

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 темы диссертации

Диссертационная работа М.С. Антипова направлена на разработку и получение методом СВС-экструзии длинномерных стержней на основе карбида титана с металлической связкой нихром (NiCr) и с дополнительным введением в исходную смесь вольфрама, а также изучение их физико-механических характеристик и практического применения. Актуальность диссертационной работы и полученных научных результатов не вызывает сомнения, поскольку в настоящее время композиционные материалы на основе карбида титана являются многообещающими и перспективными материалами для широкого практического применения в промышленности. На сегодняшний день получение композиционных материалов осуществляется традиционными методами порошковой металлургии, которые включают в себя большое число операций, многие из которых сложны, энергоемки и длительны по времени. Предложенный метод СВС-экструзия относится к прямым методам получения готовых изделий, поскольку их получение из материалов на основе тугоплавких неорганических соединений происходит в одну стадию на одном оборудовании за короткие времена. М.С. Антипов убедительно показал, что, регулируя состав и параметры исходных заготовок и технологические режимы СВС-экструзии, возможно получать длинномерные стержни (длиной до 300 мм) с регулируемой структурой и повышенными физико-механическими свойствами, которые нашли свое практическое применение.

Актуальность работы также подтверждается выполнением работ по проектам:

1. Конкурс УМНИК №17414ГУ/2022 от 22.04.2022 г. «Разработка методом СВС-экструзии металлокерамических длинномерных изделий на основе карбида титана»
2. 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.

Оценка содержания диссертации, научной новизны и практической значимости

Диссертационная работа М.С. Антипова содержит введение, 5 глав, выводы и список используемых источников и приложения. Общий объем работы составляет 158 страниц, включая 81 рисунок, 26 таблиц и библиографию из 167 наименований, 4 приложения.

Во введении диссертационной работы 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 диссертационной работы проведен литературный обзор, отражающий современное состояние работ по имеющимся твердым сплавам, проанализированы их составы и физико-механические свойства, а также описаны основные технологии изготовления. Представлена информация о самораспространяющемся высокотемпературном синтезе (СВС) и методах, совмещающих процессы горения и компактирования. Отмечены перспективы использования твердых сплавов на основе карбида титана.

Вторая глава диссертационной работы посвящена объектам исследования и их характеристикам. Приведено описание используемых методов и методик, а также применяемого аналитического и технологического оборудования. Отражено, что в работе используются стандартные

взаимодополняющие, аттестованные физико-механические методы и методики, в том числе оригинальные, такие как методика определения температуры и скорости горения шихтовых заготовок, методика определения формуемости материалов в условиях, сочетающих процессы горения и высокотемпературное сдвиговое деформирование.

В третьей главе диссертационной работы представлены результаты изучения характеристик горения (температуры и скорости) изучаемых объектов в зависимости от состава и относительной плотности порошковых заготовок. Представлены результаты изучения формуемости синтезированных материалов, определения степени деформации материалов на основе TiC-NiCr и проведено сравнение полученных значений с известными материалами на основе TiC-Ni. Экспериментальным путем были определены оптимальные технологические параметры СВС-экструзии, при которых были получены длинномерные стержни без видимых дефектов. На основе известной математической модели исследована особенность измельчения зеренной структуры при СВС-экструзии при различных степенях деформации, полученные результаты были сравнены с экспериментальными и показана хорошая сходимость. Представлены материаловедческие исследования полученных материалов, измерены их физико-механические характеристики и проведен сравнительный анализ полученных значений с известными аналогами.

В четвертой главе диссертационной работы представлены результаты проведения СВС-экструзии материалов на основе TiC-NiCr-W. Изучены температура и скорость горения в зависимости от относительной плотности и количества легирующей добавки вольфрама, построены соответствующие зависимости и даны соответствующие пояснения. Изучена формуемость синтезированных материалов на основе TiC-NiCr-W, определена степень деформации, которая сравнена с материалами на основе TiC-NiCr, полученными в третьей главе. Установлены оптимальные технологические параметры СВС-экструзии материалов на основе TiC-NiCr-W, при которых

достигается максимальная длина стержней без видимых дефектов. Исследованы микроструктура и фазовый состав экструдированных стержней, и проведен сравнительный анализ физико-механических свойств с известными аналогами.

В пятой главе диссертационной работы представлены результаты по нанесению и изучению защитных покрытий, полученных методом электроискрового легирования (ЭИЛ). Проведен комплекс материаловедческих исследований полученных покрытий. Установлено влияние энергии разряда на толщину и шероховатость нанесенных защитных покрытий, проведены трибологические испытания. Также представлены результаты проведенной оценки коррозионной стойкости и микробной адгезии образцов, изготовленных из стали 08X17H13M2T с нанесенными защитными покрытиями при различных энергиях разряда. Показано, что экструдированные стержни нашли свое практическое применение в качестве электродов для нанесения защитных покрытий на сверлах из быстрорежущей инструментальной стали P6M5 диаметром 8 и 10 мм, ножах соломоизмельчителя зерноуборочного комбайна «TUCANO» и ножах косилки фирмы ORSI на тракторе MTЗ 82.

