

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 диссертации.

Спеченные твердые сплавы ВК обладают уникальным сочетанием твердости и вязкости и поэтому были, есть и на обозримую перспективу останутся основным инструментальным материалом, применяющимся для обработки резанием и деформацией труднообрабатываемых металлов и сплавов, а также для рабочих органов оборудования, подвергающихся по условиям работы ударному нагружению. Отличные физико-механические свойства твердых сплавов ВК удачно дополняются высокой технологичностью их изготовления. Благодаря нулевому углу смачивания карбида вольфрама расплавом кобальта практически беспористые режущие и формующие пластины и твердосплавные зубки породоразрушающих инструментов изготавливают по высокопроизводительной технологии порошковой металлургии. Благодаря низким технологическим затратам частично компенсируется высокая стоимость вольфрамсодержащего сырья. Так как карбид вольфрама имеет относительно низкую твердость по сравнению с металлическими карбидами с кубической решеткой (TiC, VC, ZrC) то существует проблема повышения твердости сплавов ВК, в том числе дополнительным введением в структуру твердого сплава карбидов с кубической структурой. Наряду с термической обработкой, обеспечивающей объемное упрочнение твердого сплава, применяются многочисленные методы воздействия на рабочую поверхность с целью повышения износостойкости за счет увеличения твердости, снижения коэффициента трения, замедления деградации свойств, например за счет повышения стойкости к окислению и т.д. Диссертационная работа Осколковой Т.Н. посвящена проблеме повышения износостойкости твердого сплава ВК10КС и, несомненно, является актуальной в научном и прикладном отношении.

Автором использованы три способа улучшения служебных свойств твердого сплава: термическая обработка, нанесение покрытий и модификация поверхностного слоя твердого сплава потоками плазмы.

Диссертационная работа состоит из введения, 7 разделов, заключения, приложений в виде актов об использовании результатов работы и списка литературы из 330 наименований. Полный объем диссертации составляет 313 страниц машинописного текста, включает 110 рисунков и 15 таблиц.

Во введении обоснована актуальность запланированных исследований на выбранном твердом сплаве ВК10КС, дана информация о методах исследований, об использованных приборах и оборудовании. Сформулирована научная новизна и практическая значимость проведенных исследований, основные защищаемые положения.

Первый раздел диссертации представляет собой литературный обзор с описанием областей применения твердых сплавов ВК в металлообработке и горнодобывающей промышленности. Описана структура твердых сплавов и влияние характеристик структуры (смежность, дисперсность карбидной фазы, объемное содержание кобальтовой связки) на изнашивание и разрушение твердых сплавов. Рассмотрены технологические методы повышения работоспособности твердых сплавов, включающие легирование, термообработку, нанесение покрытий, обработку поверхности мощными потоками плазмы, пучками заряженных частиц (ионы, электроны, α -частицы) и гамма-излучением. Описано влияние на свойства наноструктурирования тонкого слоя на рабочей поверхности путем нанесения покрытий с нанокристаллической структурой или мощного энергетического воздействия. Первый раздел завершается постановкой задач исследований.

Во втором разделе диссертации дано обоснование целесообразности применения закалки твердых сплавов и использования для этих целей водорастворимых полимеров вместо индустриального масла. Описаны преимущества применения для поверхностного упрочнения твердого сплава выбранных автором методов: электроискрового легирования, нанесения гибридного ионноплазменного покрытия TiC+ZrC и электровзрывного легирования плотной многокомпонентной плаз-

мой. Последнему методу в работе уделено особое внимание. Описан принцип действия и устройство лабораторной установки, на которой получен основной объем экспериментальных результатов по поверхностной модификации. Завершается второй раздел математическим моделированием процесса электровзрывного легирования. На основе решения уравнения теплопроводности с граничными условиями III рода рассчитаны температурные поля, возникающие в образце из твердого сплава под действием потока плазмы, генерируемого электрическим взрывом различных проводников (лента из углеродных волокон, алюминиевая и титановая фольга).

