

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации П.А. Сдвиженского на тему: «Разработка метода непрерывного контроля химического состава композиционных покрытий в процессе коаксиальной лазерной наплавки», представленной на соискание ученой степени по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы» и состоявшейся в НИТУ «МИСиС» 02 марта 2022 года.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 20 декабря 2021 года, протокол №34.

Диссертация выполнена на кафедре сертификации и аналитического контроля НИТУ «МИСиС» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Леднев Василий Николаевич, ведущий научный сотрудник Центра Биофотоники Института Общей Физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (протокол № 34 от 20.12.2021) в составе:

1. Левашов Евгений Александрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС», директор Научно-учебного центра СВС НИТУ «МИСиС» - председатель комиссии;

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

3. Петржик Михаил Иванович – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «In situ диагностика структурных превращений», профессор кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий НИТУ «МИСиС»;

4. Ножкина Алла Викторовна – доктор технических наук, профессор, научный руководитель лаборатории «Исследование алмазов, синтеза сверхтвердых материалов и оценка соответствия изделий из них» АО «Научно-исследовательский институт природных, синтетических алмазов и инструмента» (АО «ВНИИАЛМАЗ»);

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

В качестве ведущей организации утверждено Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН) г. Москва.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана новая экспериментальная методика**, позволившая расширить границы применимости метода спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы для непрерывного определения химического состава покрытий в процессе их получения лазерной наплавкой;
- **разработана новая научная идея** о возможности применения спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы для оценки равномерности распределения

компонентов по глубине покрытия за счет совмещения лазерных импульсов наносекундной и микросекундной длительности;

- **предложен** нетрадиционный подход мониторинга химического состава газопорошковой смеси при коаксиальной лазерной наплавке износостойких покрытий, заключающийся в лазерном пробоотборе на выходе из коаксиального сопла, что позволяет своевременно обнаруживать возможные отклонения состава от заданного и вносить необходимые коррективы;
- **доказана** перспективность использования новой идеи применения спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы для мониторинга и контроля процессов в аддитивных технологиях.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказано положение**, что воздействие сдвоенными нано- и микросекундными импульсами в сочетании со спектрометрией лазерно-индуцированной плазмы позволяет в течение нескольких секунд идентифицировать положение отдельных частиц карбида вольфрама в объеме покрытия;
- **изучены факторы**, влияющие на точность результатов определения химического состава путем индуцирования лазерной плазмы на летящих частицах в газопорошковой струе, что позволило выбрать оптимальную зону пробоотбора;
- **изучены закономерности** влияния приповерхностной плазмы, сформированной пучком непрерывного лазера, и температуры расплава, проявляющегося в снижении точности определения его химического состава за счет уменьшения соотношения сигнал-шум в спектрах при анализе методом спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы;
- применительно к проблематике диссертации результативно с получением обладающих новизной результатов **использован комплекс** инструментальных методов исследований (спектрометрия лазерно-индуцированной плазмы, сканирующая электронная микроскопия с блоком для рентгеноспектрального анализа, рентгенофлуоресцентные спектрометры, анализатор углерода методом инфракрасной абсорбции, рентгеновская компьютерная томография, сканирующая интерференционная микроскопия белого света).

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

- создан программно-аппаратный комплекс на базе установки коаксиальной лазерной наплавки с зондом спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы для исследования возможности проведения непрерывного химического анализа в режиме реального времени в процессе коаксиальной лазерной наплавки композиционных износостойких покрытий.
- разработан способ контроля стабильности подачи порошка в зону наплавки методом спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы. В депозитарии НИТУ «МИСиС» зарегистрировано ноу-хау №5-006-2021 ОИС от 20 апреля 2021 года «Способ лазерного определения стабильности подачи порошка в зону наплавки в процессе аддитивного производства».

- разработан способ экспресс оценки распределения частиц карбида вольфрама в никелевой матрице по глубине износостойкого покрытия, исключаящий предварительную пробоподготовку. В депозитарии НИТУ «МИСиС» зарегистрировано ноу-хау №4-006-2021 ОИС от 20 апреля 2021 года «Способ экспрессного измерения распределения частиц карбида вольфрама в композитных износостойких покрытиях».
- разработана методика спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы «Массовая доля вольфрама в расплаве при лазерной наплавке износостойких покрытий» для *in situ* химического анализа состава ванны расплава в процессе лазерной наплавки с точностью менее 10% относительно величины содержания.
- в ООО «Лероу» проведено испытание разработанного зонда, реализующего спектрометрию лазерно-индуцированной плазмы, для определения массовой доли вольфрама при наплавке покрытия с различным содержанием карбида вольфрама в матричном сплаве. По результатам испытаний зонд и методика измерения были рекомендованы к практическому применению при синтезе износостойких покрытий.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для экспериментальных исследований использовано передовое аналитическое оборудование. Оценка калибровочных кривых и полученных результатов произведена с использованием статистических показателей.
- идея работы базируется на анализе общемирового опыта в областях контроля процессов аддитивного производства и химического анализа методом спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы.

Личный вклад соискателя состоит в анализе научно-технической информации по теме исследования, участии в проектировании и создании зонда спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы, выборе параметров наплавки, проведении эксперимента, получении и обработке экспериментальных данных. 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 27 опубликованных работ, в том числе 14 статей индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science, Scopus, 13 тезисов докладов на международных конференциях. Кроме того, имеется 2 секрета производства, зарегистрированных в депозитарии ноу-хау НИТУ «МИСиС».

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

Диссертация Сдвиженского П.А. соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней на основании выполненных автором исследований разработаны новые научно-обоснованные технические и технологические решения задачи *in situ* контроля химического состава композиционных износостойких покрытий методом спектрометрии лазерно-индуцированной плазмы в процессе их получения коаксиальной лазерной наплавкой;

имеющие существенное значение для расширения и внедрения методов мониторинга и контроля процессов в инновационных аддитивных технологиях.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Сдвиженскому Павлу Александровичу ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «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

02.03.2022