

ОТЗЫВ

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

К защите представлена диссертационная работа в объеме 223-х страниц печатного текста, 70-ти таблиц и 102-х рисунков. Работа состоит из введения, 6-ти глав, выводов, списка использованной литературы из 184-х наименований и 6-ти приложений.

1. Актуальность темы диссертации

Европейский рынок твердых сплавов занимает примерно 30 % рынка промышленного производства порошковой металлургии. На долю деталей режущего и бурового инструмента приходится 28 %. Твердые сплавы представляют собой композиционные материалы, в структуре которых содержатся одна или несколько твердых упрочняющих фаз и пластичное металлическое связующее, обеспечивающее повышение вязкости композита.

Развитие горнодобывающей отрасли промышленности связано с необходимостью повышения эксплуатационных характеристик инструмента. Эксплуатационная надежность и долговечность твердых сплавов в значительной мере определяются показателями их износо- и трещиностойкости. В настоящее время при практическом использовании изделий значимыми являются не только абсолютные значения физико-механических и функциональных характеристик, но и их стабильность, обеспечивающая воспроизводимость свойств и робастность технологического процесса. Несмотря на то, что вольфрамкобальтовые твердые сплавы, являющиеся объектом исследования диссертации Жадяева А.А., известны и поставляются на мировой рынок примерно 100 лет, многие вопросы, связанные с робастностью технологического процесса их производства и стабильностью показателей качества не решены.

Стабильность механических свойств материалов в значительной мере определяет возможность их применения при получении деталей различного назначения. Значимость этого фактора возрастает в случае производства изделий, подверженных воздействию динамических, усталостных, статических и изнашивающих нагрузок. Низкой стабильностью механических свойств характеризуются хрупкие материалы, что связано с неоднородностью и дефектностью структуры, обусловленных нестабильностью технологических процессов их получения. Считается, что увеличение вязкости и трещиностойкости обеспечивает повышение стабильности свойств, так как множественный характер распространения трещин хрупкого разрушения зачастую носит случайный, непрогнозируемый характер. Однако в ряде материалов зависимость стабильности механических свойств от

трещиностойкости носит нетривиальный характер. В частности, в метастабильных аустенитных сталях мероприятия, направленные на увеличение абсолютных значений показателей трещиностойкости (увеличение степени деформации), провоцируют снижение стабильности механических свойств. Напротив, легирование, снижая абсолютные значения трещиностойкости, увеличивает их стабильность [Bhandarkar D., Zackay V. F. and Parker E. R. Stability and Mechanical Properties of Some Metastable Austenitic Steels // Metallurgical Transactions. 1972. Vol.3 P. 2619-2631]. Это свидетельствует о необходимости применения дифференцированного подхода и проведения специальных исследований по изучению зависимости стабильности механических свойств от трещиностойкости для конкретного материала.

Поскольку стабильность функциональных свойств является важной характеристикой качества буровых долот, изготавливаемых из твердых сплавов, то с учетом вышеизложенного тема диссертационной работы Жадяева А.А., направленной на повышение трещиностойкости твердосплавных зубков для буровых долот за счет оптимизации условий структурообразования на различных технологических этапах их получения, несомненно, является актуальной.

2. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Диссертантом на основе анализа обширной отечественной и зарубежной научно-технической литературы в области темы исследований изучены факторы, влияющие на формирование микроструктуры и физико-механических свойств вольфрамкобальтовых твердых сплавов. Библиографический список состоит из 184-х источников.

Для обоснования научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы диссертантом использованы фундаментальные знания в области порошкового и композиционного материаловедения, теории прессования и спекания порошковых материалов. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обуславливаются применением апробированных методик исследований. При проведении исследований использовалось современное сертифицированное научно-исследовательское оборудование для исследования физико-механических свойств образцов, их микроструктуры, химического и фазового состава. Полученные в работе теоретические результаты и расчеты достоверны, согласуются с данными экспериментальных исследований. Результаты исследований представлены в таблицах, графиках, иллюстративном материале.

Кроме того, достоверность результатов проведенных исследований подтверждается достаточным количеством публикаций в различных научных

изданиях, широкой апробацией на международных научно-технических конференциях.

Заключительные выводы основаны на результатах, приведенных в диссертационной работе.

