент
_____
_____2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____Г.Г. Михайлов
_____ 2019 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–22.04.02.2019.156.ПЗ ВКР

Руководитель работы,
к.т.н., доцент
_____Н.Т. Карева,
_____2019 г.

Автор работы
студент группы П – 243
_____Ю.Д. Савина,
_____2019 г.

Нормоконтролер,
к.т.н., доцент
_____ Н.Т. Карева,
_____2019 г.

Челябинск 2019

АННОТАЦИЯ

Савина Ю.Д. Исследование, состава, структуры и свойств породоразрушающего инструмента. – Челябинск: ЮУрГУ, П-243, 58 с., 20ил., библиогр. список – 22 наим.

В данной работе рассмотрены условия работы породоразрущающего инструмента в горнодобывающей промышленности. Был проведен анализ различных материалов для изготовления породоразрушающего инструмената. Рассмотрена принципиальная схема работы комбайна в реальных условиях. Проведено исследование резцов исполнительного органа проходческого комбайна. Рассмотрены основные причины разрушения резцов.

Цель работы – исследование состава, структуры и свойств резцов для проходческих комбайнов с вставками из твердого сплава ВК8.

Оценка разрушения резцов:

- Проанализированы условия работы резцов проходческого комбайна;
- Причины разрушения державки резца;
- Проведено микроструктурное исследование с целью определения структуры сплава ВК8 и сравнение с требованиями ГОСТа.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ **7**

1 Породоразрушающий инструмент **8**

1.1 Описание породоразрушающего инструмента 8

1.2 Вспомогательный породоразрушающий инструмент 11

1.3 Материалы для изготовления породоразрушающего инструмента 12

1.3.1 Инструментальные стали 12

1.3.2 Быстрорежущие стали 14

1.4 Применение породоразрушающего инструмента в проходческих комбайнах 24

1.4.1 Добыча калийных солей 24

1.4.2 Проходческий комбайн 26

1.4.3 Проходческий комбайн бурового действия 29

1.4.4 Режущая коронка горного комбайна 30

1.5 Резцы для проходческих комбайнов 31

1.5.1 Изготовление резцов 31

1.5.2 Технология производства тангенциальных поворотных резцов 33

1.5.3 Анализ временных показателей основных операций производства резцов 38

2 Методика и исследование **45**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ **56**

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК **56**

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на подземных горных работах наиболее прогрессивными техническими средствами проведения выработок являются проходческие комбайны, а добычи полезного ископаемого – очистные комбайны, разрушающие массив резцовыми исполнительными органами. Чем большее количество энергии подводится к резцам, тем выше интенсивность процесса отделения пород от массива, следовательно, производительность комбайнов и эффективность их использования. В таких условиях основным ограничивающим фактором интенсивности процессов проведения выработок и добычи полезного ископаемого является стойкость резцов, определяющаяся высокими динамическими и тепловыми нагрузками, трением и др.

Проходческие комбайны предназначены для механизированного проведения подготовительных выработок угольных шахт, рудников, а также тоннелей при строительстве подземных сооружений. Использование комбайнов позволяет совместить во времени основные, наиболее тяжелые и трудоемкие операции (разрушение забоя и последующую уборку горной массы), что дает возможность повысить в 2…2,5 раза темпы проведения выработок и производительность труда, снизить стоимость проходческих работ и значительно облегчить и обезопасить труд проходчиков. Вместе с тем при комбайновом способе проведения существенно повышается устойчивость горных выработок, так как связанность пород в массиве нарушается в меньшей степени, чем при буровзрывных работах, что снижает расходы на поддержание выработок.

Сплав ВК-8 за счет высокой прочности и ударной вязкости применяют для изготовления твердосплавных штампов, работающих в условиях больших ударных нагрузок. Стойкость твердосплавных штампов по сравнению со стальными возрастает в 30–50 раз, чем обеспечивается большой экономический эффект.

1 ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

1.1 Описание породоразрушающего инструмента

Породоразрушающий инструмент — это буровой инструмент, предназначен для разрушения грунта при бурении скважины и формирования ствола скважины путем разрушения горной породы.

Эффективность применения породоразрущающего инструмента обусловлена свойствами конкретной породы, способу бурения и поставленным задачам. Для выбора инструмента необходимо определить какие грунты предстоит преодолевать в ходе бурения скважины и оптимальный метод бурения.

Все породоразрушающие инструменты по общему назначению делятся на три группы:

1) для бурения сплошным забоем – долота;

2) для бурения кольцевым забоем с отбором керна (образцов горной породы, проходимой скважиной) – бурильные головки;

3) инструменты специального назначения.

Каждая группа породоразрушающих инструментов по принципу воздействия на забой делится на четыре подгруппы:

1) режуще-скалывающего действия (РС) – вооружение выполняется в виде лопастей с режущей кромкой, которая во время бурения находится в постоянном контакте с разрушаемой горной породой;

2) истирающе-режущего действия (ИР) – вооружение в виде резцов или элементов других форм размещено, как правило, в несколько рядов на лопастях, секторах или шарошках и во время бурения находится в постоянном или длительном периодическом контакте с забоем;

3) дробяще-скалывающего действия (шарошечные) – вооружение в виде фрезерованных зубьев или вставных зубков размещено на шарошках и во время бурения каждый элемент имеет кратковременный периодический контакт с забоем;

4) дробящего действия, которые предназначены для ударного бурения.

Деление породоразрушающих инструментов на подгруппы весьма условно, так как вид разрушения горных пород зависит не только от конструкции вооружения, но и от твердости горных пород [2].

Схемы взаимодействия с горной породой породоразрушающих элементов вооружения бурового инструмента приведены на рисунке 1.1.

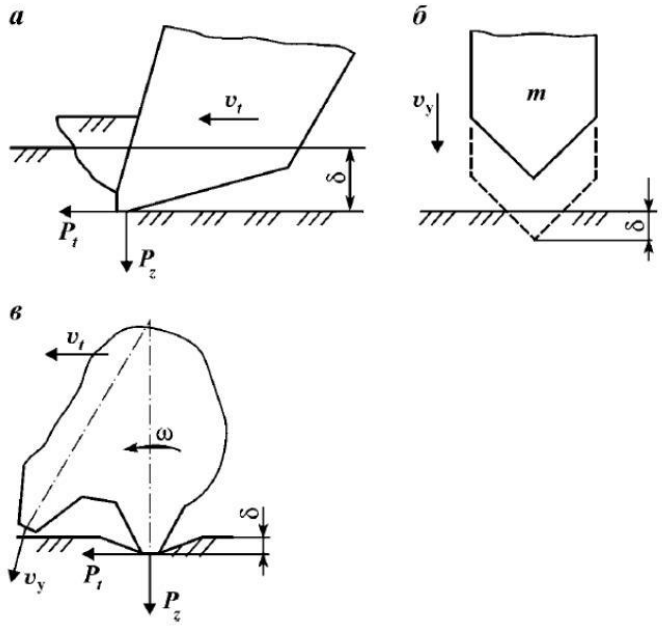


Рисунок 1.1 – Схемы взаимодействия с горной породой породоразрушающих элементов вооружения бурового инструмента: а) режуще-скалывающий инструмент; б) долот дробящего действия; в) дробяще-скалывающий долот [2]

Породоразрушающий инструмент подгрупп РС и ИР характеризуется выполнением вооружения в виде лопастей или секторов. Породоразрушающий элемент долота называется лопастью, если его высота значительно превосходит толщину, и сектором, если его высота меньше или равна толщине.

Возможность использования той или иной подгруппы инструментов для бурения скважины определяются механическими свойствами горных пород, главным образом величиной их твердости и абразивности. В пределах каждой подгруппы (РС, ИР, ДС) инструменты имеют особенности в зависимости от того, для пород какой абразивности и твердости они предназначены. Соответствие абразивности горных пород отражает класс инструмента, а твердости – тип инструмента [2].

Породоразрушающие инструменты изготавливают двух классов:

1) первый класс – инструменты со стальным фрезерованным вооружением, предназначеные для разбуривания неабразивных горных пород;

2) второй класс – инструменты с вставным твердосплавным вооружением, предназначенные для абразивных пород (бурения).

В горном деле под абразивностью горных пород понимают их способность изнашивать металлы при трении. Изнашивание – процесс преимущественно механический (усталостные явления на поверхностях трения, их деформирование, царапание, резание). Под изнашиванием понимается постепенное изменение формы и размеров детали или инструмента в процессе работы. Результат изнашивания, проявляющийся в виде отделения частиц твердого тела или остаточной деформации его поверхности, называется износом. В таблице 1.1 представлена классификация горных пород по абразивности [3].

Таблица 1.1 – Классификация горных пород по абразивности

Класс	Характеристика пород	Абразивность	Порода
I	Весьма малоабразивные	Менее 5	Известняк, мрамор, мягкие сульфиды без кварца, (галенит, сфалерит, пирротонит), апатит, каменная соль
II	Малоабразивные	5–10	Сульфидные руды, барито-сульфидные руды, аргиллиты, мягкие сланцы: углистые, глинистые, хлоритовые, хлорито-аспидные
III	Ниже средней абразивности	10–18	Джеспилиты, роговики (рудные и нерудные), магматические тонкозернистые породы, песчаники кварцевые и аркозове тонкозернистые, руды железные, известняки окремненные
IV	Среднеабразивные	18-30	Песчаники кварцевые и аркозовые, мелкозернистые диабазы, крупнозернистый пирит, арсенопирит, жильный кварц, кварцевосульфидные руды

Продолжение таблицы 1.1

V	Выше средней абразивности	30-45	Песчаники кварцовые средне и крупнозернистые, плагиограниты, нефелиновые сиениты, мелкозернистые диориты, порфириты, грейзены, габро-гнейсы, скарны (рудные и нерудные)
VI	Повышенной абразивности	45-65	Средне- и крупнозернистые граниты, диориты, гранодиориты, порфириты, нефелиноыве сиениты, кератофиры, пироксениты, монцониты, амфиболиты, сланцы кварцевые и окварцованные, гнейсы
VII	Высокоабразивные	65-90	Порфириты, диориты, граниты, гранитоидные нефелиновые сиениты
VIII	В высшей степени абразивные	Более 90	Корундосодержащие породы

1.2 Вспомогательный породоразрушающий инструмент

К специальным способам бурения относят такие нетрадиционные способы, в которых буровой снаряд с породоразрушающим инструментом внедряется в горную породу без вращения, либо забиванием, либо вдавливанием инструмента. Породоразрушающий инструмент такого типа используется для бурения мягких горных пород. Инструмент имеет форму башмака (стакана) режущего действия или вид пикобура с торцом конусной формы [4].

Для выполнения вспомогательных работ в скважине используется следующий специальный инструмент:

- зарезные и фрезерные долота, предназначеные для забуривания новых стволов в скважине и фрезерования металла при ликвидации аварий в скважине, связанных с поломкой породоразрушающего инструмента;
- калибратор – лопастной, шарошечный породоразрушающий инструмент, предназначенный для центрирования долота в скважине, для обработки (разрушения) ствола скважины до размера, равного диаметру нового долота;

▪ расширитель – пикообразное долото (специальное лопастное долото), предназначеное для расширения диаметра скважины, которая была пробурена инструментом меньшего диаметра и для разбуривания цементных пробок, металлических деталей низа бурильной колонны.

1.3 Материалы для изготовления породоразрушающего инструмента

1.3.1 Инструментальные стали

Инструментальные стали – это большая группа сталей, обладающие высокой твердостью, прочностью и износостойкостью, необходимыми для обработки материалов резанием или давлением. Многие инструментальные стали, кроме того, являются теплостойкими, то есть сохраняют указанные свойства при нагреве, часто возникающем в рабочей кромке инструментов, например, при резании с повышенной скоростью, при деформировании в горячем состоянии и так далее [5].

Инструментальные стали вследствие их высокой износостойкости и прочности широко используют для изделий таких как: подшипники качения, измерительный инструмент, пружины многих типов, детали топливной аппаратуры, а также для ряда деталей станков и машин (шестерен, ходовых винтов, червяков и так далее).

Классификация по свойствам и прежде всего по теплостойкости является наиболее важной, так как она одновременно характеризует природу упрочнения, вызываемого термической обработкой и определяющего условия использования сталей для инструментов [5].

Инструментальные стали рационально распределить на три группы:

1) не обладающие теплостойкостью;

2) теплостойкие;

3) полутеплостойкие.

На рисунке 1.2 представлена классификация (схема) инструментальных сталей.

