

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего
образования
«Санкт-Петербургский
государственный морской
технический университет»
(СПбГМТУ)**

Лощманская ул., д. 3, Санкт-Петербург, 190121
Тел. (812) 714-07-61; факс (812) 713-81-09;
e-mail: office@smtu.ru; http://www.smtu.ru
ОКПО 02066380; ОГРН 1027810221548;
ИНН/КПП 7812043522/783901001

23.05.2025 № 95/1416-23

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный морской
технический университет»



Д.И. Кузнецов

» май 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» на диссертационную работу Давлятшина Романа Позоловича «Моделирование процесса аддитивного формирования металлических материалов с применением вибрационных воздействий методом гидродинамики сглаженных частиц», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы выполненного исследования

Актуальность диссертационной работы обусловлена задачей повышения качества технологии аддитивного формирования крупногабаритных изделий методом проволоочной наплавки, сопровождающейся значительными температурными градиентами, крупнозернистой структурой и высокими остаточными напряжениями, ограничивающими уровень эксплуатационных характеристик деталей. Известным способом улучшения однородности металла является использование высокочастотных вибрационных воздействий в процессе проволоочной наплавки, однако их воздействие на тепломассоперенос и динамику ванны расплава остается недостаточно изученным. Экспериментальные методы исследования указанных процессов требуют дорогостоящих контрольно-измерительных приборов и не позволяют разделить проанализировать влияние различных факторов. В этой ситуации разработка математической модели,



способной анализировать совокупность явлений – от испарения и поверхностного натяжения до сложных конвективных течений в условиях внешних вибрационных воздействий – является необходимым для научно обоснованного выбора технологических режимов и дальнейшей цифровизации процессов аддитивного производства.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Сформулированные в диссертационной работе Р.П. Давлятшиным научные положения, выводы и рекомендации подтверждаются всесторонним анализом отечественных и зарубежных публикаций по тематике диссертационной работы; удовлетворительным соответствием данных натурных экспериментов и результатов, полученных в численных экспериментах по моделированию процесса проволочной наплавки; отсутствием логических противоречий в постановке и результатах; выводами диссертации, которые соответствуют положениям математического моделирования.

Научная новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Разработана математическая модель процесса проволочной наплавки под воздействием высокочастотных колебаний. Модель основана на методе сглаженных частиц, впервые примененном для совместного учета тепломассопереноса, фазовых превращений, парциального давления и динамики вибрационных воздействий.

Предложен оригинальный способ калибровки коэффициента поверхностного натяжения, основанный на численном воспроизведении сталагмометрического метода, что позволило согласовать расчетные параметры с реальными свойствами сталей, алюминиевых и титановых сплавов.

Проведена верификация математической модели на примере натурных экспериментов в широком диапазоне технологических режимов для трех наиболее распространенных в металлическом аддитивном производстве сплавов (12Х18Н10Т, АМг5, ВТ6). Ширина и высота одиночных валиков воспроизведены с точностью 5-10%, глубина проплавления – 10-15%.

Установлены механизмы влияния вибрационных воздействий на формирование одиночных валиков. Показано, что колебания, направленные нормально к подложке, увеличивают глубину проплавления за счет усиления термокапиллярных течений и ускоренному переносу тепла к корню ванны расплава. Продольные колебания сужают валик и стабилизируют его высоту, поперечные колебания приводят к увеличению ширины одиночного валика и одновременно с этим снижают глубину проплавления.

Значимость результатов для науки

Разработанная математическая модель, алгоритмы и программа для ЭВМ могут быть применены для исследования процессов, протекающих при проволоочной наплавке.

Форма фронта кристаллизации и величина градиента температуры в его окрестности, получаемые в процессе численной реализации, будут полезны при решении задачи кристаллизации с определением параметров зёрненной структуры.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанная модель, алгоритмы и программа для ЭВМ могут быть включены в состав прикладных программ компьютерного моделирования и инженерного анализа процесса проволоочной наплавки.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Достоверность подтверждена удовлетворительным согласием данных натурных экспериментов и результатов, полученных в численных экспериментах процесса проволоочной наплавки различных металлических материалов, в том числе с применением вибрационных воздействий. Полученные новые результаты широко доложены на научных конференциях. Основные результаты исследований по теме диссертации представлены в 8 научных статьях, опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК и входящих в базы цитирования Web of Science и/или Scopus. Проведена государственная регистрация разработанной программы для ЭВМ.

