

# ПРИНЦИПЫ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. А. Фираго

Белорусский государственный университет, Минск  
E-mail: firago@bsu.by

Лазерные технологии обработки материалов – быстро развивающаяся область науки и техники, которая имеет множество практических приложений в реальном секторе экономики: от микрохирургических операций до прецизионного раскроя массивных металлических плит. Основные преимущества лазерной обработки: высокий к.п.д., отсутствие механического контакта с предметом обработки, стерильность, возможность получать в узких пространственных, временных и спектральных интервалах высокую интенсивность световой энергии и т. д. Энергоэкономные технологии лазерного термоупрочнения (закалка, наплавка, легирование, модифицирование и др.) ответственных поверхностей объемных дорогостоящих деталей позволяют повысить их износостойкость и продлить срок эксплуатации.

Обычно при разработке технологий лазерной обработки используют трехмерные математические модели. Они основываются на нелинейных уравнениях теплопроводности с нелинейными краевыми условиями. Параметрами этих моделей могут являться: пространственное и временное распределение интенсивности лазерного излучения в пятне контакта, коэффициент отражения излучения, теплопроводность материала, его плотность, состав, удельная теплоемкость и т. д. Необходимо принимать во внимание и изменения коэффициента отражения при плавлении материала и его испарении. При лазерной резке и сварке металлов приходится учитывать наличие парогазового канала, возникающие гидродинамические явления и параметры плазменного факела [1].

Протекание процессов лазерной сварки, наплавки, легирования сопровождается одновременным изменением химического состава, и, соответственно, теплофизических свойств зоны обработки, что не позволяет в ряде случаев с достаточной степенью точности использовать расчетные модели этих процессов. Поэтому при наладке процессов упрочнения, сварки и наплавки, кроме математических моделей их протекания необходимо ведение объективного контроля наиболее существенных параметров в области воздействия лазерного излучения.

В последнее время при разработке технологий лазерной сварки начали использовать высокоскоростные цифровые видеокамеры, позволяю-

щие регистрировать изображения протекающих процессов [1]. Они позволяют проследить за изменениями, происходящими в зоне обработки. На наш взгляд для оптимизации процессов лазерной обработки конструкционных материалов необходим более широкий набор объективно регистрируемых параметров, позволяющий подтвердить адекватность используемых моделей.

Расширение перечня используемых параметров при контроле процессов лазерной обработки материалов может обеспечить специальная техника регистрации световых полей, позволяющая фиксировать траекторию перемещения и пространственное распределение яркости лазерного излучения в зоне воздействия, температуру в зоне контакта лазерного излучения с поверхностью материала, пространственные размеры и спектр излучения плазменного факела при испарении вещества в процессах лазерной резки, сварки и гравировки. Также необходима информация о коэффициенте отражения лазерного излучения хотя бы в верхнюю часть полусферы, что позволит объективно контролировать долю поглощаемой энергии пучка.

Тепловизионная техника, созданная на кафедре квантовой радиофизики и оптоэлектроники БГУ [2], позволяет на дофакельной стадии определять распределение температурного поля в области контакта лазерного пучка с материалом, что дает возможность контролировать действительное пространственное распределение поглощаемой материалом энергии лазерного пучка. Это важно при наладке процессов лазерной обработки криволинейных поверхностей, когда при движении лазерного пучка меняется расстояние между лазерной головкой и материалом.

В процессах, требующих большой плотности мощности лазерного излучения, над пятном контакта образуется плазменный факел, который экранирует тепловое излучение материала и частично поглощает энергию лазерного пучка. Размеры этого факела, пространственное распределение его температуры и спектра излучения могут дать информацию о процессах, протекающих в области пятна контакта.