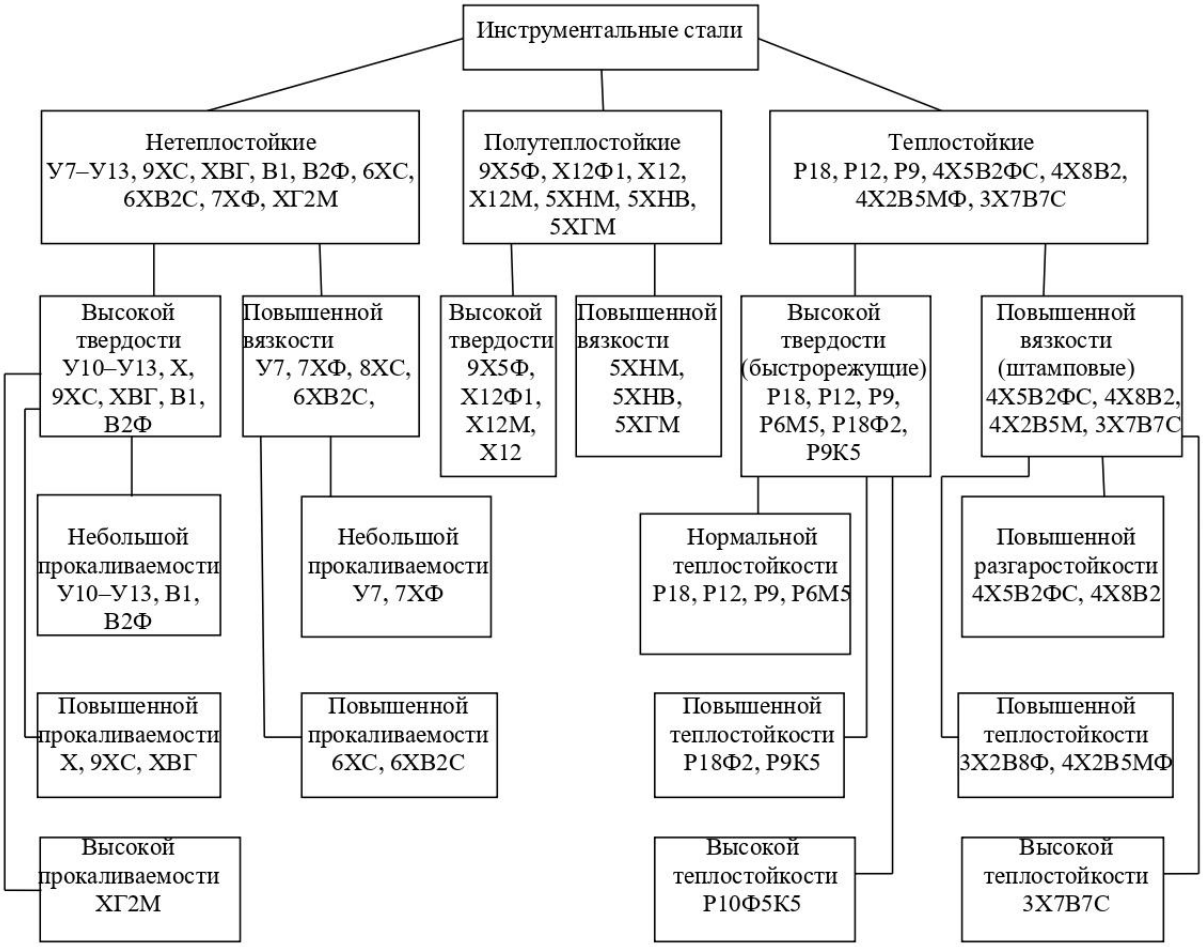


Рисунок 1.2 – Классификация (схема) инструментальных сталей [5]

Теплостойкие стали – это высоколегированные стали, приобретающие высокую твердость, прочность и износостойкость в результате мартенситного превращения при закалке и дисперсионного твердения при относительно высоком отпуске (500–625 ^{0}С), вызываемого выделением упрочняющих фаз. Такими фазами для большинства сталей являются сложные карбиды вольфрама, молибдена, ванадия, создающие карбидное упрочнение, а у некоторых сталей и сплавов – интерметаллидное упрочнение [5].

Стали высокой твердости и прочности, как правило, не имеют достаточной вязкости и их нельзя использовать при значительных динамических нагрузках (например, для многих штампов, слесарно-монтажных инструментов и т.п.). Повышение вязкости достигается за счет снижения содержания углерода,

твердости и износостойкости. Поэтому стали, и обладающие, и не обладающие теплостойкостью, необходимо подразделить следующим образом:

– стали высокой твердости и износостойкости, но пониженной вязкости: содержат 0,7–1,5 % С (иногда до 2 %), имеют мартенситную структуру и высокую твердость (58–65 HRC и выше), сохраняемую при отпуске;

– стали повышенной вязкости, но пониженной твердости и износостойкости: содержат 04–0,7 % С (при высоком легировании до 0,3 %), после высокого отпуска образуется троститно-мартенситная структура, для которой характерна твердость в пределах 40–55 HRC (чаще 45–50 HRC) и ударная вязкость порядка 2–8 кГ·м/см^2).

1.3.2 Быстрорежущие стали

Теплостойкие стали высокой твердости, называемыми быстрорежущими сталями, наиболее широко применяют для режущего инструмента. Использование данных сталей позволяет увеличить скорость резания в 2–4 раза и повысить стойкость инструментов в 10–30 раз по сравнению с инструментами из сталей, не обладающих теплостойкостью. Преимущества быстрорежущих сталей проявляются при резании с повышенной скоростью, то есть в условиях нагрева рабочей кромки [5].

Быстрорежущие стали (рапиды, быстрорезы) относятся к инструментальным сталям специального назначения. Для всех инструментальных сталей характерны высокая твердость в холодном и горячем состоянии и высокое сопротивление пластической деформации. Также для быстрорежущих сталей характерна красностойкость – это сохранение свойств при разогревании инструмента до температуры близкой к 600 ^{0}С, что важно для обработки твердых металлов резанием на высокой скорости. Красностойкость и горячую прочность стали придают легирующие карбидообразующие добавки: кобальт, вольфрам, ванадий и молибден. Твердость быстрорежущей стали в готовых изделиях HRC 63–66, для резания труднообрабатываемых материалов – HRC 66–69.

Быстрорежущие стали относятся к ледебуритным сталям, которые приобретают высокую износостойкость и твердость в процессе мартенситного превращения во время закалки. При высокотемпературном отпуске происходит дисперсионное твердение, обусловленное выделением упрочняющей фазы, состоящей из карбидов вольфрама, ванадия, молибдена.

Характеристики быстрорежущих сталей:

1. Горячая твердость

Горячая твердость характеризует температуру, которую сталь может выдержать. При нормальной температуре твердость углеродистой стали даже несколько выше твердости быстрорежущей стали. Однако, в процессе работы режущего инструмента, происходит интенсивное выделение тепла. При этом до 80 % выделившегося тепла уходит на разогрев инструмента. Вследствие повышения температуры режущей кромки начинается отпуск материала инструмента и снижается его твердость.

После нагрева до 200^0С твердость углеродистой стали начинает быстро падать. Для этой стали недопустим режим резания, при котором инструмент нагревался бы выше 200^0С. У быстрорежущей стали высокая твердость сохраняется при нагреве до 500÷600 ^{0}С.

2. Красностойкость

Красностойкость – это способность стали сохранять при нагреве до температур красного каления высокую твёрдость и износостойкость, полученные в результате термической обработки (рисунок 1.3).

Существует несколько характеристик красностойкости. Приведем две из них.

Первая характеристика показывает, какую твердость будет иметь сталь после отпуска при определенной температуре в течение заданного времени (таблица 1.2).

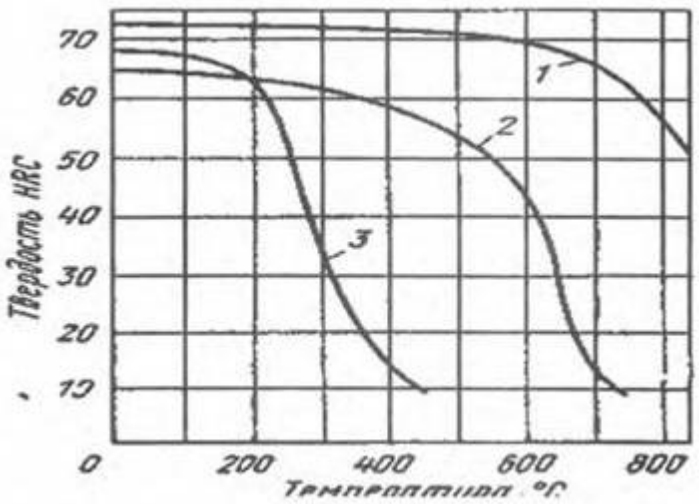


Рисунок 1.3 – Красностойкость инструмента из различных сплавов и сталей:
1 – твердый сплав; 2– быстрорежущая сталь; 3 – углеродистая сталь

Таблица 1.2 – Характеристики теплостойкости углеродистых и красностойкости быстрорежущих инструментальных сталей

Марка стали	Температура отпуска, ^{0}С	Время выдержки, час	Твердость, HRC
У7, У8, У10, У12	150 ÷ 160	1	63
Р9	580	4	
У7, У8, У10, У12	200 ÷ 220	1	59
Р6М5К5, Р9, Р9М4К8, Р18	620 ÷ 630	4	

Второй способ основан на том, что интенсивность снижении горячей твердости можно измерить не только при высокой температуре, но и при комнатной, так как кривые снижения твердости при высокой температуре и комнатной идут эквидистантно, а измерить твердость при комнатной температуре, разумеется, гораздо проще, чем при высокой. Опытами установлено, что режущие свойства теряются при твердости 50 HRC при температуре резання, что соответствует примерно 58 HRC при комнатной. Отсюда красностойкость характеризуется температурой отпуска, при которой за 4 часа твердость снижается до 58 HRC (обозначение К4р58) [6].

3.Сопротивление разрушению

Кроме «горячих» свойств от материала для режущего инструмента требуются и высокие механические свойства; под этим подразумевается

сопротивление хрупкому разрушению, так как при высокой твердости (> 60 HRC) разрушение всегда происходит по хрупкому механизму. Прочность таких высокотвердых материалов обычно определяют, как сопротивление разрушению при изгибе призматических, не надрезанных образцов, при статическом (медленном) и динамическом (быстром) нагружении. Чем выше прочность, тем большее усилие может выдержать рабочая часть инструмента, тем большую подачу и глубину резания можно применить, и это увеличивает производительность процесса резания.

1.3.2.1 Принципы легирования быстрорежущих сталей

Высокая твердость мартенсита объясняется растворением углерода в α-железе. Известно, что при отпуске из мартенсита в углеродистой стали выделяются мельчайшие частицы карбида. Пока выделившиеся карбиды еще находятся в мельчайшем дисперсном рассеянии (т.е. на первой стадии выделения при отпуске до 200 °С), твердость заметно не снижается. Но если температуру отпуска поднять выше 200 °С, происходит рост карбидных выделений, и твердость падает.

Чтобы сталь устойчиво сохраняла твердость при нагреве, нужно ее легировать такими элементами, которые затрудняли бы процесс коагуляции карбидов. Если ввести в сталь какой-нибудь карбидообразующий элемент в таком количестве, что он образует специальный карбид, то красностойкость скачкообразно возрастает. Это обусловлено тем, что специальный карбид выделяется из мартенсита и коагулирует при более высоких температурах, чем карбид железа, так как для этого требуется не только диффузия углерода, но и диффузия легирующих элементов. Практически заметная коагуляция специальных карбидов хрома, вольфрама, молибдена, ванадия происходит при температурах выше 500 ^{0}С [6].

Таким образом, красностойкость создается легированием стали карбидообразующими элементами (вольфрамом, молибденом, хромом, ванадием)

в таком количестве, при котором они связывают почти весь углерод в специальные карбиды и эти карбиды переходят в раствор при закалке. Несмотря на сильное различие в общем химическом составе, состав твердого раствора очень близок во всех сталях, атомная сумма W+Mo+V, определяющая красностойкость, равна примерно 4 % (атомн.), отсюда красностойкости и режущие свойства у разных марок быстрорежущих сталей близки. Быстрорежущая сталь, содержащая кобальт, превосходит по режущим свойствам остальные стали (он повышает красностойкость), но кобальт очень дорогой элемент [6].

1.3.2.2 Применение быстрорежущих сталей

Кобальтовые и ванадиевые быстрорежущие стали применяются для обработки конструкционных сталей при повышенных режимах резания, а также жаростойких, нержавеющих и высокопрочных сталей.

Инструменты из кобальтовых сталей применяются для обработки жаропрочных и коррозионно-стойких сталей, а также других труднообрабатываемых сплавов, подходят для эксплуатации в условиях недостаточного охлаждения, прерывистого резания и вибраций. Область применения быстрорежущих ванадиевых сталей – изготовление инструментов, предназначенных для чистовой обработки труднообрабатываемых металлов (разверток, протяжек и т.д.)

В последние десятилетия использование быстрорежущей стали сокращается в связи с широким распространением твёрдых сплавов. Из быстрорежущей стали изготавливают в основном концевой инструмент (метчики, свёрла, фрезы небольших диаметров). В токарной обработке резцы со сменными и напайными твердосплавными пластинами почти полностью вытеснили резцы из быстрорежущей стали.

1.3.3 Твёрдые сплавы

В последние десятилетия для производства современных режущих инструментов интенсивно применяют твердые сплавы. Они состоят из карбидов

вольфрама, титана, тантала, скрепленных кобальтовой связкой. Карбиды вольфрама, титана и тантала обладают высокой твердостью, износостойкостью и теплостойкостью [7, 8]. Инструменты, оснащенные твердым сплавом, хорошо сопротивляются истиранию сходящей стружкой и материалом заготовки и не теряют своих режущих свойств при температуре нагрева до 750–1100 ^{0}С. Скорость резания инструментами, оснащенными твердыми сплавами, в 3–4 раза превосходит скорость резания инструментами из быстрорежущей стали. Твердосплавные инструменты пригодны для обработки закаленных сталей, а также неметаллических материалов, таких как стекло, фарфор. Недостатком твердых сплавов по сравнению с быстрорежущей сталью является их повышенная хрупкость, которая возрастает с уменьшением содержания в сплаве кобальта.

Твердые сплавы условно делят на 4 группы:

1) однокарбидные вольфрамовые, состоящие из карбида вольфрама и кобальта (WC–Co) – ВК3, ВК8, ВК10;

2) двухкарбидные титановольфрамовые, состоящие из карбида вольфрама (основа), карбида титана и кобальта (WC–TiC–Co) – Т30К4, Т15К6, Т5К10, Т5К12;

3) титанотанталовольфрамовые сплавы, в состав входят карбиды вольфрама (основа), титана, тантала и кобальт (WC–TiC–TaC–Co) - ТТ8К6, ТТ10К8Б, ТТ20К9, ТТ7К12;

4) безвольфрамовые твёрдые сплавы, состоящие из карбида или карбонитрида титана, связки Ni или сплава Ni–Mo: TiC–Ni–Mo (сплавы ТН); TiC–TiN–Ni–Mo (сплавы КНТ) – ТН20, КНТ16.

