

Г.А. Баевич, В.Н. Мышковец, А.В. Максименко, В.В. Грищенко

УО «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ ЗАЩИТНОГО ГАЗА ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ

При лазерной обработке материалов (например, при сварке и наплавке) необходимо обеспечить надежную защиту расплавленного и нагретого до высокой температуры металла от окисления и создать условия для однородного формирования расплава. Известно, что это осуществляется посредством подачи газовой среды в зону обработки с помощью лазерной обрабатывающей головки. Наилучшая защита металла обеспечивается при ламинарном истечении и равномерном распределении потока газа, выходящего из сопла в зону обработки по сечению выходного отверстия сопла.

При турбулентном характере истечения газа такое строение потока нарушается и его защитные свойства ухудшаются вместе с качеством формируемых сварочных соединений. Характер истечения зависит от конфигурации проточной части сопла, его размеров и расхода газа.

Существующие решения [1] обеспечивают получение направленного безвихревого потока газа от лазерной обрабатывающей головки, но не позволяют получить равномерного распределения потока газа, выходящего из сопла в зону обработки, по всему кольцевому контуру.

Одним из вариантов решения такой проблемы может быть использование специальной конфигурации проточной части сопла, обеспечивающей ламинарное истечение и равномерное распределение скорости потока газа по сечению выходного отверстия сопла.

Целью работы являлась разработка математической модели процесса формирования равномерного потока газовой смеси в зоне обработки при импульсном лазерном воздействии для установления геометрических параметров структурных элементов форсунки.

Для визуализации потока газа проведено вычисление газодинамических параметров течения газовой среды в лазерной обрабатывающей головке путем интегрирования усреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, замкнутых стандартной $k-\varepsilon$ моделью турбулентности с использованием метода конечных разностей [2–6].

Создание конечно-элементной сетки, задание граничных условий, расчет и обработка полученных результатов велись в программном комплексе ANSYS Fluent.

Показано, что использование лазерной обрабатывающей головки с конусообразным выходным соплом (рисунок 1,а) не позволяет получить равномерное распределение потока газа в зоне обработки (рисунок 1,б кривая 1).

Вследствие этого происходит подсос воздуха в зону обработки, перемешивание защитного газа с окружающим воздухом, что приводит к частичному окислению поверхности материала.

Снабжение лазерной обрабатывающей головки рассекателем потока газа, установленным между распределительной кольцевой камерой и внешним соплом и выполненным в виде кольца с равномерно расположенными по окружности отверстиями, создает со стороны внешнего сопла аэродинамическое сопротивление внешнего сопла, которое уменьшает подсос воздуха внутрь внешнего сопла и, в свою очередь, загрязнение поверхностей внешнего сопла.

Рассекатель создает аэродинамическое сопротивление для защитного газа со стороны распределительной кольцевой камеры, в результате защитный газ равномерно поступает через отверстия рассекателя во внешнее сопло по всему его кольцевому контуру, а затем из внешнего сопла в зону обработки, и тем самым улучшает качество обработки.

