



Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«Московский государственный
технический университет
имени Н.Э. Баумана»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел. (499) 263-63-91 Факс (499) 267-48-44
E-mail: bauman@bmstu.ru

23.10.2015 № 01.03-02/464

на № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор —

проректор по научной работе

Московского государственного технического
университета

им. Н.Э. Баумана

Доктор технических наук, профессор

В.Н. Зимин

2015 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Дуброва Александра Владимировича «Оптическая диагностика течения расплава металла в технологии резки с использованием CO₂-лазера», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.03 - «Квантовая электроника».

Технологии, использующие термическое воздействие лазерного излучения для раскроя материала, широко применяются во множестве отраслей промышленности. Несмотря на практическую освоенность технологии, отсутствует общепринятое в научном сообществе описание механизмов и процессов, сопровождающих поглощение излучения и удаление продуктов плавления. Во многом это вызвано недостатком экспериментальных данных, релевантных протекающим процессам.

В рассматриваемой работе диссертантом разработан и опробован оптический метод диагностики, который может использоваться для изучения процессов, сопровождающих

лазерную резку, без внесения изменений в параметры и схему технологического процесса; разработаны алгоритмы обработки экспериментальных данных; проведено сравнение с результатами расчета по аналитическим моделям. В результате диссертантом получены новые данные о пространственно-временной динамике расплава в процессе лазерной резки. В связи с изложенным считаем, что результаты, полученные в диссертации, актуальны, и представляют значительный научный и практический интерес.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 101 наименования и одного приложения. Материал работы изложен на 125 страницах, содержит 28 рисунков и одну таблицу.

Во **введении** обосновывается актуальность проведённых исследований, излагаются цели, задачи и научная новизна работы, формулируются основные положения, выносимые на защиту, определяется структура диссертации.

В **главе 1** представлен обзор литературы по теме диссертационной работы. Рассматриваются физические аспекты лазерной резки с использованием вспомогательного газа, такие как поглощение лазерного излучения металлом и процессы удаления расплава под действием струи газа. Рассматриваются известные из литературы подходы к экспериментальному исследованию процесса лазерной резки, а также способы диагностики происходящих процессов в режиме реального времени и способам оптимизации процесса. Справедливо отмечено, что многие известные из литературы экспериментальные исследования лазерной резки проводились с изменением параметров процесса или схемы его проведения, что ограничивает применимость полученных результатов.

В **главе 2** рассматривается подход к диагностике динамики расплава во время лазерной резки, основанный на сборе и анализе теплового излучения одновременно из нескольких областей фронта реза. Описывается схема проведения эксперимента и структура разработанного измерительного комплекса. Приводятся полученные пространственно-временные зависимости яркостной температуры, оценивается их характер и влияющие механизмы.

Автором разработана новая измерительная система, включающая четыре двухцветных фотодатчика, что позволяет компенсировать пульсации яркости теплового излучения, не связанные с изменением температуры. Показано, что пульсации яркостной температуры в локальных областях фронта реза в процессе лазерной резки металлов, происходящие с

частотами выше определенного значения, отображают перемещение локальных возмущений рельефа или случайных температурных неоднородностей.

Предложенный в диссертационной работе подход к получению информации о динамике расплава непосредственно в ходе технологического процесса, путём анализа теплового излучения, физически обоснован, оригинален и представляется оправданным.

В **главе 3** описываются и обосновываются методики обработки экспериментальных многоканальных пирометрических данных, позволяющие получить информацию о пространственно-временной динамике расплава. Приводятся полученные результаты определения характеристик течения расплава.

Предложено использовать предварительную частотную фильтрацию для независимого анализа различных регулярных поверхностных неоднородностей. Автором разработан оригинальный метод определения скорости движения поверхности расплава. Эффективность метода продемонстрирована при резке образцов мягкой стали толщиной 3 и 6 мм. Установлены зависимости скорости расплава от параметров процесса. Показано, что скорость поверхности при лазерной резке может принимать несколько устойчивых значений. Обнаружены гидродинамические волны, развивающиеся на поверхности потока расплава, измерены их характеристики.

Глава 4 посвящена аналитической оценке длин волн, возбуждаемых на поверхности расплава. Результаты получены с использованием гидродинамической модели течения жидкой пленки, увлекаемой турбулентным потоком газа, при учете механизма резонансного усиления длинноволновой моды. Привлечение гипотезы о резонансном возбуждении волн миллиметрового диапазона, позволяет получить сходные с экспериментальными результаты, что можно отнести к важным результатам работы.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы, полученные А.В. Дубровым в диссертационной работе.

Существенным результатом работы являются разработка и обоснование нового метода экспериментального исследования процесса лазерной резки, который может осуществляться без внесения изменений в схему и параметры технологического процесса. Это направление является ключевым для дальнейшего развития лазерных технологий с применением устройств квантовой электроники и для повышения эффективности и надежности лазерных технологических процессов.

В работе получены новые данные о характере пространственно-временной динамики расплава металла при лазерной резке, их экспериментальной и аналитической оценке.

Разработанные автором методы сбора данных в процессе лазерной резки, а также их последующей обработки, могут использоваться при разработке приборов и средств контроля качества выполнения технологических операций. Они могут применяться в режиме реального времени в составе спецоборудования для устройств квантовой электроники.

Достоверность результатов не подвергается сомнению, т.к. они были получены с использованием физически обоснованных моделей, современного математического аппарата, и при обстоятельном сравнении теоретических результатов и результатов проведенных экспериментов.

В качестве замечаний можно отметить:

1. Автором проведена диагностика течения расплава при резке с использованием реакционного газа – кислорода. Известно, что протекающие окислительные реакции оказывают значительное влияние на термодинамические характеристики процесса. Для полноты эксперимента было бы правильным исследовать так же технологические режимы лазерной резки в среде инертного газа, например азота.
2. В работе не приводятся данные по распределению скоростей неоднородностей вдоль фронта реза.
3. Не была оценена степень влияния газового потока на результаты пирометрических измерений.

Эти замечания носят частный характер, не влияют на положительную оценку выполненной работы и не ставят под сомнение основные выводы диссертации.

Оценивая работу в целом, можно заключить, что диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, выполненную на высоком научном уровне. Результаты работы, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики. Выводы и рекомендации обоснованы. Автореферат и опубликованные работы автора правильно отражают основные результаты и выводы диссертации. Работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Дубров Александр Владимирович, безусловно заслуживает присуждения ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.03 – «Квантовая электроника».

Доклад А.В. Дуброва заслушан и обсужден на научном семинаре кафедры «Лазерные технологии в машиностроении» и получил положительную оценку.

Протокол № 36 от 23 октября 2015 г.

Заведующий кафедрой

«Лазерные технологии в машиностроении»

Московского государственного технического

университета им. Н.Э. Баумана

Доктор технических наук, профессор



А.Г. Григорьянц