1.3.3.1 Производство твердых сплавов

Технологию изготовления изделия из твёрдых сплавов рассмотрим на примере вольфрамовых твёрдых сплавов, как наиболее часто употреблявшихся на предприятиях по обработке металлов давлением [9].

Основными материалами для производства вольфрамовых твёрдых сплавов служат: вольфрамовый ангидрид или паравольфрамат аммония, окись кобальта,

сажа. К вспомогательным материалам относится: этиловый спирт, водород, графит, корракс, бензин, синтетический каучук, парафин.

Вольфрамовый ангидрид WO_3, получают из обогащенных вольфрамовых руд; шеелита $CaWO_4$ или вольфрамита (Fe, Mn)WO_4. Для получения соединений кобальта в промышленности используют руды кобальтовых или кобальтовомедных месторождений либо попутно извлекают его из руд никелевых месторождений, где кобальт является посторонней примесью. При производстве твёрдых сплавов используют чистую окись кобальта, получаемую из технической гидроокиси кобальта. Сажу получают сжиганием нефтяных продуктов или естественного газа в горелках, помещённых в камеры с недостатком воздуха [9].

Технологическая схема производства изделий из вольфрамовых твёрдых сплавов представлена на рис.1.4. Вольфрамовый ангидрид WO_3 восстанавливают водородом в электрических печах сопротивления. При этом его загружают в лодочки, которые постепенно продвигают внутри муфеля печи, где происходит реакция

$$WO_3 + 3H_2 = W + 3H_2O$$

Для получения мелкозернистых порошков температуру восстановления поддерживают в пределах 600...700 ^{o}C, среднезернистых – 800...900 °C, крупнозернистых 1200 °C.

Возможно восстановление WO_3 углеродом по реакции:

$$2CO = CO_2 + C,$$

$$WO_3 + 3CO = W + 3CO_2.$$

Реакция осуществляется при температуре 1500…1700 ^{0}C. В этом случае затруднено получение вольфрама с наперед заданной зернистостью, поэтому получаемый порошок подлежит размолу.

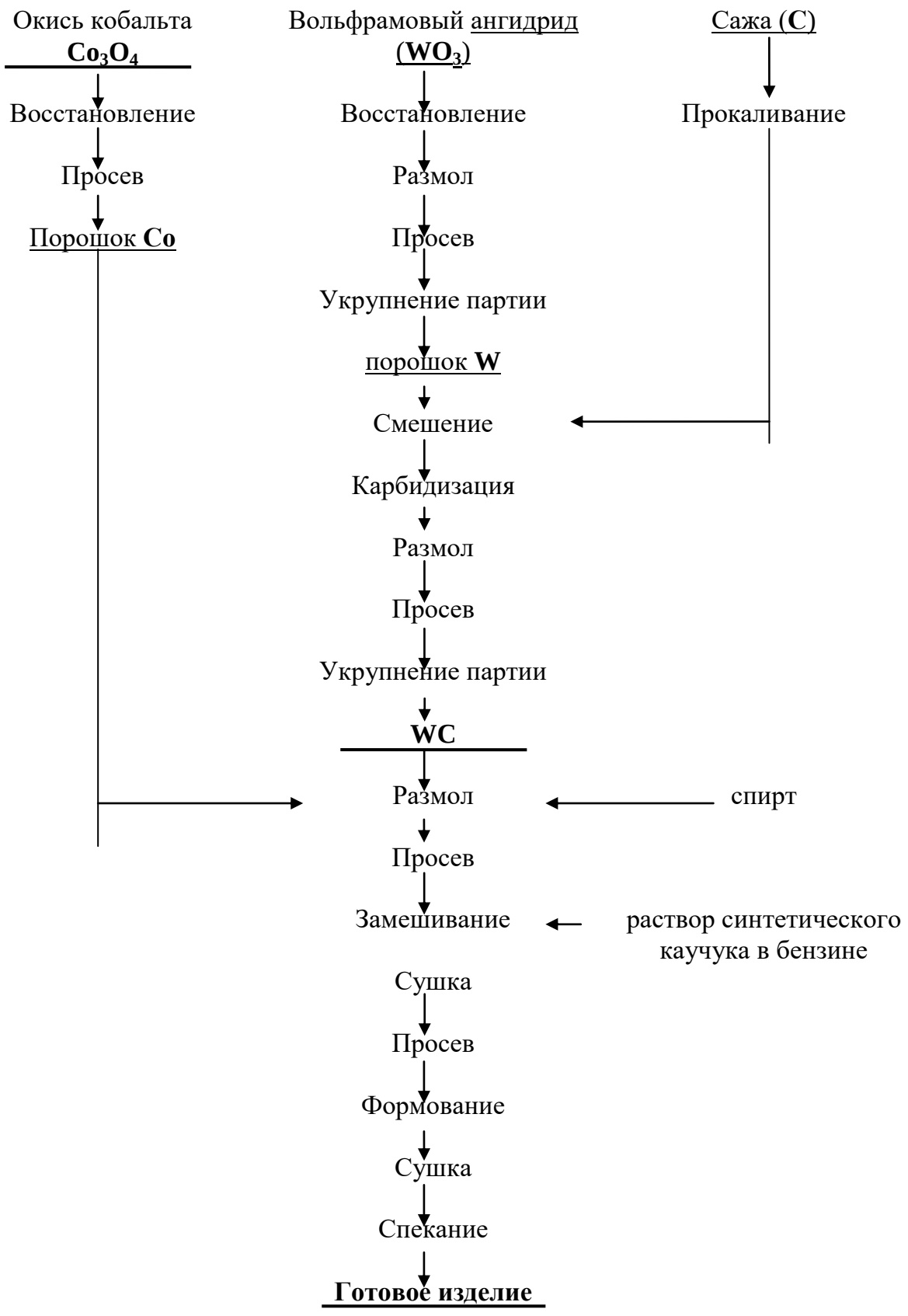


Рисунок 1.4 – Принципиальная технологическая схема изготовления изделий из твердых сплавов вольфрамовой группы

Перед смешиванием порошок вольфрама просеивают и загружают в шаровую мельницу или смеситель для укрупнения партии и образования однородной смеси. Продолжительность операции укрупнения 3–4 часа.

Для получения карбида вольфрама сажу прокаливают с целью удаления из неё влаги. Окись вольфрама с сажей тщательно перемешивают в шаровых мельницах. Полученную смесь в лодочках загружают в печи карбидизации, где при температуре 1360...2000 °С и атмосфере водорода происходит реакция

$$W + C = WC$$

Одновременно протекает реакция карбидизации окислов

$$WO_3 + 4C = WC + 3CO.$$

Получаемый карбид вольфрама размалывают в шаровых мельницах. После размола карбид просеивают на механическом сите с размерами ячеек 0,18–0,15 мм. Для выравнивания физико-механических свойств партию подвергают укрупнению. Порошок кобальта получают из окиси кобальта Co_3O_4, восстанавливая её водородом в муфельной печи прямого нагрева. Процесс восстановления протекает по следующей реакции

$$Co_3O_4 + 4H_2 = 3Co + 4H_2O.$$

Окись кобальта насыпают в лодочки и загружают в печь, через которую пропускают водород. Температуру поддерживают в пределах 530–550 ^{0}С. После восстановления порошок просеивают через сетку с ячейками размерами 0,1–0,6 мм.

Смесь карбида вольфрама с кобальтом подвергают мокрому размолу в шаровой мельнице. Жидкость, применяемая при размоле, должна удовлетворять следующим требованиям: не вступать в химическое взаимодействие с размалываемыми порошками; иметь низкую температуру кипения, чтобы легко удаляться при сушке, быть неядовитой и недефицитной. Указанным требованиям наилучшим образом удовлетворяет этиловый спирт, который добавляют в количестве 400–500 мл на 1 кг смеси. Вместо спирта можно применить воду, но

при этом необходимо либо проводить вакуумную сушку смеси, либо восстанавливать её в токе водорода, т.к. при обычных условиях сушки смесь окисляется [9].

В отличие от сухого способа размола при мокром размоле порошки не распыливаются, не прилипают к стенкам барабана. Только мокрым размолом можно получить сплавы с низким содержанием кобальта, когда требуется распределить очень небольшое количество цементирующего металла среди основной массы карбида.

Выгруженную из мельницы смесь процеживают через сито с целью предотвратить попадание в смесь неразмоловшихся карбидных частиц и кусочков размалывающих тел. Для удаления спирта из смеси после мокрого размола смесь сушат в дистилляторах или сушильных шкафах при температуре 90–120 °С. Чтобы отделить смесь от посторонних включений, а также разрыхлить и усреднить её, проводят просев через бронзовые ситовые полотна.

Порошки карбидов, применяемых при производстве твёрдых сплавов, отличаются весьма малой пластичностью. Поэтому в смесь карбидов с цементирующим металлом вводят пластифицирующие вещества, которые улучшают текучесть смеси и обеспечивают смазку зёрен, уменьшая трение между ними. Введение пластификатора уменьшает также усилие формования. К пластификаторам предъявляется ряд требований: хорошее смачивание порошка смеси, быстрое растворение в органическом растворителе, удаление без следов примесей из прессованной заготовки при нагревании.

В промышленности наибольшее распространение получил пластификатор – раствор синтетического каучука в бензине. Он придаёт смеси хорошую текучесть, обеспечивает высокую прочность заготовок. Недостаток этого вида пластификатора в том, что каучук не полностью удаляется из изделия, оставляя после спекания до 0,1–0,2 % свободного углерода. Этим недостатком не обладает парафин, изделия, изготовленные из смесей с парафином, обладают лучшей обрабатываемостью и имеют большую прочность. Недостаток парафина:

невозможность использования прессов-автоматов из-за малой текучести порошка смеси.

Производство твердых сплавов относится преимущественно к области порошковой металлургии. Порошки карбидов смешиваются с порошком кобальта, затем прессуются изделия требуемой формы и подвергаются спеканию при температуре, близкой к температуре плавления кобальта. Таким образом формируются пластинки твердого сплава различных размеров и форм, которыми оснащаются резцы, фрезы, сверла, зенкеры, развертки и др. Пластинки твердого сплава крепятся к державке или к корпусу напайкой или механически при помощи винтов и прижимов.

Применение твердых сплавов на основе карбида вольфрама позволяет вести обработку металлов со сверхвысокими скоростями резания, так как сплавы этой группы обладают очень высокой твердостью, износоустойчивостью и красностойкостью. Среди приоритетных и востребованных твердосплавных композиций следует отметить сплав ВК8, которым оснащают инструмент для бурения, волочения, чернового точения жаропрочных и нержавеющих сталей, а также сплавов титана.

1.4 Применение породоразрушающего инструмента в проходческих комбайнах

1.4.1 Добыча калийных солей

Калийные соли относятся к группе хемогенных осадочных горных пород, образованных легкорастворимыми в воде калиевыми и калиево-магниевыми минералами. Природные калийные соли залегают среди каменной соли в виде пластов и линз мощностью до нескольких десятков метров [10].

По химическому составу соляные породы представляют собой водные и безводные соли соляной и серной кислот элементов K, Na, Mg, Ca. Среди хлоридов калия и магния доминируют сильвиниты, являющиеся основными

калийсодержащими породами. Плотность соляных пород калийных месторождений РФ и стран СНГ находится в пределах 1,8–2,4 т/м^3.

В большинстве своём соляные породы представляют собой плотные кристаллические породы с включением несолевых минералов (гипс, глина, ангидрит и другие).

На сегодняшний день в мире известно 37 месторождений ископаемых калийно-магниевых солей. Из них 20 находится в Европе, 5 – в Азии, 6 – в Северной Америке, 2 – в Южной Америке и 4 – в Африке. 16 месторождений являются промышленными и эксплуатируются в данное время. Основная часть мировых запасов калийной руды приходится на Канаду (38 %), Россию (33 %) и Белоруссию (9 %) [4].

Разработка большинства калийных месторождений осуществляется подземным способом с использованием камерной системы разработки и системы отработки пластов длинными очистными забоями. Широкое применение получили очистные комбайновые комплексы, обеспечивающие механизацию технологических процессов отбойки, погрузки руды и установки крепи. В качестве выемочных машин в данных комплексах применяют, как правило, очистные и проходческо-очистные комбайны с исполнительными органами, оснащенными режущим рабочим инструментом.

Развитие средств механизации очистных работ в калийной промышленности происходит в направлении решения основных экономических и социальных задач, а именно: повышения производительности и обеспечения безопасности труда шахтеров.

Повышение эффективности использования комбайнов калийных рудников обусловливает снижение себестоимости готовой продукции горнодобывающих и обогатительных предприятий, позволяет уменьшить удельные энергозатраты процесса разрушения калийного массива и снизить количество пылевидных, необогатимых классов (отходов горного производства) в отбитой руде.

Одним из путей улучшения технических характеристик очистных комбайнов калийных рудников является создание научно-обоснованных методик выбора и способов поддержания рациональных режимных параметров работы добычных машин, основанных на информации о нагруженности их приводов.

Повышение эффективности использования комбайнов калийных рудников обусловливает снижение себестоимости готовой продукции горнодобывающих и обогатительных предприятий, позволяет уменьшить удельные энергозатраты процесса разрушения калийного массива и снизить количество пылевидных, необогатимых классов (отходов горного производства) в отбитой руде. Одним из путей улучшения технических характеристик очистных комбайнов калийных рудников является создание научно-обоснованных методик выбора и способов поддержания рациональных режимных параметров работы добычных машин, основанных на информации о нагруженности их приводов.