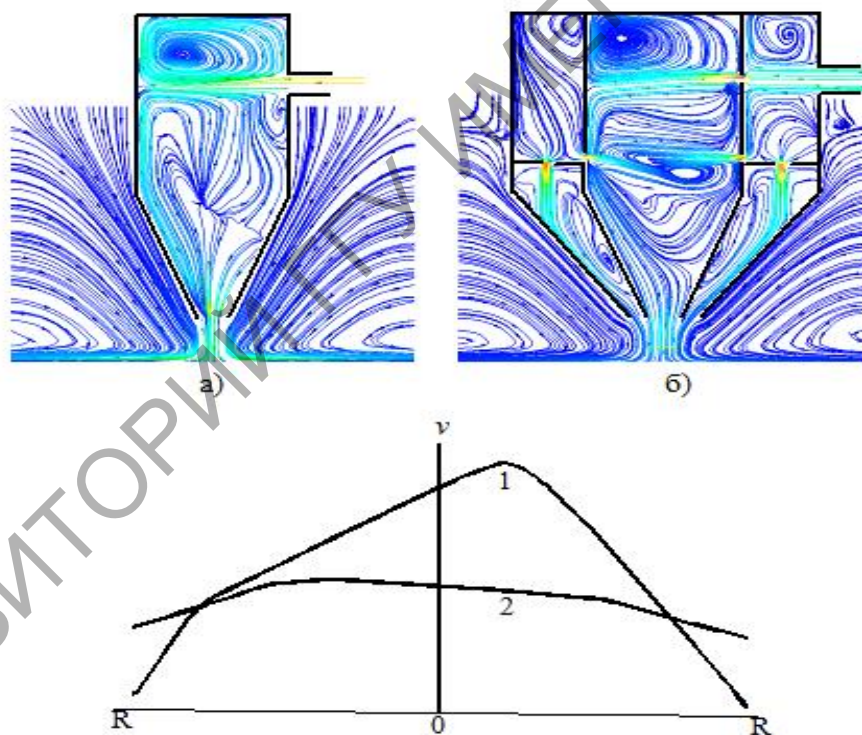


Рисунок 1 – Линии тока газа и распределения скоростей потоков газа;
а) – линии тока газа при использовании обрабатывающей головки с конусообразным выходным соплом; б) – линии тока газа при использовании обрабатывающей головки имеющей распределительную камеру с рассекателем потока газа; в) – распределение скорости потока газа по сечению выходного отверстия конусообразного сопла (1) и сопла, снабженного рассекателем потока газа (2)

На основании результатов математического моделирования разработана лазерная обрабатывающая головка, позволяющая получить равномерное распределение потока газа в зоне обработки (рисунок 2) [7].

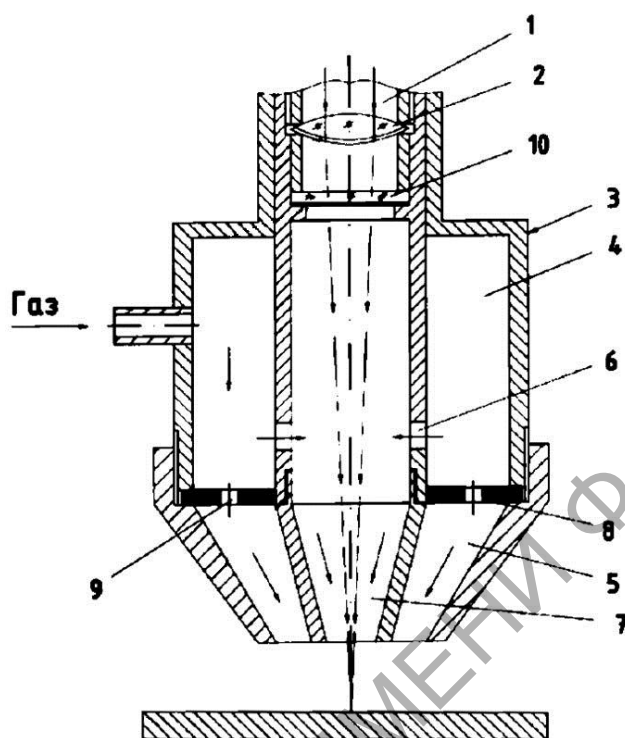


Рисунок 2 – Лазерная обрабатывающая головка:

- 1 – корпус, 2 – фокусирующая линза, 3 – кожух, 4 – распределительная кольцевая камера, 5 – внешнее сопло, 6 – отверстия в корпусе внутренней камеры, 7 – внутреннее сопло, 8 – рассекатель потока газа, 9 – отверстия в рассекателе потока газа, 10 – защитное стекло

Лазерная обрабатывающая головка содержит корпус 1, в котором установлена фокусирующая линза 2. Корпус 1 размещен в кожухе 3, состоящем из цилиндра и конуса, и повторяет форму кожуха 3, при этом цилиндрические поверхности корпуса 1 и кожуха 3 образуют распределительную кольцевую камеру 4. Конические поверхности корпуса 1 и кожуха 3 образуют внешнее сопло 5.

