

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Гордеева Георгия Андреевича на тему: «Моделирование теплофизических процессов в порошках металлов при селективном лазерном плавлении», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Представленная в автореферате работа направлена на развитие методов физико-математического описания процесса селективного лазерного плавления (СЛП) порошковых металлических материалов на основе численного моделирования теплофизических процессов, происходящих при высокоэнергетическом воздействии импульсным лазером (ИЛ). Данное направление исследований, безусловно, представляет значительный научный и практический интерес обусловленный, в первую очередь, интенсивным развитием аддитивных технологий. Полученные в работе результаты могут быть успешно использованы при создании систем «цифровой двойник материалов», позволяющих перейти к новой форме производства деталей и оборудования на основе «виртуального» представления объектов с точным математическим и физическим описанием его структуры, свойств и технологий получения.

Автореферат содержит все необходимые для научной работы-диссертации разделы: актуальность темы, цели и объекты исследований, научную новизну и личный вклад автора. В конце приведены основные выводы и список основных публикаций автора. В основной части приведено краткое содержание четырех глав диссертации.

Сильной стороной представленной работы является то, что в ней удалось разработать и реализовать модель СЛП с учетом фазовых переходов и конвективных течений в расплаве порошкового слоя с учетом локальной пористости, компактирования и усадки многофазной системы. На основе изучения влияния управляющих параметров ИЛ обработки на процесс СЛП порошка железа, автор предлагает верифицированную (путем сравнения с результатами экспериментов) методику поиска рациональных режимов ИЛ обработки методом СЛП.

В качестве замечаний отмечу, что на рисунке 4 (ни в цветном, ни в черно-белом варианте) мне не удалось найти серую линию которая должна обозначать подведенную за время расчета ( $tk$ ) энергию  $I2(tk)$ .

Вопросы к соискателю:

- 1) во второй главе отмечается, что «Пористость в подложке принималась равной нулю, поэтому уравнение (3) для подложки не применялось, а уравнение (2) было модифицировано для полностью сплавленного



металла». Насколько справедливо предположение о нулевой пористости подложки, с учетом того факта, что, как указано в автореферате, считается, что подложка получена в результате предыдущих процессов СЛП. Какую ошибку в расчеты вносит сделанное предположение? Какую пористость имеет экспериментально полученный образец после СЛП?

- 2) Из автореферата не понятно, является ли подложка в начальный момент времени идеальной плоскостью или может представлять собой трехмерную структуру (шероховатость, поры...). Как учет 3d-формы поверхности подложки может повлиять на формирование конечно-элементной (КЭ) сетки и подобранные режимы обработки ИЛ?
- 3) Учитывает ли модель взаимодействие расплавленных частиц металла с газом в межчастичном пространстве в процессе лазерной обработки? Например, окисление металла приведет к существенному изменению теплопроводности и соответственно распределению потоков тепловой энергии в системе.

Несмотря на сделанные замечания и поставленные вопросы необходимо отметить, что работа выполнена на хорошем научном уровне, прошла апробацию на научных мероприятиях международного и российского уровня, результаты опубликованы в ведущих научных журналах рекомендованных ВАК. На мой взгляд, работа удовлетворяет всем необходимым требованиям ВАК к кандидатской диссертации и автор заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Я, Трубицын Виктор Юрьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Гордеева Георгия Андреевича, и их дальнейшую обработку.

Трубицын Виктор Юрьевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией машинного обучения и обработки «больших» данных производственных киберсистем Удмуртского федерального исследовательского центра УрО РАН, адрес организации: 426067, г. Ижевск, ул. им. Татьяны Барамзиной, 34; тел.: 8 (3412) 50-82-00; e-mail: tvy@udman.ru

Трубицын Виктор Юрьевич

07.09.2020

Подпись Трубицына Виктора Юрьевича подтверждаю.

Директор  
УИИ  
УрО РАН

И.Ф. Аликс