ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ермакова Сергея Борисовича тему: «Разработка технологии и оборудования плазменного распыления порошков для аддитивных машин», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение

В последнее время интенсивно развиваются технологии аддитивного производства (АП), под которым в соответствии со стандартом ASTM F2792-12a (Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies) понимается процесс послойного соединения материалов для создания объектов по данным 3D-модели, что является существенным отличием от вычитающих технологий производства, предотвращающим возможность формирования характерных дефектов механообработки в поверхностном слое получаемых изделий (микротрещины, наклеп, прижоги и др.). Технологии АП относятся к категории ресурсосберегающих, поскольку отходы материала сведены к минимуму. В последние годы мировой рынок АП испытывает экспоненциальный рост и по оценкам экспертов составит в 2024 г. 19,74 млрд. $ [https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/additive-manufacturing-global-market-report], увеличившись с 16,14 млрд. $ в 2023 г. По имеющимся прогнозам, в ближайшие время ежегодный прирост продолжится и будет составлять 20,6 %, а в 2028 г. мировой рынок АП составит 41,69 млрд. $. Рост связан с расширением использования АП в аэрокосмической отрасли, медицине, в единичном и мелкосерийном производстве при получении изделий сложной пространственной конфигурации.

Однако, не смотря на очевидные преимущества АП, дальнейшее развитие этих современных технологий связано с необходимостью разработки новых и усовершенствования известных методов получения исходных порошков, к которым предъявляются специфические требования по форме и размерам частиц. При этом необходимо решить задачу существенного расширения номенклатуры порошков сложнолегированных сталей и сплавов, а также цветных сплавов, которые в настоящее время на рынке металлопродукции представлены в ограниченном объеме и являются дорогостоящими. Значительную проблему для достижения оптимального качества детали, а также максимального использования исходного порошка и, следовательно, экономичности и устойчивости процесса представляет собой структурная деградация порошка при АП. Серьезные трудности возникают в связи с формированием слоя трудновосстановимых оксидов Cr на поверхности частиц порошков нержавеющих сталей [Kazi S., Leach L., Hryha Ed. Changes in Powder Surface Chemistry During Reuse of 316L in Powder Bed Fusion – Laser Beam // Euro Powder Metallurgy 2024 Congress & Exhibition Proceedings, Malmö, Sweden, September 29 – October 2, 2024. DOI: 10.59499/EP246282011].

Изложенные выше соображения обусловливают актуальность диссертационной работы Ермакова С.Б., посвященной разработке технологии получения порошков черных и цветных металлов и их сплавов с требуемым хи-

ОТЗЫВ
ВХ. № 8-520 от 28.11.24

мическим и гранулометрическим составом, обеспечивающим прогнозируемые значения физико-механических свойств.

Среди наиболее значимых научных достижений автора следует назвать, прежде всего, разработку новых принципов распыления проволок из хромоникелевых сталей, которые были апробированы на макетной установке плазменного распыления. Выполнено компьютерное моделирование и разработана цифровая модель процесса распыления металлических проволок и термодинамических процессов, происходящих в колонне распыления плазменного атомайзера при одновременной работе одного и трех генераторов плазмы.

На основании компьютерного моделирования и расчетно-теоретического анализа процессов образования капли расплавленного металла, условий ее диспергизации, кристаллизации и охлаждения определены конструктивные и технологические параметры промышленной установки плазменной атомизации металлических порошков, обеспечивающие требуемый уровень качества порошковой продукции.

Установлены оптимальные параметры распыления металлических порошков в зависимости от химического состава, диаметров и скоростей подачи распыляемых проволок. Показана взаимосвязь между геометрической формой, гранулометрическим, химическим составами распыляемых порошков, технологическими режимами распыления металлической проволоки и механическими свойствами изделий, полученных из распыленных порошков.

Положительной оценки заслуживает также практическая часть работы, связанная с разработкой технологических режимов плазменного распыления порошков нержавеющих сталей, сплавов титана, никеля, меди. Автором получены опытные партии порошков, определены их физические и технологические свойства, доказана возможность их использования в АП. Установлено, что механические свойства образцов, полученных из распыленных порошков, соответствуют требованиям нормативно-технической документации на данные марки.

Изготовлен полноразмерный макет плазменного атомайзера, позволяющий исследовать процесс плазменного распыления, разрабатывать технологии производства и получать порошки сталей и сплавов цветных металлов заданного гранулометрического состава.

Разработана и промышленно опробована технология распыления металлических порошков нержавеющих сталей, сплавов титана, никеля, меди, предложены режимы распыления порошков в условиях промышленного производства. Полученные результаты внедрены в промышленность (ПАО «Северсталь» «ССМ-Тяжмаш»).

Представленные результаты достоверны, поскольку теоретические исследования выполнялись с использованием базовых положений и фундаментальных основ современного материаловедения, а экспериментальные – с применением стандартных и оригинальных методик, современной технологической и аналитической аппаратуры.

Замечания:

1. Отсутствует сравнение со свойствами порошков-аналогов и материалов на их основе, полученных по известным технологиям с использованием традиционного оборудования.

2. Не приведены конкретные значения параметров промышленной установки плазменной атомизации металлических порошков, обеспечивающие требуемый уровень качества порошковой продукции (с. 6).

Указанные замечания не затрагивают основных положений рецензируемой работы и не сказываются на её общей положительной оценке. Считаю, что диссертация «Разработка технологии и оборудования плазменного распыления порошков для аддитивных машин», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение, соответствует требованиям раздела 2 Положения о присуждении ученых степеней федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Ермаков Сергей Борисович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
«Материаловедение и технология машиностроения»
ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»
346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, д.132;
Тел. +7 (8635) 255 486. E-mail: dvyu56.56@mail.ru.
Я, Дорофеев Владимир Юрьевич, согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Ермакова С.Б.

Дорофеев Владимир Юрьевич

Подпись д. т. н., проф. Дорофеева Владимира Юрьевича заверяю:

Учёный секретарь
ученого совета
ЮРГПУ (НПИ) Холодкова Нина Николаевна