1.4.2 Проходческий комбайн

Применяется при проходке горных горизонтальных и наклонных выработок, стволов (стволопроходческий комбайн), строительстве тоннелей (тоннелепроходческая машина). На рисунке 1.5 представлен проходческий комбайн избирательного разрушения.

Комбайновый способ проведения выработок наиболее прогрессивен, так как позволяет совместить во времени наиболее тяжелые и трудоемкие операции по разрушению забоя и уборке из него горной массы. Кроме того при комбайновом способе проведения выработок существенно повышается устойчивость последних, так как монолитность пород в массиве нарушается в меньшей степени, чем при буровзрывных работах. Последнее обстоятельство позволяет снизить расходы на поддержание выработок.

Проходческие комбайны по основным классификационным признакам подразделяются:

• *по способу обработки забоя исполнительным органом* – избирательного (цикличного) действия с последовательной обработкой поверхности забоя и

бурового (непрерывного) действия с одновременной обработкой всей поверхности забоя.

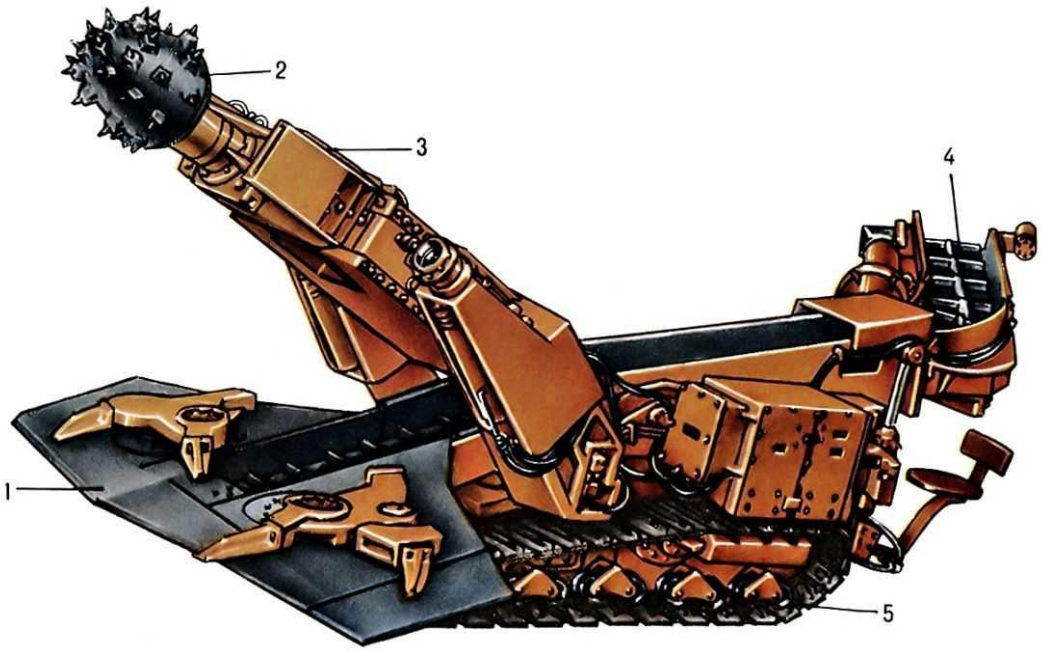


Рисунок 1.5 – Проходческий комбайн избирательного разрушения:
1 – погрузочный стол; 2 – фрезерная коронка; 3 – стреловидный исполнительный орган; 4 – перегружатель; 5 – гусеничная ходовая часть.

• *по крепости пород разрушаемого горного массива* – для работы по углю и слабой руде с прослойками и присечками слабых пород ($f \leq 4$), для работы по породам средней крепости ($f = 4 \div 8$) и по крепким породам ($f \geq 8$);

• *по области применения* – для проведения основных и вспомогательных подготовительных выработок по полезному ископаемому и смешанным забоем, для проведения основных и капитальных выработок и тоннелей по породе и для осуществления нарезных работ по полезному ископаемому;

• *по площади сечения проводимых выработок (в проходке)* – для проведения выработок от 5 до 16 м^2, от 9 до 30 м^2 и более 30 м^2.

Кроме перечисленных основных признаков комбайны могут также подразделяться по установленной мощности привода, исполнительного, погрузочного органов и органов перемещения.

Принцип работы комбайна избирательного действия

Комбайн избирательного действия представляет собой машину с исполнительным органом в виде стрелы с фрезерной коронкой. Коронка, как правило, снабжена резцовым режущим инструментом. Таким инструментом можно разрабатывать забой с любой формой поперечного сечения. Подобная техника может дополнительно оснащаться навесным оборудованием для вспомогательных операций (подъема элементов крепи, процессов анкерования боков и кровли выработки), а также приспособлениями для повышения устойчивости машины в целом (контроль за направлением движения с помощью лазера, современное программное управление).

Комбайн сплошного действия оборудован рабочим органом роторного типа, оснащенным буровой коронкой. Она оснащена дополнительно специальными ковшами и шарошечным инструментом. В процессе работы комбайна всеми этими средствами осуществляется полное разрушение всего забоя. Могут присутствовать фрезы для того, чтобы выработке придавать форму арки.

Проходческие комбайны с исполнительными органами избирательного действия применяются преимущественно для проведения выработок по породам с коэффициентом крепости $f \leq 8$, при необходимости изменения в широком диапазоне размеров и формы сечений выработок, а также раздельной выемки полезного ископаемого и породы.

Проходческие комбайны с буровыми исполнительными органами непрерывного действия применяются для проведения выработок постоянного сечения круглой или арочной формы.

Исполнительные органы проходческих комбайнов, выпускаемых в настоящее время, – как правило корончатые, дисковые или комбинированные.

Основные отечественные производители проходческих комбайнов:

– Ясиноватский машиностроительный завод;

– Опытное производство Солигорского института проблем ресурсосбережения;

– Копейский машиностроительный завод;

– Горловский машиностроитель;

– Новокраматорский машиностроительный завод;

– Юргинский машиностроительный завод.

1.4.3 Проходческий комбайн бурового действия

Эти комбайны по области применения делятся на две группы:

- для работы по углю, калийным солям и слабым породам с коэффициентом крепости F < 4;
- для работы по сильно абразивным породам с коэффициентом крепости F = 8–10.

Комбайны первой группы (ПК8М, "Урал-10КС; "Урал-20КСА") используют главным образом при добыче калийных руд (для проведения подготовительных горных выработок и очистной выемки в камерах).

Рабочая скорость подачи комбайна может изменяться в пределах 0-110,2 м/мин, маневровая до 200 м/ч. Масса комбайна 66 т.

Комбайн "Урал-10КСА" имеет: планетарный исполнительный орган, обрабатывающий забой двумя парами режущих дисков с забурниками; верхнее отбойное устройство, оформляющее кровлю выработки; бермовые фрезы со шнеками, служащие для выравнивания почвы, подрезки боков выработки и передачи горной массы скребковому конвейеру. Хвостовая часть конвейера выполнена подъемно-поворотной, что позволяет производить погрузку горной массы в различные поставочные средства. Комбайн имеет гусеничный ход с гидромеханическим приводом каждой гусеницы, обеспечивающим плавное регулирование скорости подачи и перемещения комбайна со скоростью до 120 м/ч.

Комбайн оборудован электрической и гидравлической системами, а также системой пылеподавления, бурильной установкой для бурения шпуров под анкерное крепление, насосной станцией, системой смазки и заправки редукторов и системой управления, обеспечивающей работу комбайна в режимах ручного и автоматического управления. Суммарная установленная мощность электродвигателей – 422,8 кВт. Масса комбайна 63 т.

Мощность привода исполнительного органа отбойного и бермовых органов составляет 444 кВт, общая установленная мощность двигателей – 532,8 кВт. Масса комбайна до 82 т.

Для проведения выработок в породах с коэффициентом крепости F = 6-10 разработан и принят в серийное производство комбайн бурового действия КРТ. Сечение выработки в проходке составляет 19 $м^2$, угол наклона ±10°. Породный забой разрушается в два приема торовым забурником с дисковыми тангенциальными шарошками и коническим расширителем. На комбайне предусмотрены две бермовые фрезы, придающие выработке арочную форму. Орган перемещения комбайна – гидравлический распорно-шагающий. Направленное движение комбайна осуществляется лазерным указателем курса. На комбайне установлен манипулятор для предварительного монтажа и установки комплектов крепи и предусмотрены средства технической диагностики основных узлов комбайна. Масса комбайна 130 т.

1.4.4 Режущая коронка горного комбайна

Изобретение относится к горной промышленности, в частности к режущим коронкам для горных комбайнов, и может быть использовано в конструкции исполнительных органов добычных и преимущественно проходческих комбайнов для разрушения минеральных и искусственных материалов при добыче полезных ископаемых и образовании выработок в грунте, а также в конструкции рабочих органов строительно-дорожных машин при строительстве и ремонте дорог.

Известна режущая коронка горного комбайна, которая содержит корпус, закрепленные на корпусе коронки и расположенные по винтовой линии

разцедержатели с гнездами для размещения державок породоразрушающих инструментов и породоразрушающие инструменты в виде резцов одностороннего и двустороннего действия, которые поочередно размещены в резцедержателях [11].

Режущая коронка обеспечивает возможность разрушения разных по прочности пород в рациональных режимах за счет изменения направления вращения коронки и использования в качестве породоразрушающих инструментов резцов одностороннего и двустороннего действия, которые позволяют изменять величину толщины стружки и шаг разрушения. К недостаткам известной режущей коронки можно отнести необходимость усложнения конструкции исполнительного органа горного комбайна для обеспечения реверсирования вращения коронки. Кроме того, использование в качестве породоразрушающих инструментов радиальных резцов, которые установлены с возможностью ограниченного поворота в гнезде резцедержателя, увеличивает энергоемкость процесса разрушения и приводит к снижению производительности режущей коронки за счет необходимости их частой замены, поскольку срок службы таких резцов невысок. При этом следует отметить, что интенсивность изнашивания резцов одностороннего действия и двустороннего действия будет неодинакова, что приведет к необходимости замены резцов двустороннего действия по причине их одностороннего износа. К недостаткам известной конструкции режущих коронок можно также отнести отсутствие приспособлений для транспортировки разрушенного материала, что приводит к снижению производительности процесса образования выработки за счет необходимости проведения дополнительных работ по удалению разрушенного материала и погрузки его на транспортирующее устройство [12].

1.5 Резцы для проходческих комбайнов

1.5.1 Изготовление резцов

Державку резца в отечественной практике изготавливают из легированных сталей: хромоникелевых, хромоникельмолибденованадиевых,

хромокремнемарганцевых и др. Применение этих сталей в сочетании с соответствующими технологическими операциями при производстве резцов способствует снижению напряжений в вставках из твердого сплава, которыми армируют державки, и повышению прочностных показателей. Наиболее широко применяемые марки сталей для различных видов инструмента [13]:

– резцы угледобывающих и проходческих комбайнов – 30ХГСА, 35ХГСА;

– коронки для ударно-поворотного, ударно-вращательного и вращательно-ударного бурения – 35ХГСА, 30ХГТ, 45ХН, 38ХН3МФА, 40ХН2МА, 18Х2Н4МА, 18Х2Н4ВА;

– резцы вращательного бурения шпуров и скважин – У7, 45Г2, 35ХГСА;

– шарошечные долота – 20ХН3А, 17Н3МА;

– пики отбойных молотков – сталь 45, сталь 50;

– буровые штанги – У7, У8, К32П-55С2, Ш22-55СА, 30ХМА.

Для снижения в паяном соединении напряжений, возникающих при резком охлаждении при закалке, рекомендуется применять стали мартенситного класса 38ХН3МФА и 45ХН3МФА, закаливающиеся на воздухе. При температуре 200÷350 °С, когда припой теряет пластичность, в сталях этого класса происходят мартенситные превращения, размеры пазов увеличиваются и тем самым снижаются или совсем устраняются термические напряжения. Аналогичный эффект получается у сталей перлитного класса 30ХГСА и 35ХГСА при изотермической закалке в селитровых ваннах [14].

Помимо сталей 30ХГСА и 35ХГСА ГОСТ Р 51047-97 «Резцы для проходческих и очистных комбайнов. Общие технические условия» предусматривает и применение стали 40Х. Использование других материалов, должно быть оговорено в соответствующей документации.

В целях повышения износостойкости горных инструментов их режущую часть оснащают металлокерамическими или наплавочными твердыми сплавами [14].

Согласно ГОСТ Р 51047-97 в качестве армирующей вставки должны быть применены твердые сплавы марок ВК8В, ВК11ВК, ВК10КС, ВК12КС по ГОСТ 3882, ГОСТ 20559. Использование других материалов должно быть оговорено в соответствующей документации.

По структуре твердые сплавы разделяют [14] на мелкозернистые (индекс М, размер зерен до 1 мкм), среднезернистые (размер зерен 12 мкм) и крупнозернистые (индекс В, размер зерен 12÷15 мкм). Мелкозернистые сплавы при одинаковом химическом составе имеют большие твердость и износостойкость, но меньшую прочность, чем крупнозернистые. Последние имеют повышенные прочность и ударную вязкость, но более низкую износостойкость [13].

