

Дистанционная обработка металлов излучением двух лазеров

А.Ф.Глова*, С.В.Дробязко*, О.И.Вавилин**, **Е.М.Швом****

Показана возможность эффективной дистанционной обработки (сверление, резка) металлов при одновременном воздействии излучений непрерывного CO₂-лазера и импульсно-периодического ИАГ: Nd-лазера. Полученные удельные затраты энергии близки к затратам при обработке остросфокусированным излучением импульсно-периодических CO₂-лазеров.

Ключевые слова: дистанционная обработка, CO₂-лазер, ИАГ: Nd-лазер.

В ряде случаев для сверления и резки металлических изделий с помощью лазерного излучения лазер приходится устанавливать на значительном расстоянии от мишени и для удаления расплавленного металла из области взаимодействия не может быть использована струя газа. Закономерности процесса резки металлов в этих условиях (дистанционная резка) излучением непрерывного CO₂-лазера экспериментально и теоретически исследовались в работах [1–3]. В частности, было показано, что при вертикальном расположении мишени ширина реза растет с ростом ее толщины, слабо зависит от рассматриваемого механизма удаления расплава (под действием силы тяжести или термокапиллярных сил) и стремится к постоянной величине, определяемой свойствами материала мишени. Например, для стали ст.3 толщиной 6 мм ширина реза составляет 1.9 см.

В работе [4] при дистанционной резке термически тонких пластин излучением импульсно-периодического (ИП) CO₂-лазера расплав удалялся импульсом отдачи паров. По сравнению с резкой излучением непрерывного лазера в этом случае ширина реза уменьшалась на порядок и, как следствие, в несколько раз повышалась эффективность процесса. Однако с ростом средней мощности ИП CO₂-лазера, необходимой для резки более толстых пластин, вблизи поверхности мишени возникает оптический разряд и эффективность процесса резко уменьшается. Таким образом, сравнительно низкая эффективность дистанционной резки металлов излучением непрерывного лазера обусловлена большой шириной реза, а при резке излучением ИП лазера – экранировкой мишени приповерхностной лазерной плазмой.

В настоящей работе экспериментально исследуется возможность эффективной дистанционной резки и сверления металлов излучением двух относительно маломощных лазеров: непрерывного CO₂-лазера и ИП ИАГ: Nd-лазера. При постановке задачи предполага-

лось, что в паузе между импульсами ИАГ: Nd-лазера излучение более мощного CO₂-лазера расплавляет тонкий слой металла, а очередной импульс ИАГ: Nd-лазера приводит к его частичному испарению и удалению оставшейся части давлением отдачи паров. Образование отверстия или реза происходит в результате многократного повторения этого процесса. Отметим, что в аналогичной постановке задачи взаимодействие лазерного излучения с металлической мишенью исследовалось в [5–8]. Однако для этого в работах [5, 7] применялись два импульсных лазера, в [6] – многоимпульсная генерация CO₂-лазера, а в [8] при одновременном воздействии излучения непрерывного CO₂-лазера и ИП ИАГ: Nd-лазера удаление расплавленного металла из области взаимодействия осуществлялось при помощи воздушной струи.

В экспериментах использовались многолучевой CO₂-лазер [9] с регулируемой средней выходной мощностью W (в пределах 1–3 кВт) и длительностью воздействия на мишень t (в пределах 0.1–4 с) и ИАГ: Nd-лазер со следующими фиксированными параметрами: энергия в импульсе $E = 0.35$ Дж, длительность импульса $\tau = 100$ мкс, частота следования импульсов $f = 50$ Гц. Излучение CO₂-лазера фокусировалось линзой с фокусным расстоянием 408 мм в пятно диаметром 1 мм и направлялось по нормали к поверхности вертикально ориентированной мишени, в качестве которой использовались образцы из нержавеющей стали X18H9T толщиной $h = 3–12$ мм. Луч ИАГ: Nd-лазера, расположенный в горизонтальной плоскости под углом 15° к оси луча CO₂-лазера, фокусировался в центр пятна CO₂-лазера; диаметр фокального пятна ИАГ: Nd-лазера был равен 0.2 мм.

На рис.1,а,б приведены типичные фотографии застывшего расплава, получаемого при воздействии на мишень излучения только CO₂-лазера. Независимо от t и W удаления расплава излучением CO₂-лазера практически не происходит, при этом расплав имеет четко выраженную колоколообразную форму. По-видимому, данная форма расплава возникает из-за развития в его ванне двух термокапиллярных вихрей [10]. Зависимости глубины расплава h_m от t и W представлены на рис.2,а (кривые 1, 2). Если пренебречь затратами энергии на плавление металла по сравнению с затратами на его нагрев от начальной температуры, то для глубины расплава при

*ГНЦ РФ – Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, Россия, 142190 Троицк, Московская обл.

