

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Давлятшина Романа Позоловича на тему: «Моделирование процесса аддитивного формирования металлических материалов с применением вибрационных воздействий методом гидродинамики сглаженных частиц», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность. Актуальность темы исследования обусловлена растущей потребностью современной промышленности в эффективных технологиях производства сложных металлических конструкций и деталей с оптимальным соотношением массы и прочности. Технология аддитивного формирования изделий методом послойной проволоочной наплавки позволяет решать эту задачу, однако получаемые материалы часто не достигают необходимого уровня механических характеристик из-за особенностей внутренней структуры, таких как дендритная структура, текстура и пористость. Известное благоприятное влияние вибрационных воздействий на структуру металлических изделий требует более глубокого изучения, особенно в контексте их влияния на геометрические параметры формируемых валиков при аддитивном производстве. При этом существующие математические модели и численные методы недостаточно учитывают влияние вибраций на процессы тепломассопереноса и динамику формирования металлических изделий, что делает актуальным развитие новых подходов к моделированию данных процессов, в частности, с использованием перспективного метода гидродинамики сглаженных частиц.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- 1) Впервые разработана математическая модель процесса тепломассопереноса на основе метода гидродинамики сглаженных частиц (SPH), позволяющая исследовать процесс послойной наплавки металлических изделий в условиях вибрационных воздействий. Данная модель учитывает комплекс физических явлений, включая термокапиллярные эффекты, испарение металла и динамику формирования капли расплава при вибрациях.
- 2) Численным экспериментом выявлено и подтверждено экспериментально, что направление приложения вибрационных воздействий оказывает существенное влияние не только на геометрические характеристики формируемых валиков (ширину, высоту), но и на форму фронта плавления и кристаллизации. Это позволяет более точно прогнозировать структурные особенности формируемых изделий при аддитивном производстве.
- 3) Установлен новый механизм влияния вибрационных воздействий различных направлений на глубину проплавления, заключающийся в изменении интенсивности термокапиллярных течений в ванне расплава. Показано, что вибрации способствуют более эффективному переносу тепла к корню ванны расплава, что приводит к увеличению глубины зоны проплавления, особенно при вертикальных колебаниях.

Практическая значимость выполненного исследования подтверждается разработкой программного комплекса, позволяющего рассчитывать ключевые параметры процесса аддитивного формирования металлических изделий методом послойной проволочной наплавки с учетом вибрационных воздействий (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022616021 от 04.04.2022). Созданные инструменты моделирования позволяют прогнозировать нестационарное объемное распределение температуры, скорости течения расплава, давление, форму и размеры расплавленной ванны, а также геометрические характеристики формируемых валиков, что дает возможность оптимизировать технологические параметры процесса аддитивного производства. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых технологий аддитивного производства в различных отраслях промышленности, обеспечивая повышение качества изготавливаемых изделий за счет управления их внутренней структурой и геометрическими характеристиками.

Достоверность результатов работы подтверждается следующими факторами: успешной верификацией математической модели путем сравнения с известными экспериментальными данными и аналитическими решениями, валидацией на основе натурных экспериментов с использованием современного оборудования, а также хорошей сходимостью численных расчетов с экспериментальными данными при исследовании геометрических характеристик наплавленных валиков. Дополнительно достоверность обеспечивается применением апробированных методик математического моделирования, включая метод гидродинамики сглаженных частиц (SPH), и корректным учетом физических явлений, таких как термокапиллярные эффекты, испарение металла и динамика формирования капли расплава. Полученные результаты согласуются с теоретическими положениями и экспериментальными наблюдениями других исследователей в области аддитивных технологий и сварочных процессов.

Публикации автора отражают основное содержание диссертации и соответствуют требованиям ВАК. Автореферат написан понятным научным языком, достаточно иллюстрирован результатами расчетов и свидетельствует о высокой квалификации соискателя.

К недостаткам автореферата стоит отнести:

- 1) Отсутствие четкого описания границ применимости разработанной математической модели, особенно в части ограничений по типам материалов и диапазонов технологических параметров процесса аддитивного формирования.
- 2) Недостаточно подробное раскрытие методологии проведения натурных экспериментов, в частности, информации о погрешностях измерений и статистической обработке экспериментальных данных, что затрудняет оценку достоверности полученных результатов.
- 3) Ограниченный объем экспериментальной верификации модели, так как большинство представленных результатов относится к численным экспериментам, а

Несмотря на перечисленные замечания, диссертационная работа соответствует требованиям п.9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакциях от 21.04.2016 № 335 и 12.10.18 № 1168), а её автор, Давлятшин Роман Позолович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

/ А.И. Хаймович

И.И. Васильев

E-mail: ssau@ssau.ru

/ А.И. Хаймович

2025