1.5.2 Технология производства тангенциальных поворотных резцов

Существующая на отечественных заводах-производителях технология изготовления резца включает в себя изготовление державки и твердосплавной вставки, армирование державки вставкой, термическую обработку, контроль и приемку. Как правило, державки резцов изготавливают методом горячей объемной штамповки, реже – механической обработкой. Объемная штамповка проводится на горизонтально-ковочных машинах при температурах, соответствующих горячей обработке металлов давлением, что составляет для наиболее часто используемого материала державки – стали 30ХГСА 1140÷830 °С. После проведения штамповки заготовка охлаждается до комнатной температуры и подвергается механической обработке (сверление закрытого паза и проточка кольцевого паза в хвостовике резца). Затем происходит крепление твердосплавной вставки (керна) в пазе головки державки. В отечественной практике эту операцию, обычно, проводят методом пайки, в зарубежной – запрессовкой. Последней технологической операцией является термическая обработка резца (закалка плюс низкий отпуск), предназначенная для увеличения прочностных показателей и износостойкости материала его державки. После

пайки твердосплавной вставки резец подстуживают до температуры 850÷880 ^{0}С и, погружая в специальные растворы, производят закалку. Как показано в работе [14], отклонение от необходимых температур при проведении операции подстуживания на заводе изготовителе резцов может явиться причиной получения структуры материала державки, отличающееся низкой твердостью и износостойкостью.

Пайка, применяемая при производстве резцов в настоящее время, делится на ручную – с нагревом ТВЧ в многоместных кондукторах и полуавтоматическую – на установке с использованием метода погружения в расплавленный припой.

Режущие элементы соединяются с корпусами породоразрушающих инструментов путем пайки, запрессовки и путем механического крепления. При механическом креплении рабочие части инструмента соединяют болтами, клиньями. Это позволяет производить соединение без нагрева, что благоприятно сказывается на стойкости режущего элемента, однако усложняет конструкцию и в большинстве случаев увеличивает расход твердого сплава.

Запрессовка твердосплавных вставок в корпус инструмента осуществляется с нагревом и без нагрева. Запрессовку с нагревом производят обычно при цилиндрической базовой поверхности резца в нагретый корпус. В свою очередь запрессовку вхолодную осуществляют при наличии на резце конусной базовой поверхности.

Нагрев державки осуществляется до температуры образования сборочного зазора 0,03…0,06 мм, при этом материал державки приобретает большую пластичность. Затем в отверстие корпуса вставляют режущий элемент. При остывании державки размеры отверстия уменьшаются и твердосплавная вставка зажимается.

Горячая и холодная запрессовки обеспечивают требуемый уровень прочности соединения. Однако оба способа запрессовки имеют определенные недостатки. Горячая запрессовка требует нагрева державок и получения на базовых поверхностях шероховатости R_a=0,08 мкм. В случае, когда

твердосплавный элемент имеет также базовый торец, необходимо обеспечить его перпендикулярность относительно оси с отклонением не более 0,02 мм.

При выполнении холодной запрессовки, когда на соединяемых деталях используется конусная базовая поверхность, технологически трудно обеспечить высокую геометрическую точность конических поверхностей. При наличии геометрических отклонений на базовых поверхностях происходит неравномерное обжатие по высоте и диаметру, что снижает прочность соединения и оказывает неблагоприятное действие в процессе эксплуатации.

Наиболее широкое распространение для крепления твердосплавных режущих элементов к корпусам горных инструментов получила пайка с помощью высокотемпературных припоев. Пайка позволяет сократить расход твердых сплавов и снизить требования к шероховатости и точности обработки базовых поверхностей соединяемых деталей. Однако прочность соединения в этом случае во многом зависит от прочности припоя и возможных его дефектов.

Условия работы инструмента	Способ пайки				
	Индукционный	В камерной печи	В камерной печи (в газовой среде)	Контактный	Погружением
Тяжелонагруженный инструмент для скоростных режимов резания	ПрАНКМц	Медь, ПрАНКМц	Медь	ПрМНКМц	—
Инструмент для обычной работы	ПрМНКМц	Медь, ПрМНКМц	Медь	ПрМНКМц	ПрМНКМц
Инструмент для работы в легких условиях	Медь	Медь, ПрМНКМц	Медь	Латунь Л62	—

Рисунок 1.6 – Использование припоев в зависимости от условий работы инструмента

В подавляющем большинстве случаев пайка производится при помощи твердых припоев на медной основе с температурой плавления 900–1200 ^{0}С. При пайке припой в процессе нагревания расплавляется, смачивает нагретые поверхности державки и пластинки твердого сплава, при этом, согласно

диаграммам состояния, имеет место взаимодействие материала припоя и соединяемых материалов, образование твердых растворов или других соединений в зоне паяного шва, т.к. материалы, не взаимодействующие друг с другом, не паяются. На рисунке 1.6 приведены примеры использования припоев в зависимости от условий работы инструмента.

Известно, что твердые сплавы ВК8, ВКI5, ВК20 по своим физико-механическим свойствам значительно отличаются от материала державки – стали 45, 35ХГСА и т.д. Так как карбид вольфрама WC, составляющий основную часть твердых сплавов, имеет высокие твердость и прочность, то и твердые сплавы отличаются высокой твердостью и прочностью при практически полном отсутствии пластичности. Модуль упругости твердого сплава приблизительно втрое выше, чем стали.

При пайке с помощью высокотемпературных твердых припоев, твердый сплав подвергается нагреву до 900–1200 ^{0}С, в зависимости от марки припоя. Нагрев может вызвать структурные изменения и снижение механической прочности твердого сплава, а в случае недостаточной защиты от окружающей атмосферы – окисление поверхностного слоя. Высокие скорости нагрева и охлаждения могут привести к образованию трещин. Отсюда следует, что необходимы определенные ограничения в скоростях нагрева и охлаждения инструмента. При индукционном нагреве породоразрушающего инструмента, армированного сплавами типа ВК, скорость нагрева не должна превышать 40 град./с.

После пайки твердого сплава к державке в нем возникают остаточные напряжения вследствие различных коэффициентов линейного расширения твердого сплава и стали (коэффициент линейного расширения твердых сплавов в 1,5–2 раза меньше, чем стали). Эти напряжения снижают стойкость режущего инструмента, вызывают образование трещин. Величина остаточных напряжений зависит как от технологии пайки, так и от конструкции инструмента, от материала державки.

Наиболее распространенный способ пайки горнорежущего инструмента – с использованием токов высокой частоты. Преимущество этого способа пайки заключается в следующем:

– небольшое время нагрева; локальный нагрев участка инструмента, подлежащего пайке.

– возможность визуального наблюдения за процессами нагрева, с введением корректировки положения пластинки и количества флюса;

– обеспечение сравнительно высокой производительности и более низкого окисления твердого сплава при нагреве за счет снижения времени нагрева.

Почти при всех способах пайки соответствующие поверхности инструмента окисляются. В тех случаях, когда применяют соли или водород, поверхности получаются более чистыми, но увеличивается расход защитных средств.

Величина остаточных напряжений растяжения в соединении "твердый сплав – сталь" зависит как от конструкции инструмента, так и от технологии его изготовления. Поэтому целесообразно применение соответствующих способов снижения этих напряжений.

Существует зависимость между остаточными напряжениями и соотношением толщин стали и твердого сплава. Достигнуть уменьшения или устранения напряжений растяжения в твердом сплаве можно за счет увеличения толщины стального корпуса под пластинкой или уменьшения толщины пластинки твердого сплава. Наилучшие условия достигаются в том случае, когда толщина корпуса инструмента (под пластинкой) в 3 и более раза превышает толщину твердосплавной пластинки [16].

Путем изменения конструкции инструмента можно снизить остаточные напряжения за счет уменьшения связей, накладываемых на твердосплавную пластинку при ее пайке. В случае пайки пластинки твердого сплава в полузакрытый или закрытый паз корпуса инструмента, т.е. при пайке пластинки по двум, трем и более плоскостям, в ней могут возникнуть значительные напряжения растяжения, обусловленные ее сложным объемным напряжением, которые способны вызвать разрушение твердосплавной пластинки. Этого можно

избегать путем частичного раскрытия паза корпуса инструмента, уменьшения протяженности паяного шва, обеспечения небольшого выступания пластинки твердого сплава из паза.

Существенное влияние на величину остаточных напряжений в соединении оказывают и структурные превращения в сталях, происходящие в процессе охлаждения и зависящие от температуры сварки или пайки. Поэтому наибольшее влияние на величину остаточных напряжений оказывают те стали, в которых при охлаждении идет мартенситное превращение. Снижения остаточных напряжений в инструменте можно достигнуть [17]:

– путем использования явления релаксации напряжений – выдержка инструмента после пайки в электропечи при температуре 200–250 ^{0}С в течение 6–8 ч;

– путем применение компенсационных прокладок, помещаемых между твердосплавной пластинкой и корпусом инструмента, и имеющих коэффициент линейного расширения средний между таковыми стали и твердого сплава.

Согласно ГОСТ Р 51047-97 «Резцы для проходческих и очистных комбайнов [16]. Общие технические условия» твердость материала в зоне закалки должна составлять 35÷45 HRC с допустимым ее увеличением до 55 HRC в зоне армирующей вставки.

1.5.3 Анализ временных показателей основных операций производства резцов

Схема основных операций, используемых на отечественных предприятиях в технологии [18] изготовления тангенциальных поворотных резцов для проходческих комбайнов представлена на рисунке 1.7.

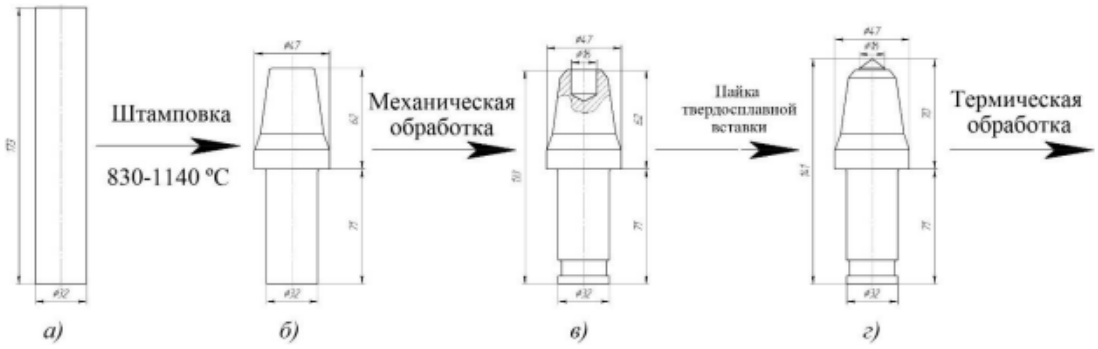


Рисунок 1.7 – Основные технологические операции производства поворотных резцов

Технология изготовления включает:

– штамповку цилиндрической заготовки (рисунок 1.7, а) на горизонтально-ковочной машине в интервале температур 830÷1140 °С с получением поковки державки (рисунок 1.7, б);

– охлаждение поковки на спокойном воздухе и механическую обработку с целью получения кольцевой проточки и закрытого паза для твердосплавной вставки (рисунок 1.7, в);

– укладку в закрытый паз флюса с припоем и твердосплавной вставки из сплава типа ВК11В, индукционный нагрев до температуры расплавления припоя (для припоя ПЛНКоМц49-9-0,2-0,2 – 955 °С), (рисунок 1.7, г);

– изотермическую закалку в расплавленной калиевой или натриевой селитре при температуре ~ 300 °С;

– охлаждение до комнатной температуры на спокойном воздухе;

– отпуск в печи при температуре 230 °С для уменьшения остаточных закалочных напряжений;

– охлаждение резца до комнатной температуры на спокойном воздухе.

Условия работы поворотных резцов проходческих комбайнов и виды их отказов

Во время эксплуатации, резцы проходческих комбайнов воспринимают значительные нагрузки сжимающего и изгибающего характера, имеющие

циклический характер действия, а также подвергаются интенсивному абразивному износу. Совокупное действие этих факторов приводит к постепенному исчерпыванию ресурса работы резцов и, в последующем, к их поломке. Во время работы резцов могут возникать как постепенные отказы (достижение предельной величины износа), так и внезапные (аварийные – поломки твердосплавной вставки и державки резца). Внезапные отказы появляются в двух случаях – возникновение пиковых нагрузок, превышающих допустимый уровень прочности резца, и в результате накопления повреждений усталостного характера и изнашивания, которые приводят к снижению прочностных характеристик инструмента [20].

Предполагается, что процесс износа державок поворотных резцов происходит аналогично изнашиванию резцов с плоской гранью. Образовавшееся в зоне контакта режущего инструмента с углем ядро мелкораздробленного, объемно сжатого угля (породы), препятствует дальнейшему продвижению резца. Поскольку процесс движения резца не прекращается, а пористость и трещиноватость массива недостаточны для обеспечения непрерывного продвижения резца в сторону массива без эвакуации продуктов дробления, часть этого сжатого ядра с большой скоростью «истекает» вдоль передней поверхности резца в сторону обнаженной поверхности забоя.

Высокое напряжение, под которым находится раздробленный уголь (порода) ядра, приводит к тому, что его «истечение» через узкую щель сопровождается значительным трением как о неразрушенный уголь (породу), так и о резец (рисунок 1.8, в). Из рисунка 1.8 видно, что большую часть времени, с породой взаимодействует твердосплавная вставка и буртик поворотного резца. Таким образом, резание породы поворотным резцом сопровождается мгновенным появлением и разрушением ядра уплотнения, что вызывает износ инструмента.