В третьем разделе диссертационной работы дана сравнительная характеристика водополимерных закалочных сред, использованных в работе. Проведено исследование охлаждающей способности водополимерных растворов, обоснован выбор интервала температур закалочных ванн, описана последовательность технологических операций при подготовке охлаждающих сред к использованию. Исследована структура твердого сплава после закалки. Установлено, что при нагреве под закалку происходит некоторое сглаживание ребер карбидных зерен, а после закалки фиксируется обогащение кобальтовой связки растворенным вольфрамом, который находится в твердом растворе и в мелкодисперсных карбидах, выпавших из твердого раствора на стадии охлаждения. Предположительно, именно изменение структуры и фазового состава кобальтовой связки приводит к 10% увеличению прочности на изгиб и к увеличению на 35% износостойкости твердого сплава, подвергнутого закалке, по сравнению с исходным спеченным. Предложенные автором способы объемного упрочнения твердого сплава закалкой в водополимерных охлаждающих средах защищены четырьмя Российскими патентами.

Четвертый раздел посвящен изучению структуры и триботехнических свойств поверхностного слоя твердого сплава с нанесенным ионноплазменным покрытием и модифицированного электроэрозионной обработкой. Для нанесения многослойного покрытия из чередующихся слоев нитридов титана и циркония использовали два катода из титана и циркония, пространственно разнесенных в объеме рабочей камеры, заполненной реакционным газом азотом. Следует отметить, что многослойные покрытия из металлических нитридов, карбидов, оксидов

или боридов на металлообрабатывающем инструменте, в том числе и твердосплавном, широко применяются ведущими зарубежными фирмами. Как и следовало ожидать, нанотвердость и износостойкость твердого сплава ВК10КС с покрытием кратно увеличились по сравнению с твердым сплавом без покрытия. Впечатляющий эффект повышения твердости и износостойкости получен также после электроэрозионной обработки поверхности твердого сплава ВК10КС электродом из твердого сплава ВК6-ОМ. Этот эффект обеспечивается поверхностным слоем толщиной до 25 мкм с градиентной структурой и с пониженным содержанием кобальтовой связи. Способ получения многослойного твердого сплава с градиентной структурой защищен Российским патентом № 2401720.

В пятом и шестом разделах диссертации описаны результаты исследований поверхностных слоев твердого сплава обработанных потоками плазмы, генерируемой электрическим взрывом проводников (лента из углеродных волокон и фольги из титана и алюминия). Обработку проводили на лабораторной установке, созданной коллективом, в котором работает соискатель. Эта часть диссертации, по моему мнению, является основной как по объему, так и в отношении новизны полученных результатов. В пятом разделе подробно исследованы и описаны поверхностные структуры, формирующиеся на твердом сплаве потоками плазмы при взрыве вышеуказанных проводников в низко- и высокоэнергетическом режимах. Установлено, что наибольший эффект поверхностного упрочнения достигается при использовании титана в качестве взрываемого проводника. В шестом разделе описаны результаты исследования поверхностных структур при обработке твердого сплава многокомпонентной плазмой, возникающей при электрическом взрыве проводников с нанесенными на них порошками карбида кремния и бора. Установлено, что использование многокомпонентной плазмы значительно повышает твердость и износостойкость полученных покрытий по сравнению с характеристиками покрытий, полученных электрическим взрывом однокомпонентных проводников.

Седьмой последний раздел диссертации посвящен описанию результатов использования разработанных автором упрочняющих технологий в промышлен-

ности. Эти результаты подтверждаются актами внедрения предприятий, использующих упрочненные твердые сплавы в операциях штамповки и резания.

В **заключении** резюмируются основные результаты проведенных исследований и их применения в промышленности. Отмечены наиболее перспективные из использованных упрочняющих технологий и выделены технологические режимы поверхностной обработки, обеспечивающие наибольший эффект повышения работоспособности твердосплавного инструмента.

Большая часть научных результатов, представленных в работе Осколковой Т.Н., является оригинальной. К наиболее значимым результатам работы, имеющим **научную новизну**, относятся результаты исследований структур, формирующихся в приповерхностном слое твердого сплава под воздействием потоков плазмы, возникающей при электрическом взрыве однокомпонентных проводников и проводников с нанесенными на них порошками карбида кремния и бора.

