

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Осколковой Татьяны Николаевны на тему «Развитие теоретических и технологических основ повышения износостойкости карбидовольфрамовых твердых сплавов с использованием поверхностного упрочнения концентрированными потоками энергии и объемной термической обработки», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы

Диссертационная работа Осколковой Т.Н., направленная на повышение износостойкости карбидовольфрамовых твёрдых сплавов посредством создания многокомпонентных покрытий с использованием концентрированных потоков энергии и объёмной термической обработки, является актуальной с научной и практической точек зрения. Формирование износостойких поверхностных слоёв твёрдых сплавов группы ВК будет способствовать повышению эксплуатационных характеристик различного инструмента, производительности труда, экономии дефицитного сырья – вольфрама и кобальта.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Предметом исследования диссертационной работы явились карбидовольфрамовые твердые сплавы после поверхностного и объемного упрочнения с целью повышения износостойкости. Исследовательские работы, сделанные диссертантом в этом направлении, позволяют совершенствовать процессы производства твердосплавной продукции.

Результаты работы свидетельствуют об их высокой научной и практической значимости, соответствующей уровню докторской диссертации, что подтверждается следующими достижениями автора:

– на основе теоретического анализа физико-химических свойств твердых сплавов доказаны и научно обоснованы эффективность и перспективность применения для повышения износостойкости карбидовольфрамовых твердых сплавов для бурового, горнорезущего, штампового и металлорежущего инструментов технологий объемной закалки, поверхностного упрочнения путем нанесения ионно-плазменных покрытий, электроэрозионного упрочнения легированием (ЭЭУЛ), модифицирования поверхности электровзрывным легированием (ЭВЛ).

– установлены закономерности и особенности влияния закалки твёрдого сплава ВК10КС в полимерных средах на его структуру и свойства. Научно обосновано, что закалка твердого сплава в водополимерных средах способствует улучшению его структуры за счет уменьшения величины зерен монокарбида вольфрама WC и скругления их границ, дополнительного растворения вольфрама и углерода в кобальтовой связующей. Данные структурные изменения приводят к увеличению предела прочности твердого сплава при изгибе на 10 %, уменьшению площади износа при трибологических испытаниях на 35 % по сравнению со спечённым состоянием.

– научно обоснованы закономерности структурообразования сверхтвердых ионно-плазменных TiN + ZrN покрытий, нанесённых из отдельных катодов титана

и циркония на карбидовольфрамовые твёрдые сплавы ВК10КС и ВК8 при содержании циркония и титана в покрытии по 50 %. Наличие двух фаз TiN и ZrN в покрытии свидетельствует о микрослоистости его структуры, которая, несмотря на высокую нанотвёрдость данных покрытий (38500 МПа), снижение коэффициента трения в 5,9 раз по сравнению со спечённым состоянием и хорошую адгезионную прочность с твёрдосплавной основой, сдерживает в нём процессы трещинообразования и отслоения от основы.

– раскрыт механизм формирования структуры и фазового состава поверхностного слоя (ВК6-ОМ), полученного способом ЭЭУЛ в твёрдосплавных пластинах, состоящих из основы ВК10КС. Установлено, что при обработке в поверхностном слое образуется мелкодисперсный карбид дивольфрама W_2C , способствующий снижению коэффициента трения по сравнению со спечённым состоянием в 1,8 раз.

– получены новые данные, на основе которых для практического применения построены номограммы для определения основных параметров режимов поверхностной обработки карбидовольфрамовых твёрдых сплавов способом ЭЭУЛ, обеспечивающих формирование регламентированных характеристик и свойств.