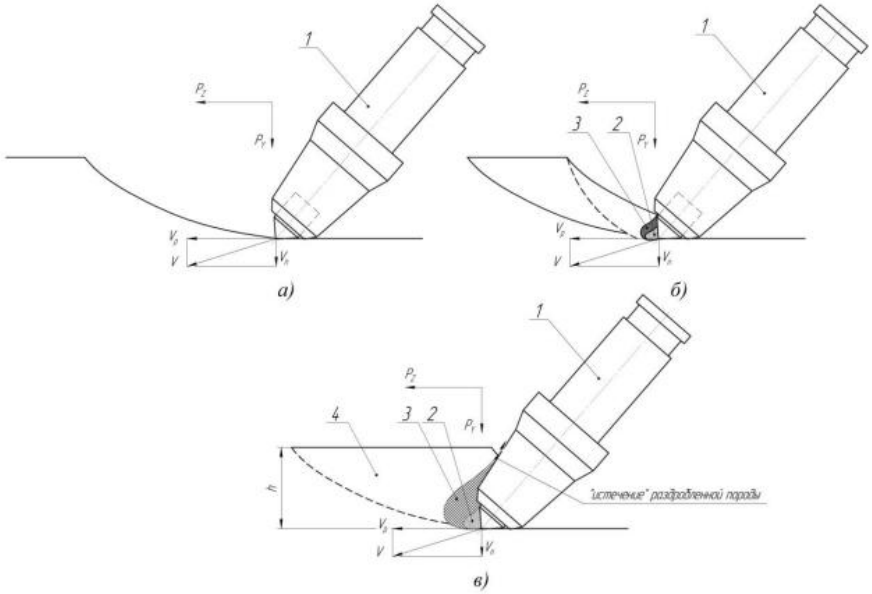


Рисунок 1.8 – схема резания горного массива поворотным резцом в различные моменты времени при одном крупном сколе: 1 – поворотный резец, 2 – уплотненное ядро (мелкодробленные фракции) в условиях объемного сжатия; 3 – зона смятия, 4 – зона упруго деформирования окружающих участков массива (крупный скол); Ру – сила подачи, Pz – сила резания, Vр – вектор скорости резания, Vп – вектор скорости подачи.

Исходя из вида резцов после эксплуатации, выделяют семь типов отказа поворотных резцов:

– износ твердосплавной вставки (рисунок 1.9 б);

– односторонний износ поворотного резца (рисунок 1.9 в);

– износ стальной державки (рисунок 1.9 г);

– поломка твердосплавной вставки (рисунок 1.9 д);

– выпадение твердосплавной вставки (рисунок 1.9 е);

– полный износ резца (рисунок 1.9 ж);

– поломка хвостовика (рисунок 1.9 з).

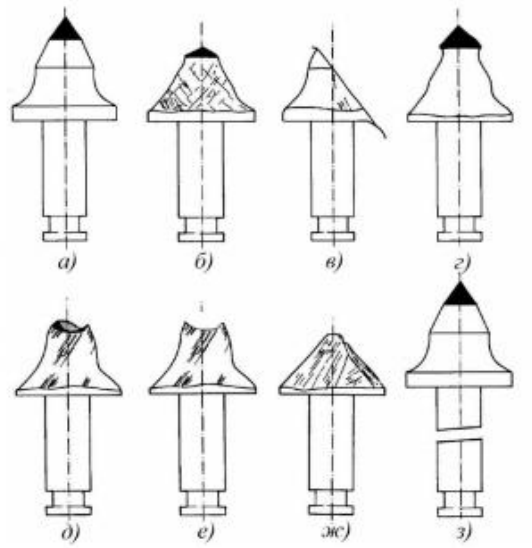


Рисунок 1.9 – Вид поворотного резца в исходном состоянии (а) и после различных видов отказа (б, в, г, д, е, ж,з)

Такое разнообразие поломок резцов обуславливается условием их применения и зависит, в большинстве случаев, от горно-геологических свойств породы и конструктивных особенностей инструмента.

В процессе эксплуатации нередки случаи потери резцов. Их причиной является несовершенство конструкции, технологии изготовления инструмента и средства крепления. Но в подавляющем большинстве случаев при нормальных условиях эксплуатации резцы выходят из строя в результате износа, который, по мнению, может принимать 4 основные формы (рисунок 1.10).

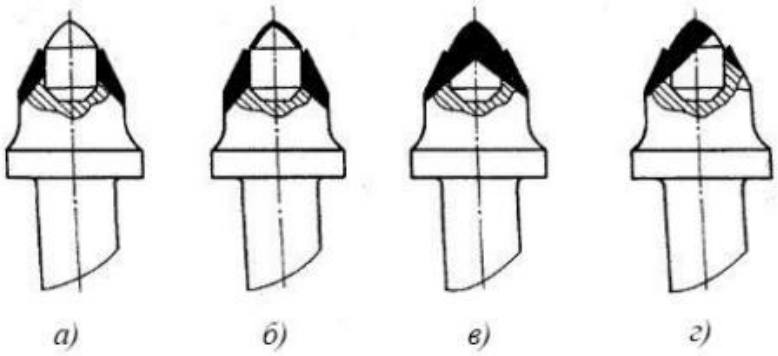


Рисунок 1.10 – формы износа поворотных резцов: а) износ головки державки; б) неравномерный износ головки державки и твердосплавной вставки; в) равномерный износ головки державки и твердосплавной вставки; г) односторонний износ

Характерная особенность первого вида износа (рисунок 1.10, а) заключается в том, что в процессе взаимодействия инструмента с горной породой изнашивается только головка державки, а износ твердосплавной вставки настолько незначителен, что им практически можно пренебречь. В результате изнашивания державки происходит постепенное обнажение («оголение») твердосплавной вставки. После достижения определенной высоты, величина которой зависит от параметров режима резания, наличия твердых включений, размеров твердосплавной вставки, происходит ее поломка (скол). Такая форма износа резцов наиболее характерна при разрушении пород с небольшой прочностью (до 30÷40 МПа) и абразивностью (до 5÷6 мг) [21].

Вторая форма износа (рисунок 1.10, б) отличается от первой тем, что в процессе разрушения пород происходит изнашивание не только головки державки, но и твердосплавной вставки, однако с разной интенсивностью: головка державки изнашивается быстрее. Разница в интенсивности изнашивания может быть значительной, так как она зависит от прочности и абразивности разрушаемых пород. Такая форма износа характерна для пород с широким диапазоном прочности (30÷90 МПа) и абразивности (ориентировочно 6÷20 мг). В этом случае наработка инструмента на отказ наиболее часто определяется поломкой твердосплавной вставки [21].

Характерная особенность третьей формы износа (рисунок 1.10, в) заключается в примерно одинаковой интенсивности изнашивания головки державки и твердосплавной вставки. В результате головка резца приобретает коническую форму, причем угол при вершине во многих случаях больше угла при вершине вставки в ее первоначальном виде. Резец выходит из строя при почти полном износе твердосплавной вставки. Эта форма износа наиболее часто встречается при разрушении пород с повышенной прочностью и абразивностью проходческими комбайнами тяжелого типа с высокой энерговооруженностью исполнительного органа.

На практике встречается и четвертая форма износа – односторонняя (рисунок. 1.10, г). Ее образование обусловлено независимо от горногеологических условий проходки заклиниванием хвостовика резца в отверстии резцедержателя. Обычно это происходит в результате попадания породной мелочи в зазор между отверстием в резцедержателе и хвостовиком инструмента. Возможны и другие причины, например, несоблюдение регламентированных допусков при изготовлении резцов и резцедержателей [21].

Одной из причин отказа резцов являются повреждения в твердосплавной вставке и державке резца, возникающие в результате малоцикловых нагрузок при повышенных температурах, развивающихся в месте контакта резца и массива в результате трения. При этом в виду непостоянного контакта резца с массивом создаются перепады температур, приводящие к изменениям внутренних напряжений в поверхностном слое сплава и создающие предпосылки для развития усталостных явлений. Дополнительным фактором является образование на поверхности твердых пленок окислов, имеющих сравнительно невысокие прочностные характеристики. Совмещение образования и разрушения таких пленок в определенных условиях работы резцов вызывает протекание специфичного коррозионно-механического процесса изнашивания [22].

Соблюдение скоростного режима резания горного массива также является актуальной проблемой в вопросах изнашивания инструмента.

Зачастую, при проведении проходческих работ продолжается дальнейшая эксплуатация изношенных резцов, когда поломана или вообще отсутствует твердосплавная вставка. При этом резание осуществляется державкой резца, вследствие чего действующие на инструмент усилия возрастают до двух раз [22]. В свою очередь это приводит к таким негативным явлениям, как повышение энергоемкости процесса отбойки породы, усиление динамики работы исполнительного органа, снижение производительности и ресурса проходческой машины. Поэтому резцы, достигшие такого состояния, считаются уже вышедшими из строя и требуют незамедлительной замены.

2 МЕТОДИКА И ИССЛЕДОВАНИЕ

Объектом исследования является резец для оснащения исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов, работающих по пластам калийных руд и каменной соли с сопротивлением резанию до 450 Н/мм (рисунок 2.1)

1. Микроструктура державки

2. Исследование поверхности разрушения сплава ВК8

3. Измерение твердости

4. Определение химического состава стали державки

5. Определение структурной составляющей сплава ВК8 на сканирующем микроскопе

6. Определение размера зерен твердого сплава по снимкам с электронного микроскопа

Рисунок 2.1 – Резец

2.1 Исследование резца

Изучать структуру металла с помощью микроскопа можно лишь при отражении световых лучей от поверхности исследуемого металла. Небольшой отражающей способностью обладает ровная и плоская блестящая поверхность.

Поэтому поверхность образца для микроанализа должна быть специально подготовлена. Образец, поверхность которого подготовлена для микроанализа, называется микрошлифом.

После шлифования необходимо смыть водой остатки абразива и приступить к полированию для удаления оставшихся мелких рисок. Полирование осуществляется с помощью полировального станка, состоящего из обтянутого сукном диска, смачиваемого суспензией мелкого твёрдого порошка в воде. Частота вращения круга от электродвигателя 700-800 об/мин. Во время полирования нужно постоянно смачивать диск, чтобы диск ни на секунду не был сухим, так как при этом он может окислиться и испортиться. В зависимости от материала и твёрдости образца могут применяться различные виды абразивов: оксиды алюминия, магния, хрома, пасты.

Полирование заканчивается при получении зеркальной поверхности шлифа. Образец промывается водой и быстро высушивается прикладыванием полированной стороны к фильтровальной бумаге (осторожно); касаться пальцами полированной стороны нельзя, так как это портит шлиф.

Для выявления микроструктуры полированную поверхность образца подвергают травлению. Травление производят в растворах кислот, щелочей, солей и в специальных реактивах. Однофазные структуры зерен различной кристаллографической ориентировки имеют различную степень растворения или окрашивания при воздействии реактива-травителя. На участках стыков зёрен (граница зерна) скапливается наибольшее количество примесей, концентрируются искажения решётки, и поэтому травимость увеличивается. Такая структура при рассмотрении под микроскопом будет представлять зёрна различной окраски с ясно различимыми границами.

Фазовые составляющие, протратившиеся слабо, отразят больше лучей света и будут казаться светлыми; фазовые составляющие, протравившиеся сильно, отразят вследствие рассеяния света меньше лучей и будут казаться тёмными.

Наиболее часто применяют следующий реактив для травления сталей:

а) 4 %-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте (для углеродистых сталей и чугунов);

Признаком протравления является потускнение поверхности шлифа. После травления микрошлиф промывают ватой, смоченной в спирте, а затем просушивают прикладыванием фильтрованной бумаги.

В результате травления должно быть чёткое выявление микроструктуры.

Микрошлиф представляет собой специальный образец металла, имеющий зеркальную поверхность, которая получается тщательным шлифованием и полированием.

Наиболее удобными для изготовления шлифов являются образцы цилиндрического сечения диаметром 10-55 мм. Поверхность образца вначале подвергается механической обработки, а затем подвергается шлифованию.

Шлифование проводят на наждачной шлифовальной бумаге разной зернистости, последовательно переходя от бумаги с крупным абразивным зерном к бумагам все меньшей зернистости. Чтобы получить хорошее качество подготавливаемой поверхности образца шлифование с самого начала надо вести правильно и аккуратно. После дальнейшей обработки поверхности (полирования, травления) легко растворимый металл и опилки будут удалены, и резко выступят грубые риски, которые придётся удалять повторным шлифованием.

Методика исследования микроструктуры металла

Микроскопический метод исследования металлов и сплавов или кратко микроанализ, предусматривает изучение структуры металла при помощи металлографического микроскопа. Между микроструктурой и многими свойствами металла существует достаточно определенная связь. Поэтому микроанализ имеет большое значение. Микроскопический анализ включает: приготовление микрошлифа, выявление микроструктуры (травление), исследование структуры под микроскопом. Наблюдаемая в микроскопе картина строения металла называется микроструктурой (рисунок 2.2). Микроструктура металлов и сплавов характеризуется количеством, формой и расположением фаз и размером зерна, которые влияют на механические свойства сплавов. Микроанализ

применяется для определения формы и размеров зерен, для выявления микропороков металла – микротрещин, раковин, пористости, микровключений.

Исследование микроструктуры материалов производилось на световом оптическом микроскопе Carl Zeiss axio observer с системой анализа изображений Thixomet PRO. Металлографический микроскоп позволяет изучить структуру материала, определить размер зерна, неметаллических включений, различных дефектов, измерить толщину диффузионных слоев на поверхности материала в отраженном свете с увеличениями от 50 до 1000 крат.