Оценка содержания диссертации и автореферата

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Общий объем диссертационной работы составляет 134 страниц, библиографический список включает 179 источников. Материал достаточно полно раскрыт в соответствии с поставленными целями и задачами. Автореферат диссертации правильно и полно отражает ее содержание. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в научной и технической литературе. Публикации в достаточной мере отражают основные научные результаты соискателя.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности

Диссертационная работа Давлятшина Романа Позоловича соответствует паспорту специальности 1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: пункту № 2 – «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий»; пункту № 3 – «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента» и пункту № 4 – «Разработка новых

математических методов и алгоритмов интерпретации натурного эксперимента на основе его математической модели».

Замечания по содержанию и оформлению работы

1. Валидация численных результатов показала расхождения с экспериментом, не превышающие 10–12 % по геометрическим параметрам сварочного валика (ширина, высота, глубина проплавления) для сталей, титановых и алюминиевых сплавов; однако сопоставление не учитывает сравнение распределения температур в зоне наплавки, что снижает полноту оценки достоверности модели.
2. В диссертации представлены результаты численного анализа влияния наложенных вибрационных воздействий на присадочную проволоку, однако натурных экспериментов по формированию сварочного валика в аналогичных условиях не проведено. В связи с этим экспериментальная верификация предполагаемого негативного эффекта остаётся неполной и требует дальнейших исследований.
3. Работа содержит обширный справочный материал; часть громоздких таблиц можно было вынести в приложение, тем самым усилив фокус на ключевых результатах.
4. В работе не приведены сведения о влиянии вибрационных воздействий на механические свойства формируемого материала.
5. Не достаточно раскрыты вопросы выбора частоты вибрационных воздействий при проведении численных и натурных экспериментов.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Таким образом, диссертация Давлятшина Романа Позоловича «Моделирование процесса аддитивного формирования металлических материалов с применением вибрационных воздействий методом гидродинамики сглаженных частиц» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной задачи математического моделирования, связанной с разработкой модели, вычислительных алгоритмов и программ для исследования влияния высокочастотных вибрационных воздействий на тепломассоперенос и динамику ванны расплава в процессе аддитивного формирования металлических материалов, соответствует п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакциях от 21.04.2016 № 335 и от 12.10.2018 № 1168), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Давлятшин Роман Позолович, заслуживает присуждения ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Цифровые лазерные технологии» факультета цифровых промышленных технологий ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», протокол №8 от 22 мая 2025г.

Отзыв составили:

Ректор СПбГМТУ,

заведующий кафедрой «Цифровые лазерные технологии» СПбГМТУ,

д-р. техн. наук

Туричин Глеб Андреевич

Доцент кафедры «Цифровые лазерные технологии» СПбГМТУ,

канд. техн. наук

Земляков Евгений Вячеславович

Сведения о ведущей организации

Наименование организации: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» (СПбГМТУ)

Адрес: 190121, г. Санкт-Петербург, Лоцманская ул., д. 3

Тел. (812) 714-07-61, факс (812) 713-81-09

e-mail: office@smtu.ru;

Сайт: <http://www.smtu.ru>

Я, Туричин Глеб Андреевич, даю согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы, связанные с защитой диссертации Давлятшина Романа Позоловича «Моделирование процесса аддитивного формирования металлических материалов с применением вибрационных воздействий методом гидродинамики сглаженных частиц», и их дальнейшую обработку

Г.А. Туричин/

Я, Земляков Евгений Вячеславович, даю согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы, связанные с защитой диссертации Давлятшина Романа Позоловича «Моделирование процесса аддитивного формирования металлических материалов с применением вибрационных воздействий методом гидродинамики», и их дальнейшую

обработку

/Е.В. Земляков/

заверяю