

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Мохаммада Абеди «Высокоскоростное искровое плазменное спекание порошков на основе систем Cu–Cr, Ni–Al и $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiC}$ », представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы» и состоявшейся в НИТУ «МИСиС» 15 июня 2022 года.

Диссертация Мохаммада Абеди принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 11 апреля 2022 года, протокол №1.

Диссертация выполнена на кафедре порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Мукасян Сергей Александрович, профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС».

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (протокол № 1 от 11.04.2022) в составе:

1. Левашов Евгений Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой порошковой металлургии и функциональных покрытий, директор НУЦ СВС МИСиС-ИСМАН НИТУ «МИСиС» - председатель комиссии.

2. Штанский Дмитрий Владимирович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник НУЦ СВС МИСиС-ИСМАН, заведующий НИЛ «Неорганические наноматериалы», профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС».

3. Еремеева Жанна Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС».

4. Ножкина Алла Викторовна, доктор технических наук, научный руководитель лаборатории №1 «Исследование алмазов, синтеза сверхтвердых материалов и оценки соответствия изделий из них» АО ВНИИАЛМАЗ.

5. Шляпин Сергей Дмитриевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и технология обработки материалов», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

В качестве ведущей организации утверждено Федеральное государственное бюджетное учреждение науки – Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова РАН (ИСМАН)

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция использования методов искрового плазменного спекания (ИПС), реакционного искрового плазменного спекания (РИПС) и высокоскоростного искрового плазменного спекания (ВИПС), основанная на теоретическом анализе и изучении влияния экстремальной скорости нагрева и импульсного постоянного тока на протекание массопереноса, реакционную способность и кинетику спекания на примере систем Cu–Cr, Ni–Al и $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$, позволившая унифицировать подходы к консолидации различных композиционных материалов, выявить качественно новые закономерности формирования их структуры в процессе ВИПС и управлять их структурой и физико-механическими свойствами;

предложен нетрадиционный подход к выбору наиболее эффективного метода искрового плазменного спекания для получения беспористых композиционных материалов с помощью численного моделирования на программном комплексе COMSOL Multiphysics® для расчета распределения тепловых и электрических полей в порошковой системе Cu/Cr и псевдосплавах системы Cu-Cr в процессе ВИПС, что позволило получить научно-обоснованные представления о механизме спекания и объяснить его эффективность;

предложены оригинальные суждения о том, что в процессе ВИПС смеси $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ основная усадка происходит после достижения температуры 1300 °С, когда керамика становится электропроводящей, что способствует более полному уплотнению в течение короткого промежутка времени;

доказана перспективность использования метода ВИПС для получения высокоплотных материалов различной природы.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения о том, что при использовании метода ВИПС практически беспористый керамический композиционный материал $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ (с относительной плотностью, близкой к 100 %) получается при значительно меньшем потреблении энергии по сравнению с традиционным ИПС. Показано, что в сравнении с ИПС и РИПС при скорости нагрева 100 К/мин и времени выдержки 10 мин, ВИПС позволяет консолидировать материал с аналогичной плотностью за 40 секунд;

применительно к проблематике диссертации результативно с получением обладающих новизной результатов **использован комплекс инструментальных методов** исследования (растровая и просвечивающая электронная микроскопия, Рамановская спектроскопия, рентгеноструктурный фазовый анализ);

изучены факторы, влияющие на микроструктуру материалов при спекании. Показано, что быстрое изменение приложенной электрической мощности при ВИПС приводит к неравномерному распределению плотности тока и температуры консолидируемого материала, что объясняет структурную трансформацию - неоднородное распределение плотности тока по объему образца создает температурный градиент, влияющий на формирование его микроструктуры.

Путем сравнения РИПС на примере реакционноспособных композиционных частиц Ni/Al с ИПС химически инертного порошка NiAl **изложены доказательства того, что** основной вклад в уплотнение материала вносит химическая реакция, инициирование которой при 530 К приводит к четырехкратному увеличению скорости усадки и обеспечивает более высокую степень уплотнения.

На основе изучения временных зависимостей параметров спекания (температуры, силы тока, напряжения, смещения электрода и давления) **выявлены особенности** спекания керамических композитов $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ в процессе ВИПС, проявляющиеся в том, что основная усадка происходит после достижения температуры 1300 °С, при которой непроводящая керамика становится электропроводящей, что приводит к быстрому уплотнению без изменения фазового состава: оксид алюминия и карбид кремния. Наилучшее сочетание механических свойств получены у керамики состава 80 вес. % Al_2O_3 + 20 % SiC: относительная плотность 99 %, твердость 20,3 ГПа и трещиностойкость 7,5 МПа/м^{1/2}.

Изложены условия и установлены основные закономерности влияния различных параметров искрового плазменного спекания на консолидацию, структуру и свойства

различных систем (на основе металлов, интерметаллидов и керамик) в условиях высокоскоростного нагрева в процессе ВИПС, позволившие выявить наличие пороговых значений плотности электрического тока, при превышении которых происходит существенное изменение размера структурных составляющих по объему образца.

Изложены доказательства того, что при сопоставлении ИПС химически инертного порошка NiAl, РИПС реакционноспособных композиционных частиц Ni/Al при высокой скорости нагрева, а также РИПС в условиях относительно низкой скорости реакции, количество примесного кислорода обратно пропорционально скорости нагрева - чем выше скорость нагрева, тем меньше поглощение кислорода.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработан регламент на процесс изготовления объемных наноструктурированных композитов Cu/Cr методом высокоскоростного искрового плазменного спекания (ВИПС) и выданы рекомендации к их использованию в качестве износостойкого электроконтактного материала;

- методом ВИПС изготовлены экспериментальные образцы из композита 80% вес. Al_2O_3 +20% SiC с высоким сочетанием трещиностойкости и твердости, которые прошли успешные испытания в ООО «Керамобрикет М» в качестве режущего инструмента при чистовой обработке изношенных валцов из сверхпрочной стали.

Оценка достоверности результатов исследования выявила следующее:

Для экспериментальных исследований использовано передовое аналитическое оборудование. Оценка калибровочных кривых и полученных результатов произведена с использованием статистической обработки и численного моделирования быстрой консолидации при ВИПС, существенно повышающих достоверность результатов. Идея работы базируется на анализе мирового опыта в области теории и практики получения порошковых композиционных материалов искровым плазменным спеканием.

Личный вклад соискателя состоит в анализе научно-технической информации по теме исследования, в получении и обработке экспериментальных данных, анализе и обобщении результатов. Обсуждение и интерпретация полученных результатов, формулировка основных положений, научной новизны, практической значимости и выводов диссертационной работы производилась совместно с научным руководителем и соавторами научных публикаций.

Соискатель представил 4 статьи, опубликованные в журналах из перечня ВАК и входящих в базы данных Scopus, Web of Science. Результаты диссертационной работы Абеди Мохаммада обсуждались на международных конференциях.

Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Мохаммада Абеди соответствует критериям п.2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней разработаны новые научно-обоснованные технические решения проблемы получения методом высокоскоростного искрового плазменного спекания высокопрочных металлических и керамических композитов в системах Cu-Cr, Ni-Al и $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$, имеющие существенное значение для различных областей применения, в том числе для высоковольтных коммутирующих электроконтактов на предприятиях АО НПП «Контакт» и АО «Полема».

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Мохаммаду Абеди ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 5 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 5, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии



Е.А. Левашов

15.06.2022