

Отзыв

официального оппонента

на диссертационную работу Антипова Михаила Сергеевича
«Влияние нихрома и вольфрама на структуру и свойства композиционных
материалов на основе карбида титана, полученных СВС-экструзией»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 1.3.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика
экстремальных состояний вещества»

Актуальность

Интенсивный износ и последующий отказ металлорежущего инструмента (свёрл, фрез, метчиков, резцов и пр.) представляет собой серьёзную проблему для производственных предприятий. Данная проблема влечёт за собой необходимость остановки всего оборудования для замены инструмента, что, в свою очередь, снижает общую производительность и ведёт к росту себестоимости выпускаемой продукции. Помимо этого, значимой проблемой остаётся преждевременный износ стоматологического инструмента (экскаваторов, зажимов, зондов и пр.), усугубляемый дефицитом его конкурентоспособных отечественных аналогов на рынке. Одним из перспективных направлений решения данных проблем является нанесение защитных покрытий на инструмент с использованием методов PVD, CVD, оксидирования и других. Каждая из этих технологий обладает собственной областью применения и рядом ограничений. Перспективным методом повышения ресурса металлорежущего и медицинского инструмента является электроискровое легирование (ЭИЛ). К его ключевым преимуществам относятся: высокая адгезия покрытий, минимальное термическое воздействие на обрабатываемую деталь, отсутствие необходимости в вакууме или защитной атмосфере, а также сравнительная простота технологического процесса. Ключевым условием для внедрения метода ЭИЛ в массовое

производство является решение проблемы с расходными электродами. В рамках диссертационной работы разработан перспективный метод СВС-экструзии получения электродных материалов для электроискрового легирования, который позволяет получать изделия в одну технологическую стадию за десятки секунд. Для получения электродных материалов с повышенными свойствами Антиповым М.С. проведен комплекс работ, направленных на изучение закономерностей формирования химического и фазового составов и микроструктуры материалов, установление влияния технологических параметров СВС-экструзии на всех стадиях формирования изделия, а также изучение влияния химического и фракционного состава структурных составляющих на физико-механические характеристики получаемых изделий при использовании металлических матриц, вступающих в химическое реагирование с исходными реагентами и продуктами горения.

Актуальность диссертационной работы также подтверждается выполнением следующих проектов: УМНИК №17414ГУ/2022 от 22.04.2022 г. «Разработка методом СВС-экструзии металлокерамических длинномерных изделий на основе карбида титана», и грант Президента Российской Федерации № МД-2909.2021.4 «Разработка научных и технологических основ процесса СВС-экструзии для получения композиционных материалов на основе карбида титана с химически активной матрицей и их практическое применение для нанесения защитных покрытий на металлорежущий инструмент», 2021-2022 гг.

Научная новизна работы заключается в том, что установлено влияние состава исходных компонентов и доли металлических связок в количестве (5-60) масс. % NiCr и (5,10) масс. % W, исходной плотности шихтовой заготовки в интервале 0,49-0,63 на температуру и скорость горения, а также на фазовый состав и структуру синтезированных материалов на основе TiC-NiCr и TiC-NiCr-W в условиях, моделирующих СВС-экструзию. Установлена