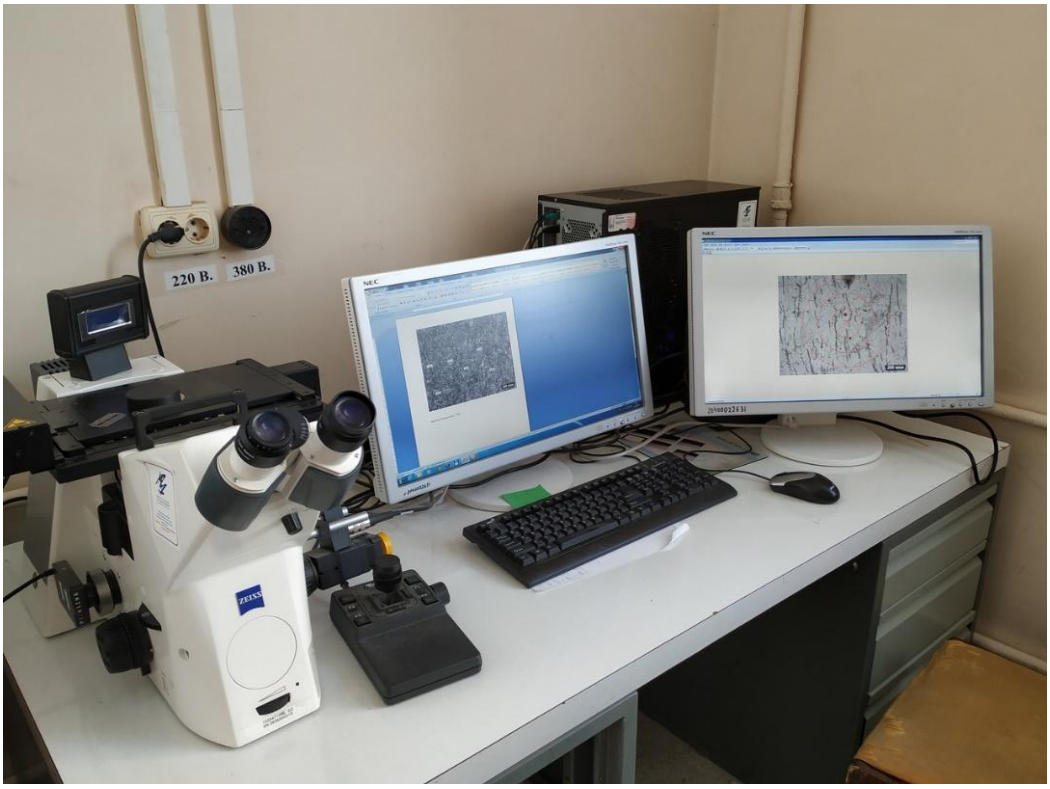


Рисунок 2.2 – Световой оптический микроскоп Carl Zeiss axio observer с системой анализа изображений Thixomet PRO

Определение твердости изделий осуществлялось по ГОСТ 20017 на приборе ТК-2 (рисунок 2.3) алмазным конусом при нагрузке 60 кГс. На каждом образце делалось 5 замеров. Разброс значений не превышал ± 2 единицы. Оценка макро- и микроструктуры проводилась в соответствии с ГОСТ 4411-79.

Результаты определения химического состава приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Химический состав державки резца

	Si	Cr	Mn	Fe
Державка резца	0,32	0,20	1,78	97,70

Рисунок 2.3 – Прибор ТК-2

Структура твердосплавных изделий (поверхность излома) исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа фирмы «JEOM JSM – 6460 LV» в основном в лучах вторичных электронов при увеличениях от 500 до 5000 раз. Химический состав частиц и связки между ними определялся на основании микро рентгеноспектрального анализа с применением специальной приставки - энерго дисперсионного анализатора фирмы «OXFORD INSTRUMENTS».

Статистическая обработка структурных данных, полученных на электронном микроскопе, проводилась затем на инвертированном микроскопе Axio Observer.Dlm (рисунок 2.4) с помощью компьютерной программы Thixomet. Промышленные испытания резцов типа РС были проведены на одном из

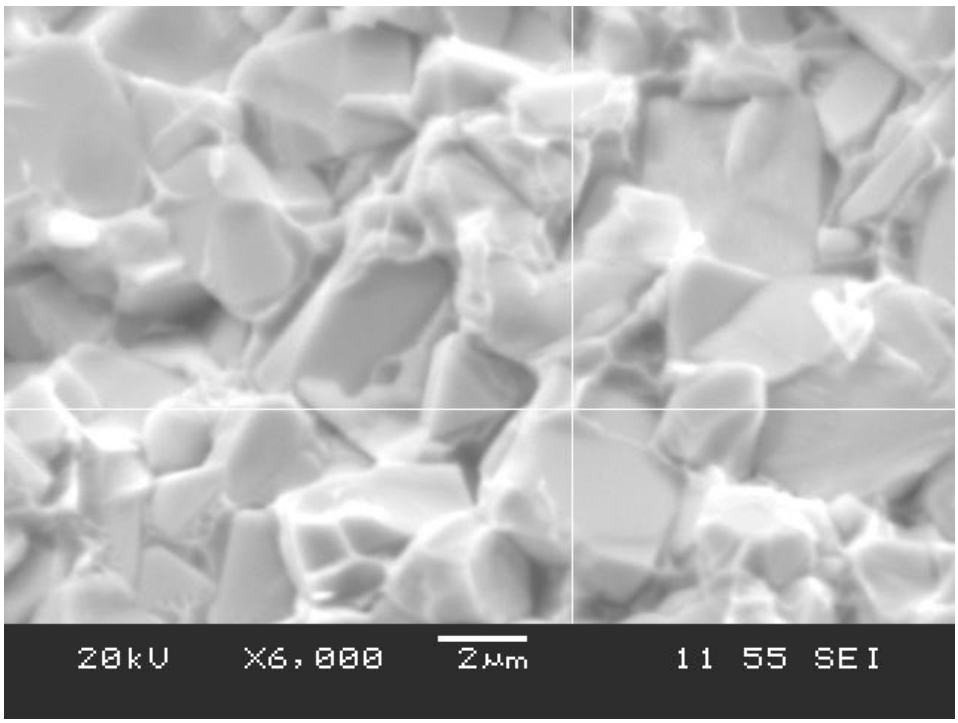
рудников ОАО «Уралкалий» на проходческо-очистных комбайнах типа «Урал-2Р».

Рисунок 2.4 – Сканирующий электронный микроскоп
фирмы «JEOM JSM – 6460 LV»

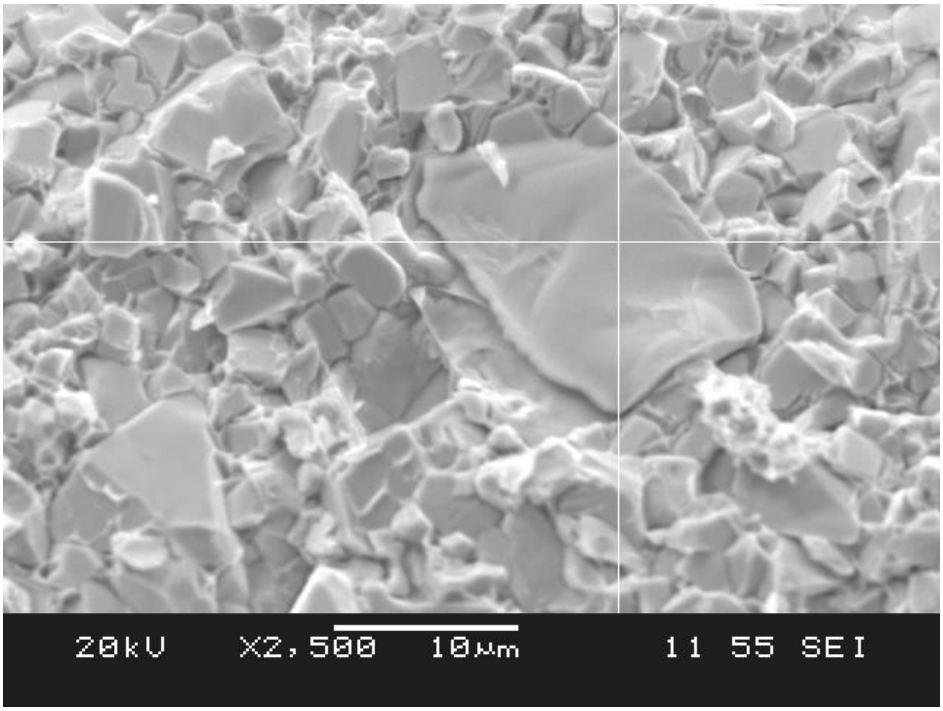
Их структура представлена частицами карбида вольфрама разных размеров и прослойками кобальтовой связки, о чем свидетельствуют данные микро рентгеноспектрального анализа. В спектрах рентгеновских отражений, снятых с участков, отмеченных белыми перекрестиями, присутствуют линии основных элементов – Co и W (рисунки 2.6 а, б). В изломах при электронно-микроскопическом исследовании не наблюдались расслоения (рисунок 2.5, 2.7). Не обнаружено также выделений графита (рис. 2.5, 2.7). Изредка встречаются темные поры размером 1,37–2,09 мкм, которые разрешаются при больших увеличениях (рисунок 2.8).

Таблица 2.2 – Твердость (HRA) исследованных вставок

Изделие	Твердость по ГОСТ 3882-74	
	A	
Вставка для резца РС14 (Сплав ВК8)	87	88

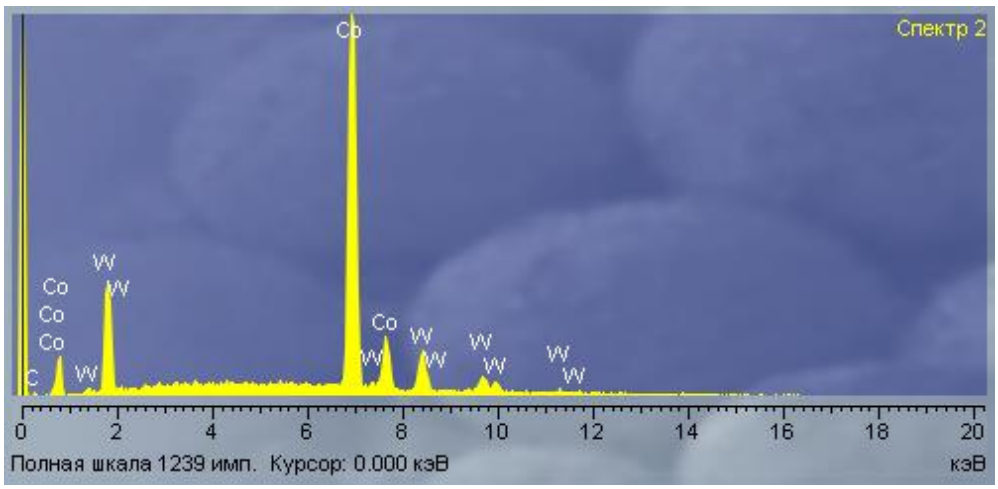


а)

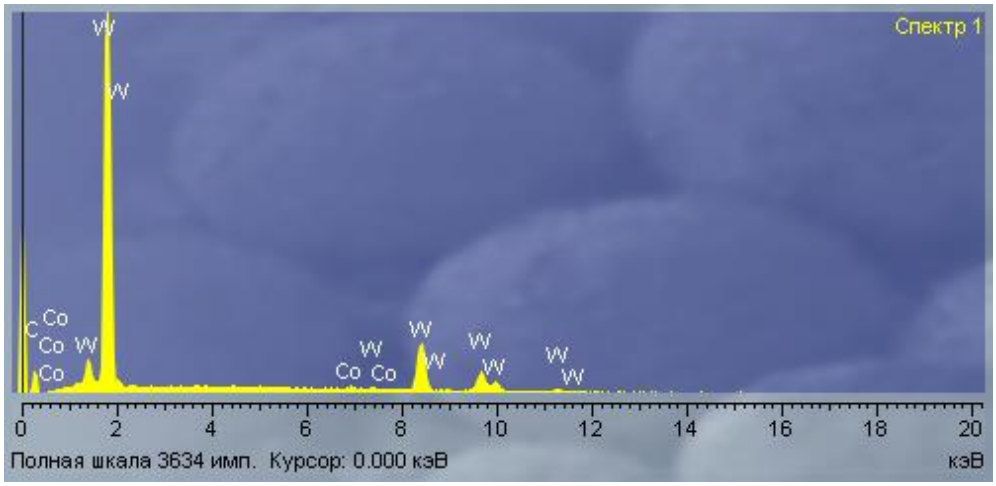


б)

Рисунок 2.5 – Отмечены перекрестием кобальтовая связка (а) и карбид (б), с которых сняты спектры.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Рентгеновские спектры, снятые с прослойки кобальтовой связки (а) и карбидной частицы (б)