Наши измерения спектров излучения плазменного факела в области 350–900 нм при сварке разных металлов (рис. 1, 2) и средней мощности лазерного пучка оптоволоконного лазера 1 кВт указывают на их сложный состав с наличием сильно уширенных линий излучения атомов паров металлов. Излучение плазмы в видимой области спектра (рис. 1, 2) не подчиняется закономерностям, следующим из формулы Планка для поверхностной светимости абсолютно черных тел (АЧТ). Это хорошо иллюстрируют зависимости (штриховые линии на рис. 1, 2), показывающие относительные спектры излучения модели АЧТ при разных

температурах, нормированные на их максимальные значения в области 350–900 нм.

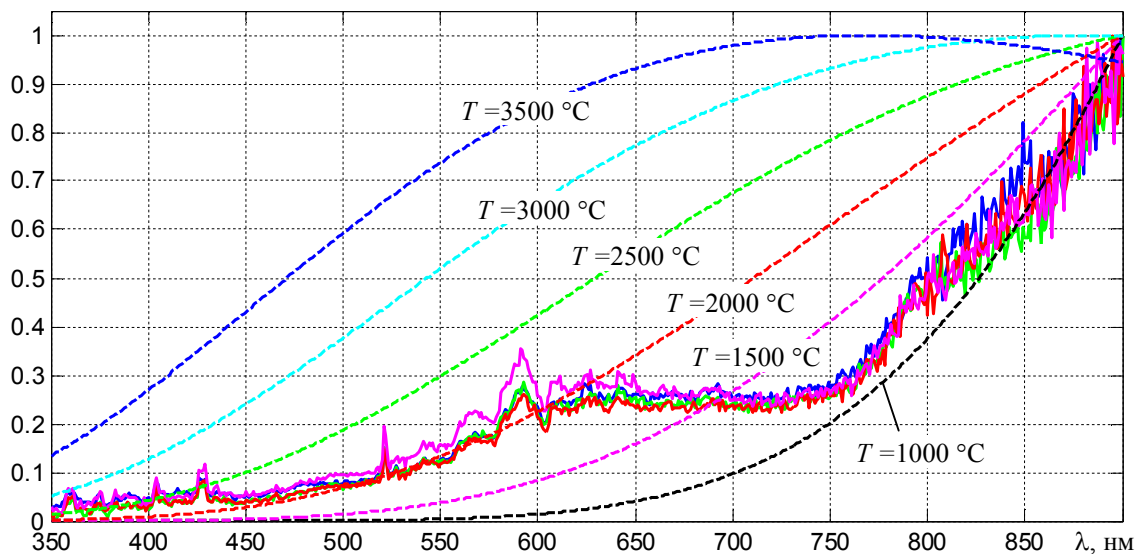


Рис. 1. Относительные спектры излучения плазменного факела для образца № 2 (сталь Ст3) и нормированные спектральные светимости АЧТ (штриховые линии) при разных температурах от 1000 до 3500 °С

