

УТВЕРЖДАЮ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук

119991 г. Москва, ул. Косыгина, д.4

Телефон: 8-499-137-29-51

Факс: (495) 651-21-91

E-mail: icp@chph.ras.ru

18.09.2025 № 68-11/794

На № _____



И.о. директора ФИЦ ХФ РАН

Д.Ф.М.Н.

Чертович А. В.

» сентября 2025

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н.
Семёнова Российской академии наук»

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»

Диссертационная работа Антипова М.С. посвящена изучению влияния высокотемпературного сдвигового деформирования на структуро- и фазообразование композиционных материалов на основе карбида титана с использованием нихрома и вольфрама, полученных СВС-экструзией. Полученные в ходе работы результаты представляют большой научный интерес и имеют, как фундаментальное значение для понимания механизмов структуро- и фазообразования материалов на основе карбида титана с использованием в условиях, сочетающих процессы горения и высокотемпературное сдвиговое деформирование, так и прикладное значение, заключающееся в использовании полученных материалов в качестве электродов для нанесения защитных покрытий.

Актуальность работы

Металлокерамические материалы, в том числе на основе карбида титана, относятся к конструкционным и функциональным, обладающим высокими механическими свойствами и химической стабильностью.

Применение таких материалов широко распространено в самолето- и ракетостроении, автомобильной промышленности, их используют в качестве жаропрочных и износостойких покрытий. Актуальной задачей на сегодняшний день является повышение физико-механических характеристик материалов и изделий на основе карбида титана ввиду постоянного повышения требований к их эксплуатационным характеристикам. К примеру, для увеличения ресурса работы металлорежущего и медицинского инструмента перспективным представляется использование электроискрового легирования (ЭИЛ). На сегодняшний день для нанесения защитных покрытий методом ЭИЛ используют электроды, изготовленные из твёрдых сплавов на основе карбида вольфрама марок ВК и ТК, которые дороги и дефицитны, а также не в полной мере выполняют высокие требования, предъявляемые к защитным покрытиям на инструменте. Для успешной реализации метода ЭИЛ для массового применения на предприятиях необходимо решить проблему с расходуемыми электродами. Получение электродных материалов энергоэффективным методом СВС-экструзии, сочетающим в себе горение с высокотемпературным сдвиговым деформированием, является перспективным и актуальным направлением в области создания новых металлокерамических материалов на основе карбида титана с повышенными механическими характеристиками.

В связи с вышеизложенным актуальность диссертационной работы Антипова Михаила Сергеевича, посвящённой изучению влияния высокотемпературного сдвигового деформирования на структуро- и фазообразование композиционных материалов на основе карбида титана с использованием нихрома и вольфрама, исследование их физико-механических характеристик и практического применения, не вызывает сомнений.

Актуальность работы также подтверждается выполнением следующих проектов:

1. 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.

Структура и объем работы

Работа 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** проведён литературный обзор, соответствующий тематике диссертационной работы. Литературный обзор включает в себя описание традиционных твёрдых сплавов групп ВК и ТК, основных методов их получения. Показана возможность реализации процесса СВС в сочетании с высокотемпературным сдвиговым деформированием для получения длинномерных стержней, применяемых в качестве электродов для нанесения защитных покрытий.

Во **второй главе** представлены объекты исследования и их характеристики, описание применяемого оборудования в данной работе и методики проведения экспериментов. Также приведены методики исследования получаемых образцов, которые включают в себя – исследование микроструктуры, фазового состава и физико-механических характеристик полученных материалов и покрытий на их основе. Все

исследования проводились при помощи стандартных, взаимодополняющих, аттестованных физико-химических методов и методик.

Третья глава посвящена изучению процесса СВС-экструзии материалов на основе TiC-NiCr и сопутствующих вспомогательных операций. Изучены температура и скорость горения в зависимости от относительной плотности шихтовых заготовок и формуемость материалов на основе TiC-NiCr. Экспериментально установлены оптимальные технологические параметры СВС-экструзии (время задержки, скорость плунжера пресса и давление прессования), при которых достигается максимальная длина стержня без видимых дефектов. Изучена особенность измельчения структуры при СВС-экструзии. Исследованы микроструктура и фазовый состав экструдированных стержней, и проведён сравнительный анализ физико-механических свойств с известными аналогами.

В четвёртой главе рассматривается СВС-экструзия материалов на основе TiC-NiCr при добавлении вольфрама в исходную смесь и сопутствующих вспомогательных операций. Изучена температура и скорость горения в зависимости от относительной плотности шихтовых заготовок и количества вольфрама, а также формуемость материалов на основе TiC-NiCr-W. Экспериментальным путём установлены оптимальные технологические параметры СВС-экструзии материалов на основе TiC-NiCr-W (время задержки, скорость плунжера пресса и давление прессования) при которых достигается максимальная длина стержня без видимых дефектов. Исследована микроструктура и фазовый состав экструдированных стержней и проведён сравнительный анализ физико-механических свойств с известными аналогами. Показано, что введение до 10 масс. % W в исходную шихту ведёт к повышению микротвердости до 26,3 ГПа.

