

ОТЗЫВ
официального оппонента на диссертацию
Дуброва Александра Владимировича
«Оптическая диагностика течения расплава металла
в технологии резки с использованием СО₂-лазера»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 05.27.03 – «Квантовая электроника»

Хотя лазерные технологии широко используются в разных сферах практически со времени появления лазеров, однако, на ранних этапах это происходило в основном с помощью эмпирических подходов. В современных условиях при производстве 3D-изделий точного и сложного машиностроения, медицинского оборудования и др. основной акцент в этой отрасли делается на оптимизации процесса воздействия лазерного излучения разных длин волн и длительностей на вещество в аспекте энергосбережения и бережливого производства для каждой операции комплексного процесса в целом, на формировании лазерного пучка высокого качества с контролируемыми параметрами (не только амплитудными/мощностными, но и поляризационными) под разные задачи производства в частности, и на управлении процессом лазерной обработки материалов с учетом требуемых их функциональных и конструкционных характеристик в конечных изделиях в особенности.

В связи с этим исключительное значение приобретает исследование фундаментальных явлений, определяющих лазерный технологический процесс в динамике с возможностью управления им заданным образом в реальном масштабе времени. Поэтому представленная диссертационная работа, где детально рассмотрены задачи оптической диагностики течения расплава металла при воздействии СО₂-лазера, является актуальной и значимой для различных приложений, прежде всего, при повышении эффективности и качества технологии лазерной резки.

Соискатель в основном достиг поставленной цели и решил соответствующие задачи исследования.

В обзорной части диссертации (глава 1) им достаточно полно обсуждены методы и подходы к построению систем мониторинга в реальном масштабе времени для оптимизации процесса лазерной резки и обработка данных. Акцент сделан на физических явлениях и их комбинациях, определяющих особенности газолазерной резки (газо- и гидродинамические, оптические, термодинамические, пирометрические, химические процессы и эффекты).

Среди наиболее значимых и оригинальных результатов, полученных автором, считаю необходимым отметить следующие.

Первое. Изучены (глава 2) температурные неустойчивости в локальных областях фронта лазерного реза и выявлены режимы их усиления/подавления как из-за конкуренции разных механизмов их возникновения в принципе для разных материалов (в диссертации – в основном, листы мягкой стали марка Ст.3 толщиной 3мм и 6мм) и из-за изменяемой топологии неоднородностей на поверхности материала, так и из-за сильной (нелинейной) зависимости коэффициента поглощения светового излучения от угла его падения в металлах. При этом создан программно-аппаратный комплекс с использованием

непрерывного CO₂-лазера ($\lambda=10.64$ мкм, мощностью до 1.5 кВт), допускающий регистрацию одновременно в 4-х областях фронта реза. Это позволяет его интегрировать в автоматизированное лазерное промышленное оборудование. Разработанные методы автокорреляционного анализа температурных неустойчивостей/колебаний представляют как отдельный научный интерес, так и важны для различных приложений.

Второе. Измерены (глава 3) в зависимости от условий эксперимента (скорости резки) динамические характеристики случайных температурных неоднородностей, определена множественность скоростей течения поверхности расплава (в диапазоне 5-15 м/с), топология возникающих возмущений, волновые режимы с их сменой и частотные характеристики – в низкочастотной области 400 Гц (на листе стали 6 мм) и 800 Гц (3мм) с разработкой соответствующих алгоритмов обработки данных экспериментов для разных режимов, в т.ч. при их смене в процессе резки. Это позволяет производить технологический процесс лазерной резки (на скоростях в несколько десятков мм/с) контролируемым образом при вариации соответствующих управляющих параметров воздействия излучения CO₂-лазера на материал.

Третье. Фундаментальное значение имеет проведенный диссертантом анализ (глава 4) нелинейных волновых процессов (мм-диапазона) на поверхности расплава и рассмотрение их параметров в рамках аналитической модели гидродинамики – течение пленки под действием газового потока в условиях ее увлечения (через механизм пульсаций давления и касательного напряжения на межфазной поверхности) турбулентным потоком газа при использовании давления вспомогательного газа (кислорода) до 0.6 МПа. Сама эта задача – одна из проблем в нелинейной динамике волновых процессов, где отсутствует общепринятая модель, описывающая динамику расплава и образование неоднородных структур при лазерной резке образцов. Здесь за автором можно закрепить ряд достижений в его конкретной области исследований, в частности, при высоких скоростях лазерной резки (для определенной толщины металла).

Недостатки.

1. Формулировка защищаемых положений, понятная и убедительная по содержанию, но по форме больше соответствует результатам работы и ее выводам.
2. При рассмотрении оптической диагностики течения расплава нет сравнений с методами прямого наблюдения динамического процесса в реальном масштабе времени с помощью хорошо известного лазерного проекционного микроскопа (с лазером на парах меди), который именно для задач диагностики расплава очень информативен.
3. Структура организации материала диссертации вызывает ряд вопросов. Во-первых, для экспериментальной работы с объемом глав в 13-25 страниц выглядят не стандартно (тем более, на фоне 5 страниц Введения и 3 страниц Заключения). Более того, когда в оригинальных графах много вспомогательного описательного материала, например, приводятся зависимости из литературных источников (например, фрагмент со ссылкой на работу [93] в главе 4 (п.4.1), с. 100). Во-вторых, теоретические сегменты работы опираются на физически ясные, но простые модели. Современные методы анализа широко используют имитационное моделирование с вариацией условий эксперимента, которое именно для лазерно-индуцированных пространственно-временных

неустойчивостей и динамических устойчивых/локальных структур оказываются весьма полезными в аспекте реализации управляемого лазерного технологического процесса. Здесь же возникает вопрос выбора вспомогательного газа (почему только кислород?). В-третьих, в Заключение 12 выводов, весьма многословных, – это все же много для кандидатской диссертации.

Приведенные замечания имеют технический характер, не затрагивают существо работы в целом и являются скорее пожеланиями для будущей работы соискателя. Представленная диссертация является законченным на определенном этапе научным трудом. В ней получен ряд принципиальных результатов с несомненной новизной в области многоканальной (двухцветной) пирометрической регистрации теплового излучения (с применением пирометра собственной разработки) одновременно из нескольких областей лазерного реза, что позволило обнаружить разные режимы течения расплава, и разработаны гидродинамические модели развития неустойчивостей и волновых процессов в расплаве, в т.ч. в условиях использования вспомогательного газа (давления – до 0.6 МПа), при проявлении механизма резонансного усиления длинноволновой моды.

Базовые результаты работы опубликованы в авторитетных научных изданиях, неоднократно докладывались на профильных научных конференциях (как у нас в стране, так и за рубежом) и известны специалистами, работающим в данной области.

Автореферат диссертации в основном достаточно полно и точно отражает содержание выполненной работы, представленной в диссертации.

Диссертация полностью удовлетворяет требования ВАК Минобрнауки России. Без всякого сомнения, считаю, что Дубров Александр Владимирович заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

Зав. кафедрой физики и прикладной математики ВлГУ,
доктор физ.-мат. наук, профессор

Аракелян Сергей Мартиросович
26 октября 2015 г.

600000, г. Владимир, ул. Горького, 87. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ).

Рабочий телефон: 8(4922)333369.

e-mail: arak@vlsu.ru

Подпись проф. С.М. Аракеяна заверяю,
Ученый секретарь ВлГУ



Т.Г. Коннова