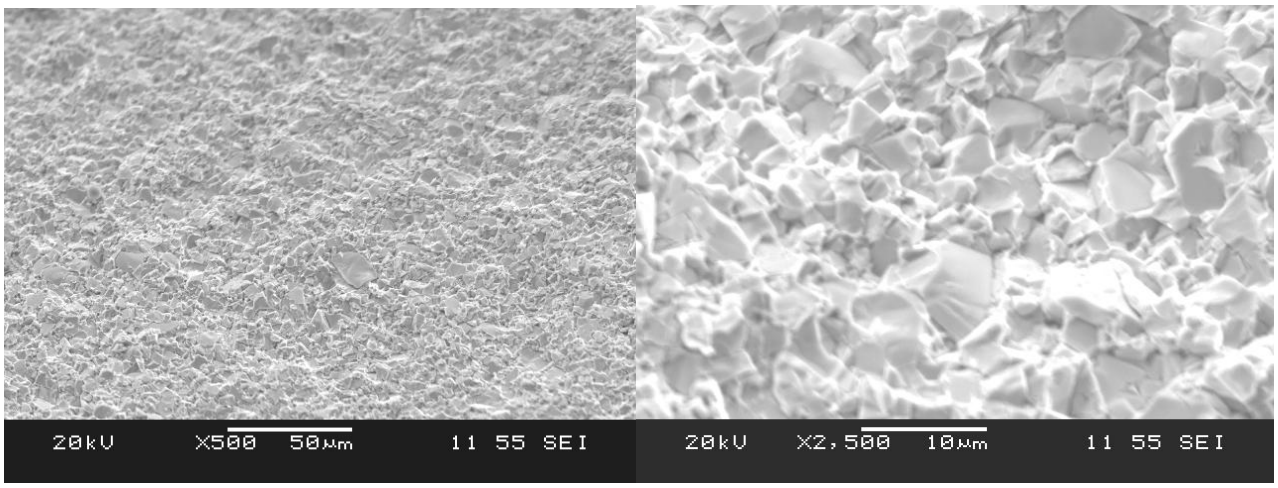


Рисунок 2.7 – Строение изломов вставок сплава ВК8

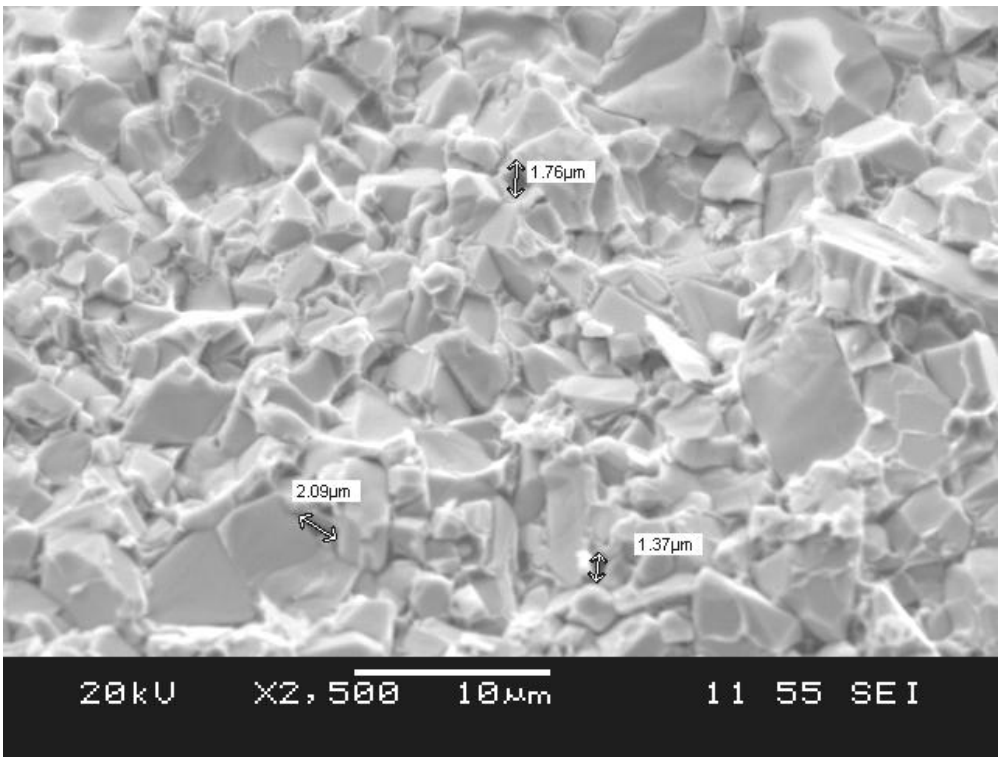
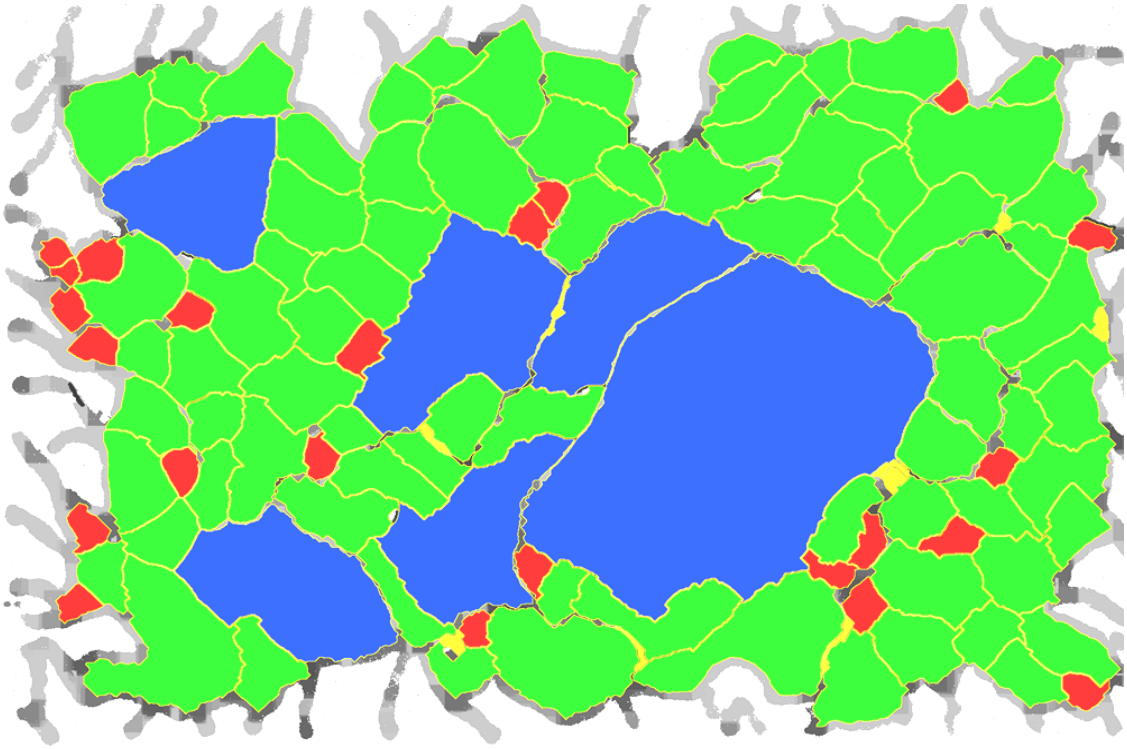


Рисунок 2.8 – Темные поры и их размеры

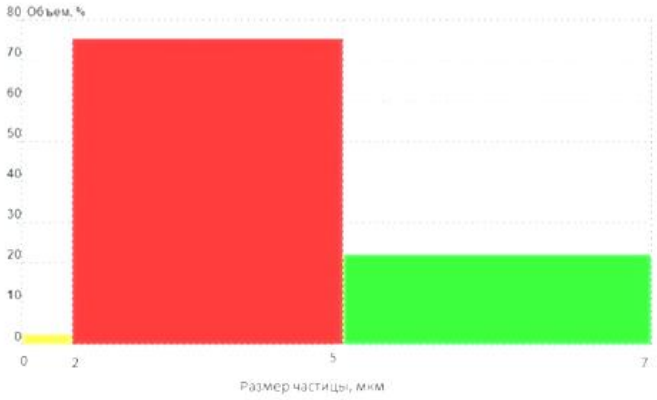
Для оценки размеров карбидных частиц проводили съемку при больших увеличениях (х 2500), используя до 10 полей зрения, так чтобы в них попадали частицы разных размеров. Примеры изломов, подвергавшихся статистической обработке, приведены на рисунке 2.7.

На основании анализа микроструктур определялись размеры карбидов с помощью специальной программы Thixomet. На рис. 2.10 (а) показаны результаты распределения частиц согласно их размерам в одном из ранее приведенных полей зрения: зерна раскрашены по-разному в соответствии с их диаметром. Ниже (рисунок 2.10(б)) приводится гистограмма распределения зерен по их размерам.

Статистические данные распределения по размерам карбидных частиц в изученных материалах в сравнении с требованиями ГОСТ 4411-79 приведены в таблице 2.3.



а)



б)

Рисунок 2.10 – Распределение карбидных зерен по размерам в одном из полей зрения твердого сплава серии А.

Таблица 2.3 – Характеристика микроструктуры (WC) вставок из сплава ВК8 разных производителей.

Изделие	Сплав	Основное количество зерен		Крупные зерна	
		Величина, мкм	Количество, % не менее	Величина, мкм	Количество, % не более
А	ВК8	1-2	50/**59**	6-20	10/**9**

Числитель – по ГОСТ 4411-79, знаменатель – результаты исследования.

Промышленные испытания резцов разных серий проводились на одном из рудников ОАО «Уралкалий» на проходческо-очистных комбайнах типа «УРАЛ-2Р», работающих по пластам калийных руд и каменной соли, по программе и методике, составленных на основании требований ГОСТ Р 51047-97 и РД12.25.144-89 [16, 23].

Испытания проводились на резцах разных серий, при этом установка резцов производилась на режущие диски через один. Основные параметры и размеры резцов типа РС-14 приведены в таблице 2.4. Замена образцов осуществлялась после потери резца или полного износа твердосплавной вставки, а также в результате изгиба или поломки державки. В период испытания замена потерянных или вышедших из строя резцов резцами другого типа не проводилась.

Таблица 2.4 – Химический состав державки резца

Наименование основных параметров	Норма		
	А	В	С
Длина резца, мм	105		
Диаметр твердосплавного изделия, мм	14		
Угол заострения, град.	60		
Посадочный диаметр державки	25		
Материал державки	Сталь 35ХГСА		
Материал твердосплавной вставки	ВК8		
Масса резца, кг	0,35		

Сопоставляя результаты испытаний с характеристиками микроструктуры твердосплавных вставок, следует заметить, что стойкость породоразрушающего инструмента в значительной мере определяется массовой долей карбидной фазы определенной крупности и количеством наиболее крупных зерен. Наличие

значительного количества крупных карбидных частиц способствует снижению стойкости инструмента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Параметры твердых вставок из ВК8 близки к требованиям ГОСТ Р 51047-97. В результате исследования химического состава державки резца следует, что сталь близка к 35Г2. В результате испытания установлено, что наиболее износостойкими оказались резцы партии А, расход которых составил 66 шт. на 1000 т породы. Сопоставляя результаты испытаний с характеристиками микроструктуры твердосплавных вставок, следует заметить, что стойкость породоразрушающего инструмента в значительной мере определяется массовой долей карбидной фазы определенной крупности и количеством наиболее крупных зерен. Наличие значительного количества крупных карбидных частиц способствует снижению стойкости инструмента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балаба, В.И. Буровой породоразрушающий инструмент: учебное пособие для вузов / В.И. Балаба, И.К. Бикбулатов, Г.И. Вышегородцева и др. – Москва: издательство: Национальный институт нефти и газа, 2013. – 245 с.

2. Мавлютов, М.Р. Разрушение горных пород при бурении скважин. / М.Р. Мавлютин. – М.: Недра, 1978. – 215 с.

3. Попов, А.Н. Разрушение горных пород: курс лекций / А.Н. Попов. – Уфа: изд-во Уфимского гос. нефтяного технического ун-та, 2009. – 152 с.

4. Баклашов, И.В. Механика горных пород. / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия. – М.: Нед-ра, 1975. –271 с.

5. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер. – 2-е изд.: М.: Металлургия, 1975. – 584 с.

6. Гуляев, А.П. Металловедение: учебник / А.П. Гуляев. М. изд-во Металлургия, 1977. – 650 с.

7. Самсонов, Г. В. Карбиды вольфрама / Г.В. Самсонов, В.К. Витрянюк, Ф. И. Чаплыгин. – Киев: Наукова думка, 1974. – 176 с.

8. Скороход, В. В. Порошковые материалы на основе тугоплавких металлов и соединений / В. В. Скороход. – Киев: Техника, 1982. – 167 с.

9. Логинов, Ю.Н. Технология производства заготовок из твердых сплавов. Издание УПИ Свердловск, 1984. – 167 с. 53.

10. Иванов, А.А. Распространение и типы ископаемых месторождений калийных солей, «Геология рудных месторождений», 1959, № 4.

11. Патент RU 2 095 568 C1 Российская федерация, Режущая коронка горного комбайна / Л.Б. Глатман, И.А. Леванковский, С.И. Мультанов, Г.П. Середняков, А.В. Толстов

12. ГОСТ 4411-79. Изделия твердосплавные для горного инструмента. – 7 с.

13. Крапивин, М.Г. Горные инструменты / М.Г. Крапивин, И.Я. Раков, Н.И. Сысоев. – М.: Недра, 1990. – 256 с.

14. Бобров, В.Л. Повышение износостойкости тангенциальных резцов проходческих комбайнов совершенствованием термической обработки при их изготовлении: дис. канд. техн. наук: 05.05.06 / Бобров Владимир Леонидович. – СПб., 2012. – 128 с.

15. Протасов, Ю.И. Разрушение горных пород. 3-е изд., стер. / Ю.И. Протасов. М.: Изд-во МГГУ, 2002. – 453 с.

16. ГОСТ Р 51047-97. Резцы для очистных и проходческих комбайнов.

17. Грабский, А.А. Повышение износостойкости поворотных резцов / А.А. Грабский. Механизация горных работ: Межвуз. сб. – Кемерово: КузПИ, 1986. – С. 63–65.

18. Крапивин, М.Г. Горные инструменты / М.Г. Крапивин, И.Я. Раков, Н.И. Сысоев. – М.: Недра, 1990. – 256 с.

19. Горбатов, П.А. Горные машины для подземной добычи угля. / П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкин, Н.М. Лысенко, С.В. Павленко, В.В. Косарев. – Донецк: ДонНТУ, – 2006. – 669 с.

20. Любощинский, Д.М. Разрушение углей исполнительными органами выемочных машин / Д.М. Любощинский, Е.З. Позин, Ю.Н. Казак. – М.: Госгортехиздат, I961. – 220 с

21. Леванковский, И.А. Расчет износостойкости поворотных резцов при работе проходческих комбайнов. / И.А. Леванковский // Разрушение горных пород и композиционных материалов поворотными резцами: Сб. научных трудов. М.: АГН. 1998. – Вып.1. – С.110–128.

22. Хорешок, А.А. Производство и эксплуатация разрушающего инструмента горных машин: монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, и др.// Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 296 с.