Практическая значимость работы подтверждается актами испытаний и применением разработанных упрочняющих технологий на промышленных предприятиях (ООО «Технокомплекс-НК» (г. Новокузнецк), ООО «Металлообработка» (г. Прокопьевск), Омское моторостроительное объединение им. П.И. Баранова).

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы обеспечивается с одной стороны, использованием при проведении экспериментальных исследований широкого арсенала современных приборов и методов структурного анализа и современного испытательного оборудования. С другой стороны, полученные результаты структурных исследований и аттестации по твердости и износостойкости обсуждены с использованием опубликованных результатов других авторов. Таким образом, обоснованность выводов, сформулированных на основе всей совокупности полученных результатов, сомнений не вызывает.

Замечания к диссертации и автореферату:

1. В качестве иллюстраций к результатам определения элементного и фазового состава поверхностных структур автором приводятся спектры характеристического рентгеновского излучения (элементный состав) и рентгенограммы (фазовый состав). Эти иллюстрации малоинформативны и пригодны только для ка-

чественного анализа. В то же время при обсуждении результатов приводятся количественные данные, в частности содержание вольфрама в прослойках кобальтовой связки. Никаких пояснений по поводу использованной методики определения вольфрама не приводится. Если это точечный микрозондовый рентгеноспектральный анализ на основе энергодисперсионного метода, то возникает вопрос о надежности результатов определения элементного состава в кобальтовых прослойках микронной толщины. Вероятной причиной декларируемого автором высокого содержания вольфрама (выше 30%) может быть недостаточная локальность микрозондового метода, из-за которой в рентгеновском спектре присутствует излучение от смежных зерен карбида вольфрама. Прояснить этот вопрос могла бы статистическая обработка результатов локальной съемки с нескольких (5-10) точек на кобальтовых прослойках, что, к сожалению, отсутствует в работе.

2. В актах внедрения, приведенных в приложениях, даны количественные оценки экономического эффекта от использования упрочненного инструмента, однако никаких сведений о методиках расчета экономического эффекта не приводится. Это замечание, в особенности касается твердого сплава, упрочненного нанесением ионноплазменного покрытия или модифицированного поверхностной обработкой. Судя по всему, при оценке за базу принимали характеристики стойкости инструмента без покрытий. Более реалистическую картину эффективности предлагаемых технологий могло бы дать сравнение с твердосплавными пластинами с покрытием из нитрида титана, которые широко представлены на российском рынке. Указанные замечания не изменяют положительную оценку диссертационной работы.

Общее заключение по работе

Диссертационное исследование Т.Н. Осколковой выполнено на актуальную научную тему и имеет большую практическую ценность. Содержание диссертационной работы соответствует пунктам 2, 3 и 6 паспорта специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых журналах из перечня ВАК и в англоязычных изданиях, включенных в биб-

лиографические базы Web of Science и Scopus. Созданные при выполнении работы технические решения защищены девятью Российскими патентами. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. В нем полно представлены основные результаты диссертации и вытекающие из них выводы. Научные положения и выводы непротиворечивы и обоснованы результатами проведенных исследований.

Представленная к защите диссертация отвечает требованиям, изложенным в пункте 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842), предъявляемым к докторским диссертациям и представляет собой научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований предложены технологические решения, позволяющие значительно повысить работоспособность твердых сплавов ВК при их использовании для металлообработки и в качестве рабочих органов оборудования в горнодобывающей и угольной промышленности.

Считаю, что автор диссертации Осколкова Татьяна Николаевна заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Прибытков Геннадий Андреевич – д.т.н., главный научный сотрудник ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН» (специальность 05.16.01 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов)



Прибытков Геннадий Андреевич

634055, г. Томск, проспект Академический, д. 2/4
Телефон: 8-913-860-0449
Электронная почта: gapribyt@mail.ru

Я, Прибытков Геннадий Андреевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Осколковой Татьяны Николаевны, и их дальнейшую обработку.

«7» декабря 2018 г.

Подпись Прибыткова Г.А. удостоверяю:

Ученый секретарь ИФПМ СО РАН к.ф.-м.н.



Матолыгина Н. Ю.