**ФГУП "Научно-исследовательский институт «Полус» им. М.Ф. Стельмаха", Россия, 117342 Москва, ул. Введенского, 3

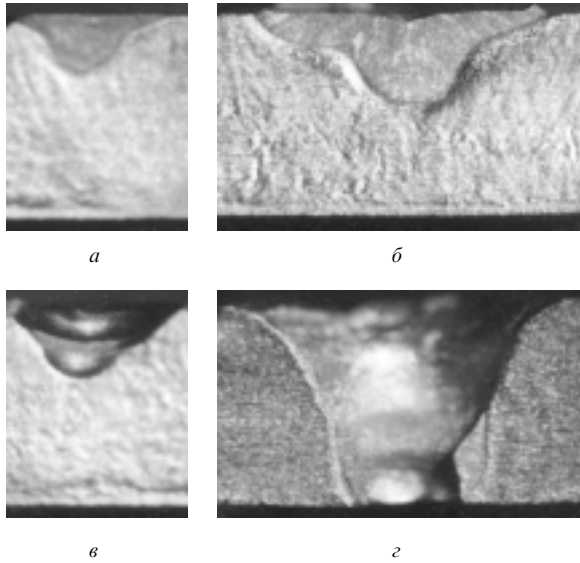


Рис.1. Фотографии застывшего расплава (а, б), каверны (в) и отверстия (г) при $t = 0.25$ (а, в) и 1 с (б, г), $W = 2.4$ кВт, $h = 3$ мм.

$t = 0.25$ с получаем оценку $(\chi t)^{1/2} \sim 1$ мм, где $\chi = 0.04$ см²/с – коэффициент температуропроводности нержавеющей стали. Приведенная оценка соответствует измеренной глубине расплава на начальном участке зависимости h_m от t .

Совместное воздействие на мишень излучения двух лазеров при тех же t и W приводит к образованию каверны (рис.1, в) или отверстия (рис.1, г) в образце. Соответствующие зависимости глубины каверны h_c от t и W показаны на рис.2, а (кривые 3, 4). При увеличении мощности СО₂-лазера скорость роста глубины каверны также увеличивается, а полная энергия излучения E_t , необходи-

мая для образования отверстия, уменьшается. Так, при $W = 1.75$ и 2.4 кВт имеем $E_t = 3.5$ и 2.4 кДж соответственно. Сравнивая эти энергозатраты с полной выходной энергией ИАГ : Nd-лазера Eft , видим, что для приведенных E_t доля энергозатрат ИАГ : Nd-лазера Eft/E_t невелика и составляет примерно 1 %.

Практический интерес представляют удельные энергозатраты $X = (W + Ef)t/V \approx Wt/V$ (здесь V – объем удаленного металла), необходимые для образования каверны или отверстия в металле рассматриваемым способом. Зависимости $X(t)$ приведены на рис.2, б. Отметим, что минимальные значения $X = (2 - 3) \cdot 10^5$ Дж/см³ близки к полученным при сверлении металлов остросфокусированным излучением импульсных или ИП СО₂-лазеров [11]. Увеличение X при уменьшении t левее минимума связано с началом сверления и большим теплоотводом к холодной мишени, а также с меньшим коэффициентом поглощения холодной мишени по сравнению с коэффициентом поглощения более нагретой мишени.

Тенденция к увеличению X при увеличении t правее минимума обусловлена тем, что по мере роста глубины канала все большая часть излучения СО₂-лазера теряется на его стенках и что фокальное пятно ИАГ : Nd-лазера из-за начальной несоосности лучей смещается на край расплава, имеющий пониженную относительно его центральной части температуру. При увеличении толщины пластины это смещение увеличивается и для пространственного совмещения фокальных пятен лучей лазеров необходимо непрерывное перемещение мишени навстречу лучу СО₂-лазера. Такое перемещение мы осуществляли в паузе между циклами облучения мишени, и за несколько циклов были получены отверстия в пластинах толщиной 6, 8 и 12 мм. Кроме того, методом послойного удаления металла удалось разрезать пластину толщиной 7.5 мм и при длине реза 8 мм получить среднюю ширину реза около 1.5 мм.

