# ОН-ЛАЙН ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССА ГАЗОЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ С ПОМОЩЬЮ МНОГОКАНАЛЬНОГО ПИРОМЕТРА

Дубров А.В., Завалов Ю.Н.

Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН E-mail: : Zavalov\_Yuri@yahoo.com

The paper presents the results of pyrometric on-line diagnostics application in gas-assisted laser cutting of sheets from steel 6 and 10 mm thick. The fluctuation spectra of brightness temperature have been measured in the through channel that is formed under laser radiation, depending on the depth of local position of the melt zone undergoing the diagnostics, the velocity of the sample motion relative to the focused laser beam, and the assisted gas (oxygen) pressure. It has been shown that the spectrum of T\* fluctuations contains the information on nonstationarities of the melt front motion under laser radiation and it can be used in on-line diagnostics with the aim of improving the quality of gas-assisted laser cutting of metals and their alloys.

## Введение

Технология раскроя листового металла с использованием газолазерной резки широко распространена. В настоящее время имеется проблема повышения качества и надежности лазерной резки при автоматизации этой технологической операции.

В [1-2] было предложено измерять пульсации яркости теплового излучения из зоны воздействия лазерного луча на металл с целью контроля лазерной резки, а также обнаружена корреляционная связь между пульсациями яркости излучаемого света и шероховатостью профиля кромки реза. В [Ошибка! Закладка не определена.-3] показана связь между спектром пульсаций теплового излучения расплава металла в канале и спектром пространственных частот профиля кромки реза. В [4] предложена система мониторинга за процессом лазерной резки с использованием данных пульсаций излучения в трех спектральных полосах, что позволяло измерить пульсации яркостной температуры. В [5] для слежения за динамикой расплава в зоне реза была высокоскоростная фотография. Ранее использованаа ΜЫ провели сравнительные исследования между спектром пульсаций интегральной яркости излучения из зоны лазерной резки, спектром яркостной температуры с использование двух-цветной пирометрии [6].

В данной работе приведены результаты измерения пульсаций локальной яркостной температуры в зоне воздействия лазерного луча на металл с использованием 4-х канального двухцветного пирометра.

#### Экспериментальная установка

В экспериментах используется станок «Trumatic L2530» с CO<sub>2</sub> –лазером TLF 1500 мощностью 1500 Ватт фирмы Trumpf Gmbx, Германия.

Была проведена резка листов низкоуглеродистой стали толщиной 6 и 10 мм с использованием вспомогательного газа кислорода с использованием следующих параметров: дюза с отверстием Ø1,4 мм располагалась над образцом на расстоянии 0,8 мм; фокус линзы с фокусным расстоянием 127 мм

устанавливался на расстоянии примерно 0,5 мм над поверхностью листа, В случае резки стали толщиной 10 мм скорость варьировалась для различных образцов от 16 до 24 мм/с. Минимум шероховатости наблюдался при значении скорости 20 мм/с. В качестве вспомогательного газа был использован кислород, давление которого менялось от 0,3 до 0,8 bar.

В другой серии экспериментов использовалась сталь Ст.3 толщиной 6 мм. При этом фокус линзы был «заглублен в металл» примерно на 0.3 мм, диаметр отверстия дюзы Ø0,8мм, скорость варьировалась для различных образцов от 26 до 40 мм/с. Минимум шероховатости наблюдался при значении скорости 33 мм/с. Давление кислорода

менялось от 1 до 4.5 bar.

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. Часть света, испускаемая нагретой лазерным излучением областью зоны реза, собирается оптической линзой И освещает торцы четырех оптоволокон, установленных под углом около 30° к плоскости листа.



Рис.1 Схема измерений

как изображено на рис. 1. Свет по оптоволокну (диаметр сердечника 62 мкм) подается соответственно на фотодиоды, фототок которых усиливается, измеряется 14 –битной системой сбора и обработки данных и записывается в память компьютера с временем выборки 250 мкс на канал измерения. Используются сборки фотодиодов К1713-05 фирмы Hamamatsu. В этом типе детектора Si-фотодиод, пропускающий излучение ближнего ИК-диапазона, расположен над InGaAs PIN фотодиодом на одной оптической оси.