3. Новизна результатов

Полученные в диссертации научные результаты обладают новизной. В этом плане следует отметить, прежде всего, выявленные автором механизмы влияния типичных дефектов вольфрамокобальтовых твердых сплавов, применяемых в производстве буровых шарошечных долот, на трещиностойкость и другие физико-механические и эксплуатационные свойства:

– дефект «Крупные кристаллы карбида вольфрама и их скопления» провоцирует развитие хрупкого разрушения смешанного типа – транс- и интеркристаллитного, которое локализуется, соответственно, в крупных частицах карбида вольфрама и в скоплениях этих частиц;

– дефект «Компаундирование (Скопление β -фазы)» обуславливает формирование структуры с высокой степенью неоднородности, характеризующейся наличием «кобальтовых озер» с высоким содержанием кобальта, а также участков, обедненных кобальтом, являющихся очагами зарождения трещин и провоцирующих развитие хрупкого интеркристаллитного разрушения;

– дефект «Пористость и свободный углерод» обуславливает отсутствие связующего в соответствующих участках структуры сплава, что приводит к выкрашиванию зерен карбида вольфрама при нагружении;

– дефект « η -фаза (двойной карбид W_3Co_3C)» является низкоуглеродистой структурной составляющей сплава с пониженными характеристиками прочности, что обуславливает уменьшение последних в макрообъеме композиционного материала;

– дефект «Сегрегация WC» характеризуется наличием в структуре тонких прослоек кобальта, не обеспечивающих возможность торможения разрушения и провоцирующих развитие скола.

Анализ причин формирования дефектов в вольфрамокобальтовых твердых сплавах и выявление механизмов разрушения материалов с дефектами позволил автору предложить комплекс мероприятий по минимизации условий их формирования и повышения функциональных свойств. При этом также были получены результаты, имеющие признаки научной новизны.

Установлены технологические режимы нормализующего спекания, минимизирующего риск формирования дефектов « η -фаза» и «свободный углерод». Выявлено, что введение в состав твердого сплава ВК15С добавок

карбида хрома Cr_3C_2 обеспечивает возможность повышения трещиностойкости с 22,3 до 23 $\text{МН}\cdot\text{м}^{-3/2}$ за счет замедления роста зерна и снижения степени гетерогенности материала.

Задачи повышения эксплуатационных свойств твердых сплавов и создания робастной технологии их производства диссертантом решались комплексно. Автор вполне обоснованно (см. выше) пришел к выводу о необходимости оптимизации режимов проведения отдельных технологических этапов. В частности, с учетом установленного немоного характера зависимости трещиностойкости сплава ВК10С от времени проведения смешивания-размола исходных компонентов, связанного со сменой механизма процесса с размола на смешивание определено оптимальное время проведения данной операции (9 ч), что обеспечило повышение трещиностойкости с 17,1 (для образцов, полученных по стандартной технологии) до 18,3 $\text{МН}\cdot\text{м}^{-3/2}$.

Установлены оптимальные режимы спекания зубков из сплавов ВК15С и ВК10С при температурах, выше стандартных, что обеспечило, несмотря на некоторое увеличение размеров зерен карбида вольфрама, распространение трещины по межфазной области (по связке) и увеличение показателей трещиностойкости материала за счет этого: с 19 до 23 $\text{МН}\cdot\text{м}^{-3/2}$.

4. Значимость для науки и практики полученных результатов

Значимость для науки и практики диссертационной работы Жадяева А.А. заключается в том, что автором предложен оригинальный способ получения вольфрамокобальтовых твердых сплавов с повышенными в сравнении известными материалами характеристиками трещино- и износостойкости. Отличительная особенность способа заключается в проведении технологического процесса получения твердых сплавов при оптимальных, установленных в работе режимах, минимизирующих структурные условия формирования дефектов. Считаю очевидным, что способ может быть применим при получении не только некоторых других марок твердых сплавов, но и композитов с карбидным упрочнением. Указанное обстоятельство представляется значимым для науки и практики порошкового и композиционного материаловедения.

Значимым в научном плане является также предложенный автором метод ингибирования роста зерна твердого сплава ВК15С за счет введения добавок карбида хрома, что позволило увеличить трещиностойкость. Очевидна перспективность использования этого метода при получении других марок твердых сплавов. Можно с достаточной степенью обоснованности утверждать, что именно использование добавок карбида хрома, ингибирующих рост зерен твердого сплава, в значительной мере повышает робастность технологического процесса

Автором разработаны также практические рекомендации по минимизации вероятности формирования дефектов при получении вольфрамокобальтовых твердых сплавов. Показана и доказана возможность промышленного производства твердых сплавов и изделий на их основе с повышенными

характеристиками трещино-, износостойкости и эксплуатационной долговечности, что служит свидетельством практической значимости результатов диссертационной работы, которые имеют перспективы более широкого применения при производстве деталей горнодобывающего оборудования. Результаты работы внедрены в АО «Волгабурмаш» (г. Самара) при производстве твердых сплавов для изготовления твердосплавного вооружения буровых долот, о чем свидетельствует соответствующий акт, приведенный в приложении.

5. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

Диссертационная работа Жадяева А.А., представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение – является законченным научно-исследовательским трудом с ясной постановкой задачи исследований, научно-обоснованными новыми результатами экспериментальных и теоретических исследований, практически реализованными способом, технологиями и рекомендациями, защищаемыми соискателем, является решением конкретной технологической проблемы.

