

07; 12

© 1992

## РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ СЛОЖНОЙ АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

А. А. Деев, П. Ю. Кикин,  
А. И. Пчелинцев

Традиционно прошивка отверстий и резка тонколистовых металлических материалов осуществляется импульсами лазера, работающего в режиме квазистационарного излучения с характерными параметрами воздействия на металл: интенсивность  $10^6-10^8$  Вт/см<sup>2</sup>, длительность импульса  $10^{-4}-10^{-3}$  с. При этом, с рядом несущественных оговорок, процесс включает две важнейшие стадии. На первой происходит разогрев и образование ванны расплава, а на второй стадии, когда поверхность расплава разогревается до температуры интенсивного испарения, происходит выдваливание или выброс расплава за счет давления паров. Главными факторами, определяющими производительность процесса, являются объем расплавленного металла (или глубина проникновения изотермы плавления) и величина импульса давления паров. При обработке импульсом квазистационарного излучения трудно достичь оптимального сочетания указанных факторов. С этой точки зрения эффективным оказалось применение метода комбинированного воздействия на металл двух лазерных пучков (например, [1]), когда один из лазерных пучков расплавляет определенное количество металла, а другой, испаряя расплав, формирует необходимый для его выброса импульс давления. В большинстве ранних реализаций указанного двухпучкового метода обработки совмещение пучков осуществлялось под углом друг к другу, что создает большие трудности в юстировке системы и, как правило, негативно сказывается на качестве обработки.

В данной работе использовалась установка, в которой оптические оси обоих лазеров были совмещены, что позволило фокусировать пучки в единой зоне облучения с использованием единственной линзы. (В нашем случае фокусное расстояние  $F = 120$  мм). Имелась возможность синхронизировать работу лазеров меняя время задержки импульса срабатывания одного лазера относительно другого. В результате такого совмещения обрабатываемый материал лазерный импульс представлял собой сложный импульс с неоднородно-амплитудно-временной структурой. В качестве теплового импульса использовалось излучение ИАГ лазера, работающего в режиме свободной генерации ( $\tau = 4,5$  мс). На первый взгляд, нетрадиционные для размерной обработки параметры облучения выбраны, исходя из желания увеличения производительности процесса за счет увеличения объема

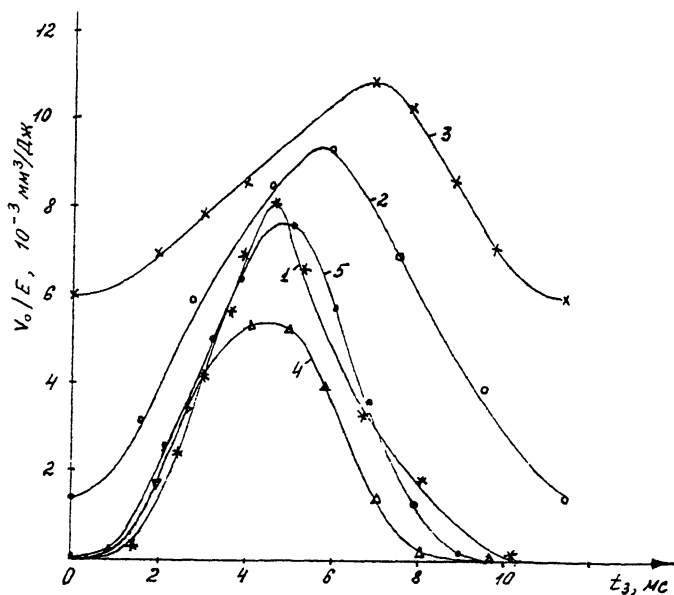


Рис. 1. Зависимость объема удаляемого материала на единицу затраченной энергии от времени задержки импульса модулированной добротности относительно начала действия теплового импульса: 1 -  $E = 5$  Дж Fe, 2 -  $E = 9$  Дж Fe, 3 -  $E = 15$  Дж Fe, 4 -  $E = 10$  Дж Al, 5 -  $E = 15$  Дж Al.

ванны расплава. Гарантированное удаление расплава из зоны облучения обеспечивалось мощным импульсом давления паров, который формировался импульсом модулированной добротности второго лазера на рубине ( $E = 0.5$  Дж,  $\tau = 30$  нс).

Эксперименты проводили на образцах из стали 20 и алюминия.

На рис. 1 представлены нормированные на единицу энергии зависимости объема удаляемого материала от времени задержки гигантского импульса относительно начала действия основного импульса. Снимались зависимости для ряда фиксированных энергий теплового импульса ( $E_1 = 5$  Дж,  $E_2 = 10$  Дж,  $E_3 = 15$  Дж). Объем удаляемого материала определялся по измерениям потери массы образцов.