взаимосвязь исходного состава синтезированных материалов на основе TiC-NiCr и TiC-NiCr-W и технологических параметров СВС-экструзии с фазовым составом, структурой и физико-механическими характеристиками экструдированных стержней. Установлено, что при СВС-экструзии за счет высоких температур горения и степени деформации в материале формируется упрочняющая фаза на основе карбида титана с небольшим содержанием хрома $(\text{Ti}_{0,97}\text{Cr}_{0,03})\text{C}$, расположенная в нихромовой связке NiCr с локальным присутствием Cr_3C_2 . Установлено, что размер карбидных зерен уменьшается до 5,4 раза с увеличением доли нихромовой связки с 5 до 60 масс. %. Показано, что введение до 10 масс. % W в исходный состав материалов на основе TiC-NiCr в процессе СВС-экструзии приводит к образованию сложных карбидов $(\text{Ti}_{0,97}\text{Cr}_{0,03})\text{C}$ и $(\text{Ti}_{0,6}\text{W}_{0,4})\text{C}$ и зерен WC, расположенных в матрице NiCr. Установлено, что добавление до 10 масс. % W в исходную шихту ведет к увеличению микротвердости до 26,3 ГПа. Выявлены закономерности влияния исходного состава применяемых электродов на основе TiC-NiCr и TiC-NiCr-W и энергии разряда при электроискровом легировании на формирование защитного покрытия на металлических подложках из быстрорежущей стали Р6М5 и нержавеющей стали 08Х17Н13М2Т. Установлено, что на поверхности защитного покрытия зерна упрочняющей фазы имеют размеры, схожие с размерами структурных составляющих в используемом электроде, а по мере приближения от поверхности покрытия к подложке их размер уменьшается и становится менее 100 нм. Установлены различия механических и трибологических свойств покрытий, полученных разработанными электродами и твердосплавными аналогами.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработан новый способ изготовления электродов для электроискрового легирования и электродуговой наплавки (патент РФ на изобретение № 2792027 от 15.03.2023 г.). Разработано ноу-хау на технологические режимы СВС-экструзии для

получения СВС-электродов из материалов на основе TiC-нихром № 2-2021 от 18.11.2021 г. Установлено оптимальное содержание нихромовой связки 20-40 масс. % NiCr, при которой достигается максимальная степень деформации, равная 0,67-0,7 для материалов на основе TiC-NiCr, и для материалов TiC-NiCr-W равная 0,61-0,69. Разработаны и оптимизированы технологические режимы СВС-экструзии для получения длинномерных стержней диаметрами 3-10 мм и длиной до 300 мм из материалов на основе TiC-NiCr и TiC-NiCr-W с повышенными механическими свойствами по сравнению с имеющимися аналогами, которые были применены в качестве электродов для нанесения защитных покрытий методом электроискрового легирования на металлорежущий инструмент (сверла), ножи сельскохозяйственной техники, медицинский инструмент (экскаватор).

Структура и содержание диссертации

На отзыв представлена диссертация, которая содержит введение, 5 глав, выводы и список используемых источников и приложение. Общий объем работы составляет 158 страниц, включая 81 рисунок, 26 таблиц и библиографию из 167 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен литературный обзор, соответствующий тематике диссертационной работы. Приведено описание известных твердых сплавов как на основе вольфрама, так и без него. Представлены основные методы получения твердых сплавов, в том числе самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), СВС-компактирование, СВС-экструзия. Отражено практическое применение СВС-материалов, их свойства и перспективы улучшения их физико-механических характеристик.

Во второй главе представлены объекты исследования и их характеристики, описано применяемое оборудование, методы и методики проведения экспериментов. Особое внимание уделено описанию свободного СВС-сжатия и СВС-экструзии. Исследования проводились при помощи стандартных взаимодополняющих, аттестованных физико-химических методов и методик, что говорит о достоверности полученных результатов и сделанных на их основе выводов.

Третья глава посвящена разработке и получению длинномерных стержней методом СВС-экструзии из материалов на основе TiC-NiCr. Для успешной реализации СВС-экструзии автором был проведен ряд экспериментов по изучению температуры и скорости горения шихтовых заготовок в зависимости от относительной плотности, изучена формуемость материалов. На основе экспериментальных результатов были определены оптимальные технологические параметры СВС-экструзии (время задержки, скорость плунжера и давление прессования) и получены длинномерные стержни (до 300 мм) без видимых дефектов. Исследована микроструктура и определены физико-механические свойства полученных материалов.

В четвертой главе с целью повышения физико-механических характеристик электродных материалов были изучены закономерности процессов горения, формуемости и СВС-экструзии при добавлении 5 и 10 масс. % W в исходный состав Ti-C-NiCr. На основе экспериментальных результатов была реализована СВС-экструзия материалов на основе TiC-NiCr-W и определены оптимальные технологические параметры (время задержки, скорость плунжера и давление прессования) для получения качественных длинномерных стержней. Представлены результаты исследования структуры полученных материалов. Проведено сравнение их физико-механических характеристик с показателями известных коммерческих аналогов.