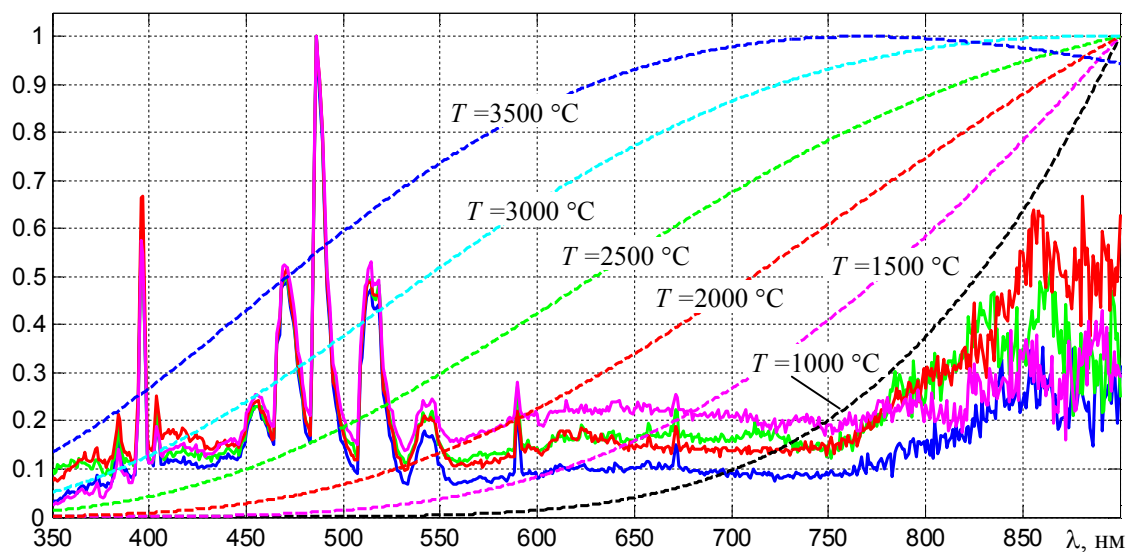


Рис. 2. Относительные спектры излучения плазменного факела для образца № 3 (дюралюминий Д16Т) и нормированные спектральные светимости АЧТ при разных температурах от 1000 до 3500 °С

Очевидно, что инфракрасное излучение факела можно использовать для косвенного определения его температурного поля, поскольку оно не содержит отдельных линий. Отметим, что тепловизионная техника градуируется по моделям АЧТ. Плазма же представляет собой пары металлов и имеет меньшую поверхностную светимость. Поэтому необходимы

дальнейшие работы по установлению коэффициентов связи между инфракрасными спектрами плазмы и ее температурой.

Необходимо учитывать, что состояние поверхности свариваемых металлов оказывает заметное влияние на интенсивность излучения плазменного факела на линиях паров металла, что видно из спектров рис. 2. При нормировке спектра на его максимум нестабильность интенсивности максимальной линии приводит к кажущемуся изменению интенсивности всего нормированного спектра, хотя это не так.

Требует своего исследования и пространственное распределение спектра излучения плазменного факела, что возможно при использовании современных перестраиваемых оптических фильтров на жидких кристаллах, имеющих разрешение не хуже 7 нм. Анализ этого распределения может помочь в корректировке моделей гидродинамических явлений в парогазовом канале при резке и сварке металлов. Важную информацию для контроля качества сварного шва может представить температурное поле с тыльной стороны свариваемых поверхностей. Кроме данных, помогающих обеспечить нужную температуру расплава на тыльной стороне шва, оно будет показывать и равномерность его заполнения, а также возникновение пустот и каверн.

Отметим, что при сварке металлов с большим коэффициентом отражения, например чистая медь или серебро, в резонатор лазера может попадать интенсивное отраженное излучение, что вызывает нестабильность мощности генерации и срабатывание системы защиты лазера от перегрузок. При небольших наклонах лазерной головки в направлении движения пучка влияние этого эффекта на работоспособность лазерной установки можно значительно ослабить. Поэтому в схему управления лазером необходимо вводить датчик в виде кольца фотоприемников, расположенных вокруг лазерной головки. Он позволит регистрировать распределение интенсивности отраженного излучения и яркость свечения плазменного факела, что даст возможность правильно управлять мощностью и наклоном лазерного пучка.

Изложенные принципы контроля процессов лазерной обработки указывают на актуальность создания нужной аппаратуры и ее массового внедрения в соответствующих научно-исследовательских институтах и исследовательских центрах.

1. Банишев А. Ф., Васильцов В. В., Галушкин М. Г. и др. Исследования и разработки моделей процессов с глубоким проникновением лазерного излучения в конденсированные среды. Информационный ресурс: [www.laser.ru/30/models\\_of\\_deep\\_penetration\\_of\\_laser\\_radiation\\_to\\_condensed\\_media.pdf](http://www.laser.ru/30/models_of_deep_penetration_of_laser_radiation_to_condensed_media.pdf)
2. Firago V., Wojcik W. // Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 91 NR 2/2015, P. 208–214.