



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

(НИТУ «МИСиС»)

Ленинский проспект, 4, стр.1, Москва, 119049

Тел. (495)955-00-32; Факс: (499)236-21-05

<http://www.misis.ru>

E-mail: [kancela@misis.ru](mailto:kancela@misis.ru)

ОКПО 02066500 ОГРН 1027739439749

ИНН/КПП 7706019535/ 770601001

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям,

доктор технических наук, профессор

М. Р. Филонов



2022 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Жадяева Александра Александровича по теме: «Повышение трещиностойкости твердых сплавов в производстве буровых шарошечных долот», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение

Диссертационная работа Жадяева А.А. посвящена решению научно-технической задачи, имеющее важное значение для породоразрушающего инструмента, применяемого в бурении нефтегазовых скважин, горнорудной промышленности, на добыче полезных ископаемых, при разведочном бурении и т.д.: повышению качества, эксплуатационной надежности и долговечности инструмента, а также улучшению технологии производства.

### Актуальность темы исследования

Современная разработка и строительство нефтяных и газовых скважин характеризуется непрерывным ростом силовых и скоростных режимов бурения, которое прямо зависит от надежности основного породоразрушающего инструмента – буровых шарошечных долот. Первостепенную роль в увеличении надежности играет повышение механических и эксплуатационных свойств породоразрушающих элементов долота – твердосплавных зубков. Практика применения буровых долот показывает, что основным видом повреждения твердосплавных зубков является их разрушение за счёт скола при повышенных или даже нормальных энергиях удара по забою. В связи с этим важной задачей в их производстве является повышение вязкости разрушения, то есть трещиностойкости породоразрушающего вооружения долот. Острая рыночной конкуренция, а также нынешняя политическая обстановка и ограничительные экономические меры, введённые недружественными

государствами и международными организациями в отношении Российской Федерации требуют развития собственного производства бурового инструмента высокого качества, важнейшим из которых является долговечность буровых долот, их способность эффективно и надежно без аварий работать при бурении, а также соответствие заявленным характеристикам и приемлемой стоимости инструмента.

В связи с этим не вызывает сомнения актуальность диссертационной работы Жадяева А.А., посвященной определению свойств исходного порошкообразного сырья и условий синтеза, влияющих на ухудшение трещиностойкости твердосплавного вооружения буровых долот; разработка технологических мероприятий по увеличению ударной вязкости (трещиностойкости) твердосплавных зубков, обеспечению их высокой работоспособности в условиях эксплуатации; анализ параметров порошкового сырья (вольфрама и кобальта) различных производителей.

#### **Научная новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Исследовано влияния производственных факторов на микроструктуру и трещиностойкость вольфрамокобальтовых твердых сплавов в производстве буровых шарошечных долот. Установлены причины и разработаны мероприятия, не допускающие появление в твердосплавных изделиях критических дефектов. Определены возможности повышения трещиностойкости твердосплавных зубков с помощью изменения условий приготовления смеси порошков, прессования и спекания изделий, получения на выходе высококачественной продукции. Проведен сравнительный анализ физико-механических и технологических свойств покупных гранулированных твердосплавных смесей и зубков импортного производства, и аналогичной продукции АО «Волгабурмаш», и сделаны выводы по целесообразности их применения для обеспечения повышенной трещиностойкости твердосплавных зубков при приемлемой стоимости.

#### **Практическая значимость полученных автором результатов диссертационной работы**

Внедрен легирующий элемент  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  марки КХНП2 в состав сплава ВК15С, который позволил нормализовать микроструктуру сплава, минимизировав дефекты и тем самым повысить физико-механические свойства и трещиностойкость сплава. Для изготовления зубков, применяемых в качестве армирующих элементов долота подверженных сильному истирающему износу,

сплав ВК6С определен как основной, так как он обладает требуемыми свойствами и микроструктурой. Разработана новая конструкция пресс-оснастки, позволившая снизить плотность прессования. Это позволило: снизить нормы расхода дорогостоящих материалов - порошков карбида вольфрама и кобальта на 2-3%; повысить ресурс шлифовальных кругов станков на 25%; снизить трудоемкость изготовления продукции. Исследована целесообразность применения покупных гранулированных смесей и спечённых зубков в качестве основных материалов для производства твердосплавного вооружения буровых шарошечных долот в АО «Волгабурмаш». Полученные в результате диссертационной работы данные по трещиностойкости используются как альтернативные для прогнозирования полученных свойств и принятия решений о пропуске в дальнейшее производство серийной продукции с отклонениями по микроструктуре или физико-механическим свойствам. В целом результаты исследований использованы для повышения качества выпускаемой продукции АО «Волгабурмаш».