В пятой главе изучались закономерности формирования, фазового состава и структуры легированных слоев, полученных методом электроискрового легирования (ЭИЛ) при использовании разработанных в диссертации электродных материалов трех составов: TiC-30NiCr, TiC-30NiCr-5W и TiC-30NiCr-10W. Изучено влияние энергии разряда на шероховатость и толщину покрытия, коэффициент переноса электродного материала. Проведены трибологические испытания. Изучена возможность нанесения защитных покрытий на медицинский инструмент, изготовленный из стали 08X17H13M2T. Представлены практические применения разработанных электродных материалов и защитных покрытий на их основе.

Достоверность результатов

Достоверность экспериментальных результатов и выводов подтверждается использованием современных аттестованных методов и методик при исследовании фазового состава, структуры, физико-механических металлокерамических композиционных материалов и трибологических свойств нанесенных защитных покрытий, а также подтверждается обоснованными экспериментальными результатами.

По теме диссертации опубликовано 19 печатных работ, в том числе 8 статей в реферируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК и базы данных Web of Science и Scopus (в т.ч. Q1), 11 тезисов в сборниках конференций, перечисленных выше, получен 1 патент РФ и 1 ноу-хау.

Замечания

1. Под рисунком 29 на 66-67 стр. диссертационной работы нет логической связи между представленными предложениями, что требует пояснения.

2. На 71 стр. диссертационной работы указано, что при оптимальных технологических режимах СВС-экструзии получены стержни с повышенными физико-механическими свойствами и определенным набором фаз. На данной

странице это не очевидно, т.к. эта информация приведена несколько ниже. Поэтому, считаю, что эта фраза в данном месте не уместна.

3. В п. 3.6 диссертационной работы представлены результаты изучения измельчения карбидных зерен по длине и радиусу экструдированных стержней. Указано, что на размер зерна влияет как степень деформации при экструзии, так и температурные факторы. Возникает вопрос, было ли проведено измерение температуры по радиусу и длине экструдированного стержня в процессе экструзии.

4. В диссертационной работе убедительно показано, что полученные материалы обладают высокими механическими характеристиками, такими как микротвердость и модуль Юнга. Исследование модуля Юнга проходила на установке «Наноскан-4Д», который показывает характеристики с поверхности образца. Для полной картины исследования модуля Юнга желательно проводить исследования на статической установке с экстензометром. Помимо этого, целесообразно дополнить исследование данными о прочностных характеристиках полученных материалов для оценки их потенциала в качестве конструкционных.

5. В работе, в качестве электродных материалов для нанесения покрытий методом ЭИЛ были использованы следующие три состава: TiC-30NiCr, TiC-30NiCr-5W и TiC-30NiCr-10W. Автору стоило бы конкретизировать выбор именно этих составов.

Указанные замечания носят рекомендательный характер, направлены на совершенствование представления полученных научных результатов в будущих работах и не снижают научную и практическую значимость диссертационной работы. Цели и задачи, сформулированные в работе, достигнуты в полном объеме, положения, выносимые на защиту, доказаны экспериментальными исследованиями, приведенными в работе. Диссертационная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне,

является законченной научно-квалификационной работой и соответствует паспорту специальности 1.3.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества».

На основании полученных результатов, новизны и практической значимости, считаю, что диссертационная работа «Влияние нихрома и вольфрама на структуру и свойства композиционных материалов на основе карбида титана, полученных СВС-экструзией» соответствует требованиям п. 9 «Положение о порядке присуждения ученых степеней» (№ 842 от 24.09.2013 г., ред. от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020), а ее автор, Антипов Михаил Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Кандидат технических наук,
в.н.с. лаборатории
прочности и пластичности
металлических и композиционных
материалов и наноматериалов, ИМЕТ РАН
smakp@mail.ru

Севостьянов
Михаил Анатольевич

17.09.2025

Подпись Севостьянова М.А. заверяю:

Ученый секретарь ИМЕТ РАН, к.т.н.



Фомина О. Н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), 119334 г. Москва, Ленинский проспект, д. 49, +7 (499) 135-94-83

Я, Севостьянов Михаил Анатольевич, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе.