

Лазерная резка толстых стальных листов при использовании сверхзвуковой струи кислорода

А.В.Зайцев, О.Б.Ковалев, А.Г.Маликов, А.М.Оришнич, В.Б.Шулятьев

Проведена высококачественная резка стальных пластин толщиной до 50 мм при одновременном воздействии на материал лазерного излучения и сверхзвуковой струи кислорода. Параметры сопла для формирования струи найдены в результате численного моделирования трехмерных течений вязкого и теплопроводного газа в плоском канале, геометрически подобном лазерному резу.

Ключевые слова: лазерная резка толстых пластин, сверхзвуковая струя кислорода.

В настоящее время самой массовой технологией лазерной обработки материалов является резка металлов [1]. При совершенствовании лазерной резки решаются в основном две главные проблемы: обеспечение высокого «оптического качества» лазерного излучения ($K \geq 0.6$, где K – отношение расходимостей «идеального» гауссова и реального лазерных пучков, у которых все остальные параметры одинаковы) и организация эффективного удаления расплава. При использовании для удаления расплава инертного газа (азот, аргон) единственным источником энергии служит лазерный пучок. Применение кислорода позволяет увеличить скорость резки (приблизительно в два раза) в результате дополнительного выделения тепловой энергии в экзотермической реакции окисления железа. Однако с увеличением толщины материала давление кислорода обычно снижают для предотвращения самопроизвольного горения железа вне зоны воздействия лазерного пучка. Очевидно, что в этом случае возникает проблема, которая связана с необходимостью более равномерного распределения подводимой энергии по всей глубине реза и обеспечения удаления расплава из узкого (~ 1 мм) канала. Решение этой проблемы может быть найдено переходом к другому предельному случаю, а именно к использованию высокого давления кислорода и формированию сверхзвуковой газовой струи. Перспективность данного способа получения качественного реза отмечена в работе [2]. В [3] показано, что для обеспечения в узком канале безотрывного, безвихревого, струйного течения режущего газа нужно использовать сверхзвуковое сопло. В этом случае роль энергии, выделяемой при окислении железа кислородом, существенно возрастает. Геометрические характеристики канала решающим образом зависят от линейных размеров самой струи (так же как при лазерной резке с малым давлением кислорода геометрические параметры канала зависят от параметров лазерного пучка). Насколько нам известно, вопросы

газодинамики резки с высоким давлением и формирования сверхзвуковой струи кислорода в канале реза в научной литературе не рассматривались.

Нами экспериментально реализована газолазерная резка в сверхзвуковом потоке кислорода на основе численного исследования особенностей газодинамических струйных течений в плоских щелевых каналах, геометрически подобных лазерному резу. Найдены параметры сопел, которые создают остронаправленные газовые струи и являются геометрически совместимыми с оптической схемой резки.

На основе полных уравнений Навье–Стокса проводилось численное моделирование пространственных течений вязкого и теплопроводного газа применительно к кислородной газолазерной резке толстолистовых металлов. Рассчитывались трехмерные распределения газодинамических параметров в плоском щелевом канале глубиной b в направлении оси струи и с расстоянием d между боковыми стенками. В перпендикулярном оси струи направлении плоский канал ограничен с одной стороны стенкой, имитирующей фронт реза. Осесимметричное сопло было составлено из двух усеченных конусов с общим меньшим основанием, которое является критическим сечением сопла.

Рассчитывались распределения термодинамических параметров газа и поля скоростей струйных течений при различных значениях диаметра d_c критического сечения сопла, диаметра d_{out} выходного сечения, расстояния l между критическим и выходным сечениями, глубины канала t . Ширина канала полагалась равной выходному диаметру сопла. Как показали расчеты, при избыточном давлении 8 кг/см^2 наиболее однородные распределения скорости в струе вдоль направления ее распространения имели место при $d_{out}/d_c = 1.5 - 1.7$ и $l/d_c = 5 - 7$. Картина течения для одной из рассчитанных конфигураций газодинамических сопел представлена на рис.1 (параметры сопла и канала указаны в подписи к рисунку). В экспериментах по резке использовалось сопло со следующими параметрами: $d_c = 1.9$ мм, $d_{out} = 3$ мм и $l = 8$ мм.

Схема резки показана на рис.2. В экспериментах использовался непрерывный CO_2 -лазер [4] мощностью до 8 кВт, резка проводилась при мощности излучения до 2 кВт. При помощи линзы с фокусным расстоянием

А.В.Зайцев, О.Б.Ковалев, А.Г.Маликов, А.М.Оришнич, В.Б.Шулятьев. Институт теоретической и прикладной механики имени С.А.Христиановича СО РАН, Россия, 630090 Новосибирск, ул. Институтская, 4/1; e-mail: laser@itam.nsc.ru