При этом измеряется локальная область свечения, попадающего в торец установленного оптоволокна. В силу достаточно сильной зависимости (~T<sup>4</sup>) светимости нагретой поверхности от температуры предполагается, что основное влияние на сигнал фотодатчика окажут наиболее нагретые области зоны реза. В этом случае освещенность фотодиода зависит не только от температуры в зоне нагрева, но и от других факторов, в числе которых площадь свечения расплавленного материала, расстояние от (источника) свечения, диаграмма направленности светимости нагретой источников поверхности и угловая чувствительность оптических датчиков. Использование линзы в пирометре позволяет повысить пространственную селективность Измерение измерений. яркостной температуры методом двухцветной пирометрии позволяет снизить влияние изменения яркости источника от ряда мешающих факторов.

## Экспериментальные результаты

Проводились измерения локальной яркостной температуры для разных глубины участка свечения в канале: для образцов толщиной 6 мм глуби на 0,6 1,5 2,3 и 4 мм; для образцов толщиной 10 мм глубина h=1,5 2,3 3,2 и

4,8 мм. Зависимости усредненных значений яркостной температуры  $T^*$  на различной глубине в канале реза от скорости движения луча относительно образца толщиной 6 мм приведены на рис. 2 при давлении 4,5 бар (а) и 2 бар (б).



Рис.2 а-б) Обозначения: 1- глубина источника свечения 1-4 мм, 2-3,2 мм, 3-2,3 мм, 4-0.6 мм.

На рис. З а,б приведены соответствующие зависимости среднеквадратичной амплитуды колебаний  $T^*$ . Полученные результаты показывают, что на основе измерений средних значений и амплитуды флуктуаций яркостной температуры не возможно с высокой достоверностью решать т.н. обратную задачу- по измеренным данным статистических выборок определить, например, скорость реза. Поэтому для разработки алгоритмов контроля и управления параметрами резки по данным пирометрических измерений необходимо измерять дополнительные параметры.

С этой целью проводились измерения временных флуктуаций локальной освещенности торцов фотодиодов, и эти данные с использованием специальной программы позволяли получить временные спектры пульсаций яркостной температуры. Методика обработки данных ранее описана в [Ошибка! Закладка не определена.]. Усреднение спектров мощности пульсаций позволяет повысить относительную амплитуду резонансных колебаний в спектре флуктуаций на фоне случайных колебаний. Усреднялось N=16 реализаций по M=512 отсчета.



*Рис. 3 а-б) Зависимости среднеквадратичных отклонений Т\*, обозначения те же, что и на рис.2* 

Проводились измерения шероховатости боковой кромки образцов лазерной резки с использованием профилометра SJ-301(Mitutoyo, Japan). Усредненные спектры мощности отклонения профиля шероховатости приведены на рис. 7 для толщины образцов 10 мм, а также на рис.8-9 для образцов толщиной 6 мм. Для отдельного слоя вдоль боковой кромки образца усреднялось N=9 участков измерений профиля длиной 12.3 мм с M=8192 отсчета в каждом. На этих же графиках на дополнительной оси ординат приведены результаты измерений в экспериментах усредненных спектров мощности флуктуаций яркостной температуры.

### Заключение

Проведены исследование динамики движения расплава газолазерной резки непрерывным CO<sub>2</sub> лазером с использованием многоканального пирометра с использование оптоволокна в оптическом блоке пирометра. Представлены результаты измерений локальной яркости свечения расплава и яркостной температуры при лазерной резке низкоуглеродистой стали толщиной 6 и 10 мм в зависимости от скорости перемещения луча и давления вспомогательного газа. Достигнуто пространственное разрешение измерения локальной яркостной температуры около 100 мкм.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 05-08-17927-а).

- 1. Sforza P., Santecesaria V., "Analytical dependence of the roughness of the cut edge on the experimental parameters and process monitoring", Proceed. SPIE, v.2207, pp. 836-847 1994.
- 2. Sforza P., de Blasiis D., Lombardo V. "Three –module sensor for CO<sub>2</sub>-laser welding and cutting processes", Proceed. SPIE, v.3097, pp. 97-107 (1997).
- 3. Takashi Fushimi, Hideyuki Horisawa, Shigeru Yamaguchi et al., "A fundamental studying of laser cutting using a high speed photography" Proceed. SPIE, v.2888, pp. 90-95 (2000).
- Antonov A.A., Grishaev R.V., Dubrov V.D., et al. "The application of optical pyrometers for investigation of gas-assisted laser cutting quality" Proceedings of ILLA / LTL '2006 International Conference & Symposium, October 4–7, 2006, Bulgaria , pp.419-426, ISSN1312-0638 (2007).