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Результаты и выводы диссертации можно рекомендовать для использования не только при производстве твердосплавных зубков и комплектующих буровых шарошечных долот, как следует из представленного в приложении к диссертации акта о внедрении в АО «Волгабурмаш», но и для производства других твердосплавных изделий машиностроительного назначения, например, режущих и штамповых инструментов, износостойких деталей и т.д., а также в технических вузах при подготовке бакалавров и магистров машиностроительных и металлургических специальностей.

#### **Публикации и апробация основных положений работы**

Основные результаты диссертации достаточно полно изложены в 18 научных работах, включающих 3 публикации в изданиях из перечня ВАК, 3 публикации в изданиях, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science, 14 тезисов и докладов в сборниках трудов конференций. Основные положения работы, выносимые на защиту, прошли апробацию и докладывались на 8 международных и 1 всероссийской конференциях.

#### **Содержание диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, выводов, списка использованных источников, который включает 184 наименования.

Диссертация изложена на 223 страницах и содержит 102 рисунка, 70 таблиц, 5 формул и 6 приложений.

**Во введении** обосновывается актуальность диссертационной работы, обозначаются цель и задачи исследований, отражена научная новизна работы и её практическая значимость. Излагаются основные положения, выносимые на защиту. Приводятся сведения об апробации работы и публикациях, структуре и объеме диссертации.

**Первая глава** представляет обзор отечественной и зарубежной литературы, описывающий историю появления твердого сплава (ТС), классификацию, марки, технология изготовления и области применения. Представлены описания буровых долот и их видов, причины их аварийного разрушения. Приведены типичные дефекты сплавов WC-Co с указанием причин их появления и влияния на свойства изделия. Приведен обзор актуальных публикаций и патентов, посвященных исследованию трещиностойкости вольфрамкобальтовых сплавов, а также твердосплавным отходам производства.

**Во второй главе** дано описание применяемых в диссертации материалов. Определены и изложены методики проведения исследования технологических и физико-механических свойств изделий, описано лабораторное и технологическое оборудование, используемое в данной работе. Приведены характеристики исходного сырья: карбида вольфрама, кобальта и вспомогательных материалов, применяемых при изготовлении твердосплавных зубков. Основное внимание в диссертации уделено определению значений физико-механических свойств при исследовании качества спеченного твердого сплава: трещиностойкости, твердости, предела прочности при поперечном изгибе, коэрцитивной силы.

**Третья глава** заключается в исследовании влияния типичных дефектов структуры на физико-механические свойства и трещиностойкость твердых сплавов WC-Co, используемых в производстве твердосплавного вооружения буровых шарошечных долот. Проблема неоднородности структуры ТС внутри одной партии изделий вызывает резкое снижение прочностных свойств инструмента таких как прочность на поперечный изгиб, твердость и трещиностойкость. Отклонение может возникнуть на любом этапе производства. Типичными для данного сплава являются следующие отклонения: крупные кристаллы карбида вольфрама и их скопления, компаундирование (скопление кобальта ( $\beta$ -фазы)), пористость, свободный углерод, сегрегация WC,  $\eta$ -фаза (двойной карбид  $W_3Co_3C$ ). По результатам

исследований в данном разделе произведено сравнение физико-механических свойств сплавов с дефектами и без отклонений (серийные сплавы). Получены изображения микроструктуры поверхности образцов сплава WC-Co с дефектами. Разработана и внедрена в техническую документацию АО «Волгабурмаш» методика исправления дефекта η-фаза путем нормализующего спекания в засыпке с добавлением углерода.