Таким образом, одновременное воздействие излучений непрерывного СО₂-лазера и ИП ИАГ : Nd-лазера позволяет проводить эффективную дистанционную обработку (сверление, резка) металлов. Мощность излучения СО₂-лазера, необходимая для обработки образцов толщиной ~ 10 мм, составляет несколько киловатт, и для этих целей могут быть использованы существующие СО₂-лазеры. При увеличении мощности СО₂-лазера и пропорциональном увеличении мощности ИП ИАГ : Nd-лазера возможна эффективная дистанционная резка металлических конструкций повышенной толщины. Что касается механизма удаления расплава в наших условиях, то из-за сильного (в 25 раз) различия площадей фокальных пятен этих двух лазеров он, по-видимому, отличается от описанного в [7, 11, 12] механизма удаления расплава при сверлении остросфокусированным излучением одиночного лазера, когда расплав выдавливается через кольцевую щель импульсом отдачи паров после вскипания всей поверхности расплава. Для выявления механизма удаления расплава необходимы дополнительные экспериментальные исследования и их сравнение с численными расчетами.

Авторы благодарны Г.Г.Гладушу за полезные обсуждения результатов работы. Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 00-02-16161).

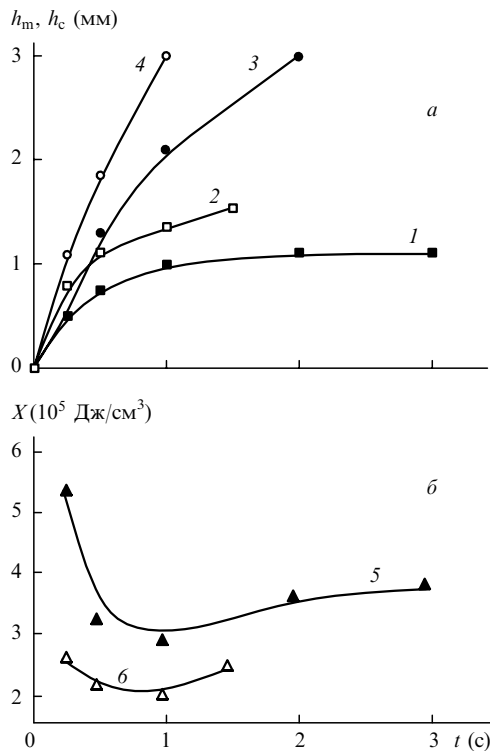


Рис.2. Зависимости от времени t глубины расплава h_m (1, 2) и глубины каверны h_c (3, 4) (а), а также удельных энергозатрат X (5, 6) (б) для $h = 3$ мм при $W = 1.75$ (1, 3, 5) и 2.4 кВт (2, 4, 6).

1. Лиханский В.В., Лобойко А.И., Антонова Г.Ф., Красюков А.Г., Саяпин В.П. *Квантовая электроника*, 26, 139 (1999).

2. Антонова Г.Ф., Гладуш Г.Г., Красюков А.Г., Косырев Ф.К., Саяпин В.П. *Теплофизика высоких температур*, **37**, 865 (1999).
3. Антонова Г.Ф., Гладуш Г.Г., Красюков А.Г., Косырев Ф.К., Родионов Н.Б. *Теплофизика высоких температур*, **38**, 501 (2000).
4. Гладуш Г.Г., Дробязко С.В., Родионов Н.Б., Антонова Л.И., Сенаторов Ю.М. *Квантовая электроника*, **30**, 1072 (2000).
5. Maher W.E., Hall R.V. *J. Appl. Phys.*, **47**, 2486 (1976).
6. Боркин А.Г., Гладуш Г.Г., Дробязко С.В., Казаков В.Н. *Взаимодействие излучения, плазменных и электронных потоков с веществом* (М.: ЦНИИАтоминформ, 1984, с.97).
7. Арутюнян Р.В., Баранов В.Ю., Большов Л.А. и др. *Воздействие лазерного излучения на материалы* (М.: Наука, 1989).
8. Басиев Т.Т., Кравец А.Н., Крайнов А.С., Федин А.В. *Квантовая электроника*, **25**, 525 (1998).
9. Бабанов И.В., Глова А.Ф., Лебедев Е.А. *Квантовая электроника*, **20**, 216 (1993).
10. Антонова Г.Ф., Гладуш Г.Г., Косырев Ф.К., Красюков А.Г., Лиханский В.В., Лобойко А.И., Саяпин В.П. *Квантовая электроника*, **25**, 443 (1998).
11. Веденов А.А., Гладуш Г.Г. *Физические процессы при лазерной обработке материалов* (М.: Энергоатомиздат, 1985).
12. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н. *Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов* (М.: Машиностроение, 1985).