– выявлены и обоснованы характерные особенности процессов структурообразования, протекающих в поверхностных слоях твёрдых сплавов в неравновесных условиях при однокомпонентном ЭВЛ углеродом, алюминием, титаном, в низко- и высокоэнергетическом режимах. Установлено, что обработка твёрдого сплава в высокоэнергетическом режиме, вызывающем оплавление облучаемой поверхности при всех взрывааемых проводниках, является предпочтительной, поскольку в процессе кристаллизации формируются упрочняющие фазы меньших размеров, чем монокарбид вольфрама в исходном состоянии. Наилучший эффект (максимальная глубина обработки около 40 мкм, поверхностная нанотвёрдость 25000 МПа) достигается при обработке твёрдого сплава в высокоэнергетическом режиме продуктами электро-взрыва титана.

– установлены особенности формирования структур композиционных слоёв твёрдого сплава ВК10КС при многокомпонентном ЭВЛ в высокоэнергетическом режиме углеродом, алюминием, титаном с карбидом кремния, бором, которые переносятся плазменной струей совместно с продуктами взрыва на облучаемую поверхность. Обработка приводит к формированию упрочнённых слоёв с толщиной 15 мкм, состоящих из высокотвёрдых карбидов TiC, V_4C , W_2C , SiC, боридов W_2B_5 , TiB_2 , оксида Al_2O_3 . Максимальная нанотвёрдость (27500 МПа) поверхностного слоя и минимальный коэффициент трения ($\mu = 0,1$) достигается при ЭВЛ титаном с бором.

– результаты просвечивающей электронной микроскопии выявили изменения, как в поверхностной карбидной, так и приповерхностной кобальтовой фазе при ЭВЛ. В карбидной фазе обнаружены скопления дислокаций, плотность которых больше при обработке твёрдого сплава по высокоэнергетическому режиму. Кобальтовая связующая в зоне термического влияния дополнительно легируется химическими элементами, входящими в состав взрывааемых материалов и основы, что приводит к стабилизации ГЦК решётки ($\beta-Co$) и положительно влияет на эксплуатационную стойкость карбидовольфрамовых твёрдых сплавов.

– для практического использования разработаны: способ закалки твёрдого сплава (патент РФ 229426); способ закалки твёрдого сплава на основе карбида вольфрама (патент РФ 2355513); способ закалки твёрдого сплава (патент РФ 2356693); способ закалки твёрдого сплава на основе карбида вольфрама (патент РФ 2392342); способ поверхностного упрочнения вольфрамокобальтового твёрдосплавного инструмента (патент РФ 2398046); способ поверхностной обработки вольфрамокобальтового твёрдосплавного инструмента (патент РФ 2405061); способ получения изделия из многослойного твёрдого сплава на основе карбида вольфрама (патент РФ 2401720); способ поверхностного упрочнения вольфрамокобальтового твёрдосплавного инструмента (патент РФ 2398046); способ поверхностной обработки вольфрамокобальтового твёрдосплавного инструмента (патент РФ 2405061).

Следует отметить, что степень обоснованности выводов, сформулированных в диссертации, обеспечена совместным использованием современных методов исследования, обеспечивается комплексным подходом решения поставленных задач; сопоставлением литературных данных с результатами экспериментов, а также внедрением технологий в производство.

Степень научной и практической новизны

В результате выполнения диссертационного исследования диссертантом получены новые научные данные, позволяющие обосновать закономерности структурообразования сверхтвёрдых ионно-плазменных TiN+ZrN покрытий на карбидовольфрамовых твёрдых сплавах ВК10КС и ВК8; установить механизм формирования структуры и фазового состава двухслойных твёрдосплавных пластин (поверхностный слой ВК6-ОМ + основа ВК10КС), полученных способом ЭЭУЛ; создать новую номограмму для разработки режимов ЭЭУЛ карбидовольфрамовых твёрдых сплавов с регламентированными параметрами поверхностного слоя; получить новые научные данные о структурно-фазовых состояниях и свойствах поверхностных слоёв на сплаве ВК10КС, сформированных в неравновесных условиях одно- и многокомпонентного ЭВЛ при различных режимах энергетического воздействия; на основе математического моделирования исследовать теплофизические процессы в твёрдосплавных пластинах при ЭВЛ; установить закономерности формирования структуры твёрдого сплава ВК10КС при термической обработке в водополимерных средах ПК-М, Бреокс Термо А, Термовит М.