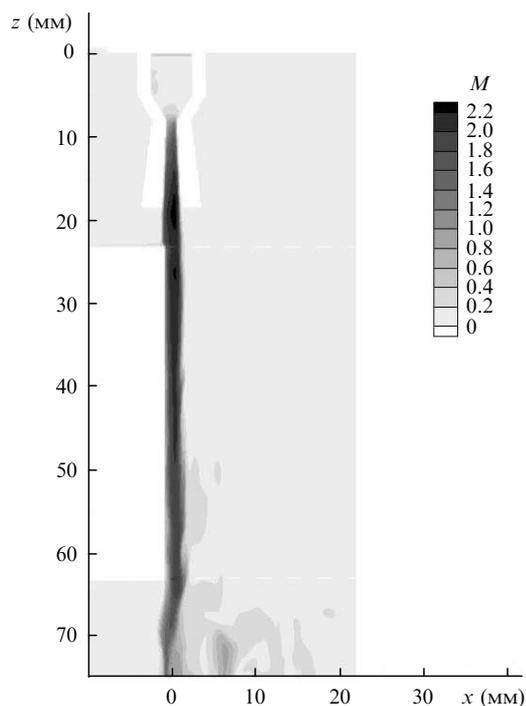


Рис.1. Результат численного моделирования газодинамики струйных течений в плоском канале – изолинии числа Маха в плоскости z, x при $y = 0$; параметры сопла и канала: $d_c = 1.6$ мм, $d_{out} = 2.6$ мм, $l = 10$ мм, $t = 40$ мм.

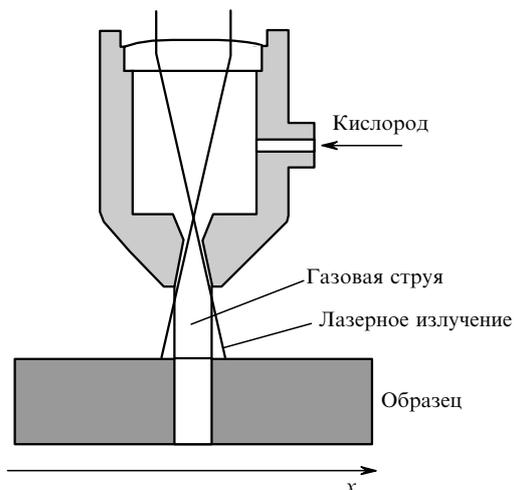


Рис.2. Схема резки.

63.5 мм на поверхности листа создавалось пятно диаметром 4 мм. Разрезались листы низкоуглеродистой стали толщиной от 12 до 50 мм (большая часть экспериментальных данных получена для толщин 18 и 40 мм). Эксперименты показали, что наилучшее качество реза (низкая шероховатость стенки и отсутствие грат) для листов толщиной 40 мм достигается при давлении



Рис.3. Поверхность реза листа углеродистой стали толщиной 50 мм.

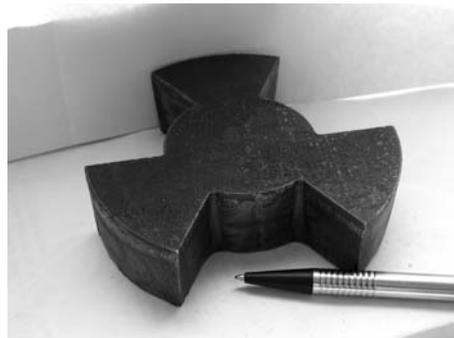


Рис.4. Деталь, вырезанная из стального листа толщиной 32 мм.

кислорода в камере резака 6–8 кг/см² и расстоянии между газовым соплом и поверхностью листа 4–5 мм. При этом ширина реза в верхней части листа равна 3.4 мм. Измеренные значения шероховатости поверхности реза на половине толщины равны 15 и 23 мкм для листов толщиной 30 и 40 мм соответственно. На рис.3 и 4 приведены фотографии образцов реза.

Таким образом, сверхзвуковая струя кислорода, позволяющая разрезать с хорошим качеством стальные листы толщиной по крайней мере до 50 мм, может быть сформирована сверхзвуковым соплом с простым геометрическим профилем. Процесс резки устойчив в достаточно широком диапазоне параметров и является гораздо менее чувствительным к наличию примесей в кислороде, а также к состоянию поверхности по сравнению с лазерной резкой при низком давлении кислорода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 04-01-00789).

1. Steen W.M. *Laser Material Processing* (London: Springer-Verlag, 2003, p. 107).
2. O'Neill W, Gabzdyl J.T. *Opt. Lasers Eng.*, **34**, 355 (2000).
3. Зайцев А.В., Ковалев О.Б., Оришич А.М., Фомин В.М., Шулятьев В.Б. *Вычислительные технологии*, **11**, Спец. выпуск, посвященный 85-летию со дня рождения Н.Н.Яненко, ч. 1, 75 (2006).
4. Афонин Ю.В., Гольшев А.П., Иванченко А.И., Малов А.Н., Оришич А.М., Печурин В.А., Филев В.Ф., Шулятьев В.Б. *Квантовая электроника*, **34**, 307 (2004).