**В четвертой главе** рассматривается влияние условий приготовления состава гранулированного твердосплавного порошка и его формования на свойства твёрдосплавных изделий. На каждой производственной операции есть параметры, изменение которых может в той или иной степени повлиять на процесс изготовления твердосплавного вооружения. В результате исследований, приведенных в данной главе, установлено оптимальное время размола и смешения исходного сырья, определено оптимальное содержание пластификатора в твердосплавной смеси, исследована возможность нормализации микроструктуры ТС и избавления от критических дефектов при добавлении легирующей добавки  $Cr_3C_2$  и изменении состава сплава. Благодаря нормализации структуры сплава VK15C и увеличению его трещиностойкости, произведено уменьшение диаметра оснастки и плотности прессования заготовки, что привело к снижению нормы расходов дорогостоящих материалов на 2-3%, повышению ресурса алмазных шлифовальных кругов на 25% и снижению затрат времени на изготовление продукции.

**В пятой главе** проводится анализ влияния условий спекания на физико-механические свойства и трещиностойкость твердосплавных зубков буровых шарошечных долот. Изменение условий спекания позволяет в полной мере и в большом диапазоне параметров воздействовать на формирование микроструктуры, физико-механические свойства, в том числе и трещиностойкость, твердосплавных изделий. По результатам исследований, приведенным в данном разделе, можно сделать следующие выводы. Определено влияние изменения температуры спекания на твердый сплав, на основании которых установлены оптимальные температурные режимы для спекания зубков. Исследовано влияние давления спекания, установлено, что повышение давления положительно влияет на формирование структуры ТС, однако это увеличивает нагрузку на вакуумные узлы, приводит к быстрому износу оборудования. Определено влияние среды спекания, такой как спекание с депарафинизацией в среде водорода, или спекание по полному циклу совместно с депарафинизацией в среде смеси газов водорода и природного газ  $CH_4 + H_2$ , или спекание в нормализующей засыпке с добавлением технического

углерода. Все эти условия в той или иной мере позволяют влиять на структуру и свойства сплава. Проведена работа по возможности создания функционального градиентного сплава на производстве АО «Волгабурмаш». Оптимальные результаты по градиенту параметров трещиностойкости и твердости получены при спекании в нормализующей засыпке с добавлением углерода, однако в настоящий момент на имеющемся оборудовании на предприятии промышленное производство градиентных твердых сплавов не осуществляется.

**В шестой главе** представлен анализ и подробное сравнение микро- и макроструктуры, физико-механических, химических и технологических свойств покупных твердосплавных смесей и спеченных зубков различных производителей и аналогичной продукции собственного производства АО «Волгабурмаш».

В результате сравнительных исследований структур и свойств гранулированных твердосплавных смесей и спеченных твердосплавных зубков различных производителей с учетом стоимости, и сроков поставки можно сделать выводы о том, что все исследованные покупные твердосплавные зубки по физико-механическим свойствам соответствуют стандарту предприятия АО «Волгабурмаш» и могут быть использованы для комплектования буровых шарошечных долот с некоторыми нюансами, однако смеси и зубки собственного производства имеют меньше недостатков.

Также исследованы микроструктура и физико-механические свойства зубков сплава WC-10%Co с отработанного долота АО «Волгабурмаш» и отработанного долота импортного производства. Результаты анализа зубков обоих долот показали схожее снижение прочностных характеристик сплава, вызванных выщелачиванием (удалением) из структуры сплава связующего в результате воздействия высоких ударных и абразивных нагрузок, высоких температур и влияния агрессивных сред при работе долота, а также возникновения внутренних напряжений в сплаве. По результатам исследований видно, что твердосплавное вооружение собственного производства не уступает импортному по характеристикам даже после работы под нагрузкой.

**В заключении** представлены выводы по полученным результатам работы.

**Перечисленные и сформулированные в диссертации научные результаты, положения, выводы и рекомендации, являются обоснованными, достоверными и уникальными.** Они имеют важное значение для науки и практики, а также для предприятия АО «Волгабурмаш» и

внедрены в производство. Работа выполнена на высоком научном уровне, с использованием современных методов и оборудования, является завершенной в целом, и технически грамотно оформленной. Основные результаты диссертации опубликованы в российских и зарубежных научных изданиях, докладывались на различных конференциях. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

**В приложении А** представлен акт о внедрении результатов диссертационной работы на производстве АО «Волгабурмаш». Во всех последующих приложениях приведены более подробные технологические документы, подтверждающие пункты акта.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, выводов и заключений, приводимых в диссертационной работе Жадяева А.А., подтверждается использованием современного оборудования и аттестованных методик исследований, значительным количеством экспериментальных данных и применением статических методов обработки результатов, сопоставлением полученных результатов с результатами других авторов.