В пятой главе изучены закономерностей формирования легированного слоя методом электроискрового легирования (ЭИЛ) на металлических подложках из стали Р6М5 при нанесении покрытий металлокерамическими стержнями, полученными в ходе СВС-экструзии на основе TiC-NiCr и TiC-

NiCr-W. Изучен фазовый состав и микроструктура нанесенных защитных покрытий. Представлены зависимости влияния энергии разряда на толщину формируемого покрытия и шероховатость. Приведены результаты трибологических испытаний нанесённых защитных покрытий стержнями, полученными в настоящей диссертационной работе, которые были сравнены с известными аналогами. Проведена сравнительная оценка коррозионной стойкости и микробной адгезии (*S. aureus* и *C. albicans*) образцов, изготовленных из стали 08X17H13M2T с защитными покрытиями, под влиянием щелочных дезинфектантов. Представлено практическое применение экструдированных стержней в качестве электродов для нанесения защитных покрытий на сверла и ножи.

Научная новизна диссертационной работы состоит в том, что:

1. 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.

2. Впервые выявлена 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. Показано, что размер карбидных зёрен уменьшается до 5,4 раза с увеличением доли нихромовой связки.

3. 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 $(Ti_{0,97}Cr_{0,03})C$ и $(Ti_{0,6}W_{0,4})C$ и зерен WC,

расположенных в матрице NiCr. Установлено, что добавление до 10 масс. % W в исходную шихту ведёт к увеличению микротвердости до 26,3 ГПа.

4. 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 результатов 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).

Основные результаты диссертации опубликованы в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ. По результатам исследования получен один патент РФ и ноу-хау.

Достоверность результатов диссертационной работы обусловлена наличием значительного количества экспериментальных данных, использованием современных, взаимодополняющих, аттестованных физико-химических методов и методик при исследовании микроструктуры и свойств полученных материалов и готовых изделий на их основе.

По диссертационной работе Антипова М.С. имеются следующие замечания:

1. На странице 66 автор пишет: «С другой стороны, чем больше металлической связки в материале, тем в большей степени она забирает тепло, выделенное из ведущей реакции $Ti+C$, которое уходит на её нагрев и плавление, тем самым снижая формуемость синтезированного материала». Зачем писать ведущая реакция, если и так понятно, что только реакция между титаном и углеродом способна выделять тепло в данной системе.

2. В п. 3.2 приведены результаты влияния доли металлической связки Ni на степень деформации синтезированного материала без должного уточнения необходимости и значимости полученных результатов.

3. На представленных рентгенограммах на рис. 41, 42, 44, 59, 60 и 61 указаны сформированные в ходе синтеза и последующего деформирования сложные карбиды. Для понимания отклонения характеристических пиков полученных фаз от стандартных положений, автору стоило привести рентгенограмму для чистого карбида титана.

4. С чем сравнивалось покрытие на стоматологическом экскаваторе — только с исходным инструментом? Почему не проводились эксперименты с коммерчески доступными покрытиями медицинских инструментов для последующего сравнения коррозионной стойкости и микробной адгезии?

5. В выводе № 5 на 127 стр. диссертационной работы говорится о повышении микротвердости материалов, модифицированных вольфрамом. Уместно было бы привести краткие пояснения с чем связано такое повышение.

6. В диссертационной работе приведены результаты измерений физико-механических свойств полученных материалов, при этом практически все результаты приведены без относительной погрешности.

Отметим, что сделанные замечания не снижают научную и практическую значимость полученных результатов, а являются рекомендательными или уточняющими отдельные моменты.

Представленная к защите диссертационная работа Антипова Михаила Сергеевича «Влияние нихрома и вольфрама на структуру и свойства композиционных материалов на основе карбида титана, полученных СВС-экструзией» имеет высокую научную и практическую ценность. Автореферат и публикации в научных изданиях подробно отражают содержание диссертационной работы. Выводы диссертации полны, логичны и обоснованы. Работа прошла апробацию на отечественных и международных конференциях, а её наиболее значимые результаты опубликованы в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК. Автореферат диссертации отражает её содержание и основные результаты.

Полученные результаты расширяют представления о закономерностях структуро- и фазообразования, а также формирования материалов на основе карбида титана с использованием нихрома и вольфрама в условиях, сочетающих процессы горения и сдвигового высокотемпературного деформирования, реализуемых в методе СВС-экструзии.

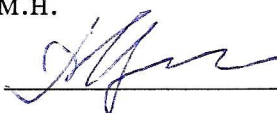
Высказанные замечания не носят существенного характера и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Антипова М.С. Тема работы актуальна и соответствует специальности 1.3.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества». Результаты работы свидетельствуют о способности диссертанта решать сложные экспериментальные задачи в области получения инновационных материалов. Диссертация Антипова М.С. представляет законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую Положению о присуждении

учёных степеней, утверждённому постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (п. 9).

Доклад Антипова М.С. по материалам диссертационной работы на тему «Влияние нихрома и вольфрама на структуру и свойства композиционных материалов на основе карбида титана, полученных СВС-экструзией» заслушан на научном семинаре отдела горения и взрыва Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семенова РАН. Отзыв обсуждён и одобрен на расширенном семинаре отдела «Горения и взрыва» 12 сентября 2025 года.

На основании изложенного считаем, что работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Антипова М.С заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества».

гл.н.с. лаборатории 1313 ФИЦ ХФ РАН, д.ф.-м.н.

 Крупкин В.Г.

подпись гл.н.с. д.ф.м.-н. Крупкина В.Г. заверяю

учёный секретарь ФИЦ ХФ РАН д.ф.-м.н.



 Михалёва М. Г.

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук»

Адрес: 119991, Москва, ул. Косыгина, 4.

Телефон: +7 499 137-29-51

Сайт организации: <https://www.chph.ras.ru>

e-mail: icp@chph.ras.ru