Основные положения и результаты диссертации изложены в научно-технических изданиях и обсуждены на международных и всероссийских научных и научно-практических конференциях в достаточной степени. По материалам диссертации опубликовано 82 печатных работ, в том числе 3 монографии, 9 патентов РФ, 70 статей в журналах и сборниках статей, 25 из которых опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК для опубликования результатов докторских диссертаций, 9 – в иностранных журналах, индексируемых в базе данных Scopus и Web of Science.

Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, семи разделов, заключения и приложений, изложена на 313 страницах машинописного текста, содержит 110 рисунков, 15 таблиц, список литературы из 330 наименований.

Во введении рассмотрены актуальность и степень разработанности темы ис-

следования, намечены цель и задачи диссертационной работы, показана научная новизна, практическая значимость и реализация результатов работы, изложены положения, выносимые на защиту, показаны степень достоверности и апробация результатов, а также соответствие диссертации паспорту научной специальности.

В первом разделе выполнен анализ научных работ, посвященных тематике диссертации, проведена оценка современного состояния научной проблемы повышения долговечности твёрдосплавных изделий. Выявлено, что помимо закалки в индустриальном масле и применение покрытий, используются поверхностные методы упрочнения с применением различных источников внешних высокоэнергетических воздействий, поэтому поиск новых технических решений, ориентированных на упрочнение поверхности твёрдых сплавов группы ВК, используя импульсные плазменные струи, является актуальным.

Во втором разделе дано обоснование выбранным способам упрочнения твёрдых сплавов группы ВК: объёмная закалка в водополимерных средах, нанесение ионно-плазменного покрытия состава TiN+ZrN, нанесение покрытия способом электроэрозионного упрочнения легированием, поверхностное упрочнение способом одно- и многокомпонентного электровзрывного легирования. Используя математическое моделирование, исследованы теплофизические процессы в твёрдосплавных пластинах при электровзрывном легировании.

В третьем разделе проводилось исследование влияние закалки твёрдого сплава ВК10КС в полимерных средах на его структуру и свойства. Установлена возможность замены индустриального масла И-20А водополимерными растворами ПК-М, Бреокс Термо А, Термовит М для проведения закалки твёрдого сплава ВК10КС с печного или индукционного нагрева. Установлено, что закалка карбидовольфрамового твёрдого сплава ВК10КС способствует улучшению его структуры, стабилизации β -Со связующей и повышению долговечности твёрдого сплава в целом.

В четвертом разделе представлены особенности строения и свойств упрочнённых поверхностных слоёв, полученных на карбидовольфрамовых твёрдых сплавах способом ионно-плазменного напыления и электроэрозионного упрочнения легированием. Исследована особенность формирования структуры поверхностного слоя толщиной до 25 мкм сплава ВК10КС после электроэрозионного упрочнения легированием, заключающаяся в образовании мелкодисперсного карбида дивольфрама W_2C с более высокой твёрдостью, чем монокарбид вольфрама WC. Установлено, что коэффициент трения упрочнённого поверхностного слоя снизился в 2 раза по сравнению с коэффициентом трения исходного сплава. Получены новые данные, на основе которых для практического применения построены номограммы для определения основных параметров режимов поверхностной обработки карбидовольфрамовых твёрдых сплавов способом электроэрозионного упрочнения легированием, обеспечивающих формирование регламентированных характеристик и свойств (толщина, твердость, шероховатость) поверхностного слоя, удовлетворяющих техническим условиям. На поверхности твёрдых сплавов ВК10КС и ВК8 получены сверхтвёрдые с нанотвёрдостью 38000 МПа ионно-плазменные покрытия толщиной 15 мкм, нанесённые из отдельных катодов титана и циркония при соотношении этих элементов 50 % Ti + 50 % Zr при использовании азота в качестве реакционного газа. Покрытие обладает хорошей адгезионной прочностью с основным материалом, которая объяс-

няется наличием в покрытиях, полученных из отдельных электродов, микрослоистости.