#### **Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертационным работам**

Все предъявляемые к диссертационным работам требования были выполнены. На основании проведенного подробного анализа литературных данных, относящихся к теме работы, были, верно, сформулированы цели и задачи исследования. Эксперименты проведены в соответствии с утвержденными методиками, результаты сформулированы четко, как в виде аналитических таблиц, фотографий микроструктур и графиков, а также текста, описывающего результаты. Работа написана ясным, техническим языком, подробно иллюстрирована. Диссертация и автореферат содержат необходимые разделы и соответствуют друг другу.

#### **Замечания по диссертационной работе**

По содержанию диссертации Жадяева А.А. возникли следующие замечания.

1. В главе 2 не объяснено, почему в качестве легирующей добавки использовался только карбид хрома  $Cr_3C_2$  марки КХНП2 ТУ 14-22-28-90, а не другой марки.

2. В главе 3 представлены результаты исследования влияния типичных дефектов структуры на физико-механические свойства и трещиностойкость ТС, однако не рассмотрена возможность их идентификации

неразрушающим методом контроля, таким, например, как магнитное насыщение.

3. Представленные в главе 4 исследования по изменению времени смешивания, количества пластификатора и добавления легирующей добавки проводились на одной марке сплава, а не на трех, применяемых на предприятии.

4. В главе 5, которая посвящена исследованию влияния условий спекания на физико-механические свойства и трещиностойкость вольфрамокобальтового сплава, не представлены результаты исследований по одновременному изменению параметров спекания, таких как давление и температура. Также не до конца проведены исследования по созданию серийных градиентных сплавов.

5. В главе 6 проведен анализ и сравнение микро- и макроструктуры, физико-механических, химических и технологических свойств стандартных твердосплавных смесей и спеченных зубков различных производителей между собой и с характеристиками твердосплавных смесей и спеченных зубков собственного производства АО «Волгабурмаш». Однако не представлены данные о сравнительной стойкости буровых долот, оснащенных импортными зубками и зубками производства АО «Волгабурмаш», в условиях промышленной эксплуатации.

### **Заключение**

Указанные замечания не снижают значимость выполненной на высоком научном уровне диссертационной работы, результаты которой соответствуют поставленным целям и внедрены в производство.

В целом диссертационная работа Жадяева А.А. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения и разработки по повышению трещиностойкости твердых сплавов в производстве буровых шарошечных долот, имеющие существенное значение для развития страны.

По объему полученных результатов и научной значимости диссертационная работа Жадяева А.А. удовлетворяет всем требованиям, в том числе п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 2.6.17. (06.16.09) Материаловедение (машиностроение) по пунктам 1 и 4, а её автор, Жадяев



Александр Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Отзыв составлен на основании анализа диссертации, автореферата, публикаций Жадяева А.А. и ее обсуждения на объединенном заседании кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий (ПМиФП) и Научно-учебного центра СВС МИСиС-ИСМАН (НУЦ СВС) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национально исследовательский технологический университет «МИСиС» (протокол № 4 от «18» октября 2022 г.).

Заведующий кафедрой ПМиФП,

Директор НУЦ СВС,

доктор технических наук

(01.04.17 – Химическая физика горения и взрыв

профессор

  
Евгений Александрович Левашов

Старший преподаватель,

Ученый секретарь кафедры

научный сотрудник НУЦ СВС

кандидат технических наук

(05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

  
Марина Яковлевна Бычкова

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования «Национально исследовательский технологический

университет «МИСиС», 119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4, стр.1

Тел.: 7 (495) 638-45-00, Факс: 7 (499) 236-52-98, E-mail: [bychkova@shs.misis.ru](mailto:bychkova@shs.misis.ru)



Подпись

заверяю

Зам. начальника

отдела кадров МИСиС



Кузнецова А.Е.

«19» 10 2022 г.