В цилиндре корпуса 1 выполнено не менее двух симметрично расположенных отверстий 6 для прохода рабочего газа во внутреннюю полость корпуса 1. Конус корпуса 1 образует внутреннее сопло 7 для подачи газа соосно лучу лазера. Лазерная обрабатывающая головка снабжена установленным между распределительной кольцевой камерой 4 и внешним соплом 5 рассекателем 8 потока газа, выполненным в виде кольца с отверстиями 9, равномерно расположенными по окружности, и защитным стеклом 10, установленным в цилиндре корпуса 1 под фокусирующей линзой 2.

Фокусирующая линза 2 установлена на дополнительном промежуточном кольце-прокладке, размещенном между защитным стеклом 10 и фокусирующей линзой 2. Нижние поверхности фокусирующей линзы 2 и защитного стекла 10 содержат слои просветляющего покрытия.

Кожух 3 выполнен составным и включает цилиндр и конус, выполненный с дополнительной цилиндрической частью, соединяемой с цилиндром резьбовым соединением.

Корпус 1 выполнен составным и включает цилиндр и конус, выполненный с дополнительной цилиндрической частью, соединяемой с цилиндром резьбовым соединением.

Защитное стекло 10 выполнено в виде круглого прозрачного элемента из кварцевого стекла и установлено в цилиндре корпуса 1 под фокусирующей линзой 2.

Отверстия 6 и 9 в цилиндре корпуса 1 и рассекателе 8 потока газа выполнены круглыми.

Диаметр отверстий 9 в рассекателе 8 потока газа в 2–3 раза меньше диаметра отверстий 6, выполненных в цилиндре корпуса 1. Суммарная площадь отверстий 6, выполненных в цилиндре корпуса 1, в 2 раза меньше суммарной площади отверстий 9, выполненных в рассекателе 8 потока газа. Площадь выходного сечения внутреннего сопла 7 по меньшей мере в 2,5–10 раз больше площади выходного сечения внешнего сопла 5.

Таким образом, разработанная с использованием математического моделирования лазерная обрабатывающая головка с дополнительно установленным рассекателем потока газа, выполненным в виде кольца с расположенными по окружности отверстиями и размещенным между распределительной кольцевой камерой и внешним соплом позволяет повысить качество обработки при проведении лазерной сварки и наплавки материалов.

Литература

1. Пат. РФ 736, МПК⁵ В 23К 26/14. Лазерная обрабатывающая головка / Е.Б. Шершневу, А.С. Танасейчук. – заявл. 15.06.1993; опубл. 30.06.1995.
2. Bardina, J.E. Turbulence modeling validation, testing and development / J.E. Bardina, P.G. Huang, T.J. Coakley // AIAA Paper. – 1997. – № 97. – P. 2121.
3. Jagadeesh, P. Application of low-Re turbulence models for flow simulations past underwater vehicle hull forms / P. Jagadeesh, K. Murali // Journal of naval architecture and marine engineering. – 2005. – P. 41–55.
4. Lien, F.S. Low-Reynolds-number eddy-viscosity modelling based on non-linear stress-strain/vorticity relations / F.S. Lien, W.L. Chen, M.A. Leschziner // Proc. 3rd symp on engineering turbulence modeling and measurements. – 1996. – P. 91–100.

5. Снегирёв, А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: учеб. пособие / А.Ю. Снегирёв. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 143 с.

6. Кузьминов, А.В. Метод расчета турбулентных течений несжимаемой жидкости на основе двухслойной (k-ε)-модели / А.В. Кузьминов, В.Н. Лапин, С.Г. Черный // Вычислительные технологии. – 2001. – Т. 6. – № 5. – С.73–86.

7. Пат. РБ 9625, МПК⁷ В 23К 26/00. Лазерная обрабатывающая головка / Г.А. Баевич, В.Н. Мышковец, А.В. Максименко, П.П. Усов. – заявл. 10.04.2013; опубл. 2013.10.30.