В пятом разделе представлены результаты упрочнения поверхности твёрдого сплава ВК10КС способом однокомпонентного ЭВЛ. Выявлены и обоснованы характерные особенности процессов структурообразования, протекающих в поверхностных слоях твёрдых сплавов в неравновесных условиях при однокомпонентном электровзрывном легировании углеродом, алюминием, титаном, в низко- и высокоэнергетическом режимах.

В шестом разделе представлены результаты дополнительного упрочнения поверхностного слоя твёрдого сплава ВК10КС способом ЭВЛ путём совместного взрыва вышеперечисленных проводников и порошков бора, карбида кремния. Максимальная износостойкость достигается при использовании титана в качестве взрывающего проводника с бором из-за формирования диборида титана TiB_2 .

В седьмом разделе представлены результаты апробации и внедрения упрочняющих технологий карбидовольфрамовых твёрдых сплавов для штампового, металлорежущего, бурового и горно-режущего инструмента. Разработанные технологии внедрены и освоены в условиях ООО «Технокомплекс-НК» (г. Новокузнецк), ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют» – филиал «Омское моторостроительное объединение им. П.И. Баранова», ООО «Механообработка» (г. Прокопьевск), а также в учебный процесс в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» и используются при подготовке аспирантов по направлению подготовки 22.06.01 – Технологии материалов.

Совокупный экономический эффект от ожидаемых и реализованных мероприятий составляет 4 млн. 900 тыс. рублей и 3 млн. 475 тыс. рублей в год соответственно.

В приложениях представлены акты внедрения в производство и в учебный процесс.

Замечания к работе

По представляемой работе имеются следующие замечания:

1. Диссертант предлагает использовать для закалки твёрдых сплавов водополимерные среды (10 % ПК-М, 8 % Брекс Термо А и 4 % Термовит М). Какая из них является наилучшей?

2. Из диссертационной работы не понятно какое количество образцов использовалось при трибологических испытаниях после различных обработок?

3. Почему выбран цирконий в качестве легирующей добавки в ионно-плазменном покрытии?

4. Возможно ли использовать другие порошки тугоплавких соединений при многокомпонентном ЭВЛ, помимо описанных в диссертационной работе?

Общая оценка

В целом диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Полученные автором результаты имеют существенное значение для развития и совершенствования машиностроения, горнодобывающей и деревообрабатывающей промышленности в нашей стране. Работа проведена с использованием современных методов теоретических и экспериментальных исследований, сформулированная цель и поставленные задачи решены. Выводы являются достоверными и основываются на обработке

большого объема экспериментальных данных, что позволяет оценить личный вклад автора.

Диссертационная работа составлена технически грамотно, написана на понятном научно-техническом языке, содержит достаточное количество рисунков, графиков и таблиц. Автореферат диссертации полно раскрывает содержание, отражает структуру диссертационной работы и полностью соответствует ее основным положениям.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а её автор, Осколкова Татьяна Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент:

д.т.н., профессор (специальность 05.15.01 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов) кафедры «Физическое металловедение» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»



Шкатов Валерий Викторович

398055, г. Липецк, ул. Московская, д. 14

Телефон: 8(4742)30-79-32 – секретарь, 8(4742)30-79-31 – заведующий кафедрой

Электронная почта: kaf-fm@stu.lipetsk.ru

Я, Шкатов Валерий Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Осколковой Татьяны Николаевны, и их дальнейшую обработку.



Подпись удостоверяю
Специалист ОК ЛГТУ 
Н. В. Морозова
01.11.2018