К основной научной новизне работы состоит отнести следующее:

- 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.

- впервые 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. %.

- впервые 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.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

1. Разработан новый способ изготовления электродов для электроискрового легирования и электродуговой наплавки (патент РФ на изобретение № 2792027 от 15.03.2023 г.).

2. 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.

3. 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.

4. 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).

Достоверность и обоснование результатов диссертационной работы не вызывают сомнения и обусловлены использованием современных, взаимодополняющих, аттестованных физико-механических методов и методик при исследовании микроструктуры и свойств полученных материалов, готовых изделий на их основе и защитных покрытий.

Результаты, представленные в диссертационной работе, показывают, что полученные металлокерамические композиционные материалы на основе карбида титана с улучшенными физико-механическими свойствами могут быть получены за одну технологическую стадию в процессе СВС-экструзии и успешно применены на практике.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, опубликованы в 19 печатных работах, в том числе в 8 статьях в реферируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК и базы данных Web of Science и Scopus (в т.ч. Q1), 11 тезисах в сборниках трудов международных конференций, получен 1 патент РФ и 1 ноу-хау, что является хорошим показателем для кандидатской диссертации.

Замечания по работе:

1. При измерении скорости горения на рис. 27 (см. диссертацию) отложены временные промежутки, соответствующие температуре 1000 °С. Не понятно, почему выбрана именно эта температура, и будет ли скорость горения отличаться от представленных значений в табл. 12, если временные промежутки выбрать при других температурах. Имеется аналогичное замечание и для измерений скорости горения материалов на основе TiC-(20-40)NiCr-(5,10)W (рис. 49 и табл. 18).

2. В табл. 14 (см. диссертацию) приведены результаты зависимости влияния массового содержания нихрома и никеля на степень деформации при времени задержки равном 0 секунд. Необходимо было в тексте диссертации привести пояснения, почему выбрано именно это время и как бы вела себя полученная зависимость, если это время было увеличено.
3. В диссертации на 74 странице, указано, что средний размер карбидных зерен напрямую зависит как от температуры шихтовой заготовки, так и от скорости горения, а несколько ниже уже указано и о влиянии температуры горения, что вносит некоторое недопонимание в представленной информации.
4. В диссертации показано, что в процессе горения и последующего высокотемпературного сдвигового деформирования из исходных порошковых материалов титана, сажи, нихрома и вольфрама, формируются, в том числе, сложный карбид со стехиометрией $(Ti_{0,97}C_{0,03})C$ и карбид Cr_3C_2 за счет расплава нихрома. Возникает вопрос, если из нихрома в карбиды частично ушел хром, то куда мог подеваться освободившийся никель, т.к. на полученных рентгенограммах отмечен только нихром и нет свободного никеля.
5. При проведении коррозионных испытаний автором было выбрано 3 дезинфицирующих раствора «Венделин», «Трилокс» и «Мегадез Орто», но по тексту диссертации нигде не представлена концентрация данных растворов.
6. Общие замечания: по тексту встречаются мелкие опечатки, некоторые рисунки стоило бы увеличить в масштабе, для полученных значений механических характеристик стоило бы привести погрешности измерений, на некоторых графических зависимостях необходимо было привести доверительные интервалы.

Диссертационная работа, несмотря на сделанные замечания, является актуальной и новаторской. Результаты, полученные в ходе исследования,

имеют значительную научную и практическую ценность, а сделанные замечания никак ее не снижают. Учитывая актуальность и новизну полученных результатов, считаю, что диссертационная работа Антипова Михаила Сергеевича «Влияние нихрома и вольфрама на структуру и свойства композиционных материалов на основе карбида титана, полученных СВС-экструзией» выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Результаты работы полностью отражены в автореферате и опубликованных работах. Диссертационная работа М.С. Антипова полностью удовлетворяет Положению о присуждении ученых степеней, утвержденному постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (п. 9), 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».

Я, Борис Борисович Страумал, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Михаила Сергеевича Антипова, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией поверхностей раздела в металлах, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук, г. Черноголовка

Б.Б. Страумал

Страумал Борис Борисович

142432, г. Черноголовка, Московская область,

ул. Академик Осипьяна, д.2

e-mail: straumal@issp.ac.ru

тел. (496)52 283-00

Дата составления отзыва «02» сентября 2025 года

Подпись Б.Б. Страумала заверяю

Ученый секретарь ИФТТ РАН,

к.ф.-м.н.



Алексей Николаевич Терещенко
Алексей Николаевич Терещенко