Жадяев А.А. проделал значительную по объему аналитическую работу по изучению целесообразности и актуальности проведения исследований по оптимизации условий структурообразования вольфрамкобальтовых твердых сплавов. Проведен анализ большого количества публикаций – в диссертации 184 ссылок.

Получены оригинальные результаты, составляющие основу для разработки технологий производства вольфрамкобальтовых твердых сплавов и изделий на их основе с повышенными характеристиками трещино-, износостойкости и эксплуатационной долговечности. Тексты диссертационной работы и автореферата оформлены согласно требованиям, предъявляемым к ним. Рисунки, таблицы, обозначения физических величин соответствуют требованиям ГОСТ'а.

Содержание диссертации и автореферата изложены ясным научным и литературным языком, при обработке экспериментальных данных использованы методы статистической обработки. Структура диссертационной работы Жадяева А.А. полностью соответствует требованиям, установленным Минобрнауки России.

По теме диссертации опубликовано 18 статей. Основные результаты работы опубликованы в 3-х статьях в изданиях, рекомендованных Минобрнауки России, и в 2-х статьях в изданиях, индексируемых базами Web of Science и Scopus. Результаты практического использования разработанных методов получения твердых сплавов доложены на различных научных форумах.

6. Замечания по работе

1. Научная новизна изложена декларативно, сущность установленных автором явлений не раскрыта, отсутствует сопоставление полученных результатов с известными.

2. При изложении методик проведения экспериментов во 2-й главе автор отмечает, что для изготовления твердосплавных зубков были использованы вольфрамокобальтовые твердые сплавы трех марок: ВК6С, ВК10С, ВК15С (с.70). Однако в 4-й главе оптимизация режимов размола и смешивания, а также содержания пластификатора проведена лишь применительно к сплаву ВК10С. Аналогично, оптимизация содержания добавки карбида хрома проведена лишь применительно к сплаву ВК15С.

3. Автором проанализировано большое количество литературных источников, в том числе англоязычных. По всей видимости, этим обусловлено параллельное использование терминов «твердый сплав» и «спеченный цементированный карбид» (с. 55). Следует отметить, что в русскоязычной литературе используется термин «твердый сплав». С английского языка термин «cemented carbide» переводится как «металлокерамический твердый сплав» или сокращенно «твердый сплав» [Перлов Н.И., Истеев А.И., Тюрин В.А. и др. Англо-русский металлургический словарь. Ок. 66000 терминов. М.: Рус. яз., 1985. – 841 с. – см. с.90].

4. Отсутствует объяснение немонотонного характера зависимости трещиностойкости от содержания пластификатора, приведенной на рис. 29, с.103.

5. При обсуждении влияния неоднородности микроструктуры на физико-механические свойства образцов сплава ВК15С автор ограничивается констатацией экспериментальных результатов, не раскрывая сущности протекающих процессов, приводящих к снижению значений изучаемых свойств (с.с.104, 105).

7. Заключение

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки выполненных исследований, которые обладают всеми признаками законченной научно-квалификационной работы. В диссертации содержатся новые научно обоснованные технологические решения и разработки по получению вольфрамокобальтовых твердых сплавов и изделий из них с повышенными показателями эксплуатационных свойств при снижении производственных затрат, что имеет существенное значение для развития горнодобывающей отрасли промышленности России.

Диссертационная работа Жадяева А.А. актуальна, полученные результаты имеют научную новизну и практическую значимость. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе Жадяева А.А. в науку. Диссертация содержит сведения о практическом использовании полученных результатов.

В диссертации Жадяева А.А. изложены научные результаты, соответствующие направлениям исследований, указанным в паспорте специальности 2.6.17. Материаловедение (п.п. 1, 3, 6). На основании вышеизложенного считаю, что представленная диссертационная работа соответствует критериям п.п. 9, 10, 11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, с изменениями, внесенными постановлением Правительства Российской Федерации № 335 от 21.04.2016 г., № 426 от 20.03.2021 г., а ее автор, Жадяев Александр Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Выражаю согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации Жадяева А.А.

Официальный оппонент,
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
«Технология машиностроения, технологические
машины и оборудование»
ФГБОУ ВО «Южно-Российский
государственный политехнический
университета (НПИ) имени М.И. Платова»
346428, Ростовская область, г. Новочеркасск,
ул. Просвещения, д.132;
Тел. +7 (8635) 255 486
E-mail: dvyu56.56@mail.ru

В.Д.
01.

Дорофеев Владимир Юрьевич

Подпись д. т. н., проф. Дорофеева *В.Д.* Юрьевича заверяю:

Учёный секретарь
ученого совета
ЮРГПУ (НПИ)



Холодкова Нина Николаевна