Зависимости носят экстремальный характер. Для относительно небольших энергий импульса теплового воздействия положение максимума почти не зависит от материала и приходится на момент окончания импульса. С возрастанием энергии происходит смещение максимума за временной интервал действия теплового импульса. Отмеченный эффект связан с тем, что зона плавления материала продолжает расти и после действия теплового импульса, благодаря тому, что среднее значение температуры расплава к концу облучения превышает температуру плавления материала. Очевидно, что более от-

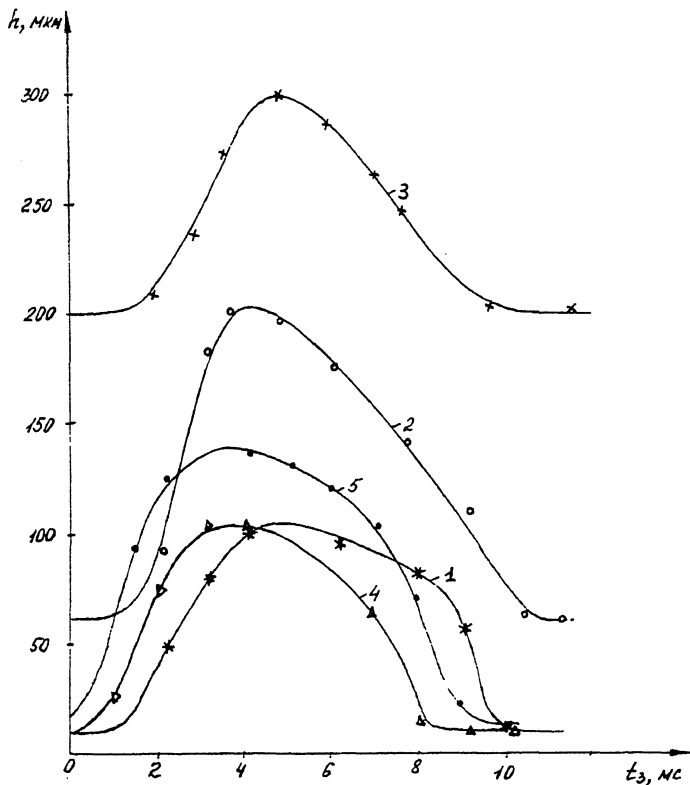


Рис. 2. Зависимость глубины формируемой за одно воздействие лунки от времени задержки импульса модулированной добротности относительно начала действия теплового импульса. 1 -  $E = 5$  Дж Fe, 2 -  $E = 9$  Дж Fe, 3 -  $E = 15$  Дж Fe, 4 -  $E = 10$  Дж Al, 5 -  $E = 15$  Дж Al.

четливо эффект проявляется у материала с меньшей теплопроводностью - в данном случае у стали. С возрастанием энергии основного импульса, влияние дополнительного излучения модулированной добротности на процесс удаления материала из ванны расплава заметно уменьшается. Это хорошо видно из изменений отношения величины максимального объема удаляемого конденсата к величине этого объема при простом тепловом воздействии (при  $t_{\text{зад}} = 0$ ). Уменьшение влияния дополнительного импульса вызвано, во-первых, тем, что с ростом энергии основного импульса становится возможным интенсивное испарение расплава непосредственно излучением теплового импульса, и на долю дополнительного импульса остается только удаление оставшейся части расплава. Во-вторых, это вызвано экранировкой излучения пароплазменным факелом, возникающем при достаточно больших интенсивностях импульса теплового воздействия.

Отмеченные особенности проявляются и на зависимостях глубины формируемой лунки от времени задержки при фиксированных значениях энергии импульса облучения, представленных на рис. 2. Здесь также как и на предыдущих зависимостях наблюдается смещение максимума при увеличении энергии излучения теплового импульса, однако в данном случае этот эффект не столь очевиден. Это говорит о том, что после окончания импульса фронт плавления материала распространяется в основном в поперечном направлении.

#### В ы в о д ы .

1. Комбинация импульса свободной генерации и импульса модулированной добротности позволяет существенно повысить эффективность размерной лазерной обработки.

2. Существует оптимальное значение времени задержки гигантского импульса относительно импульса свободной генерации, обеспечивающее максимальную производительность процесса как с точки зрения количества удаленного конденсата, так и с точки зрения глубины формируемой лунки. В простейшем случае для оптимизации процесса необходимо, чтобы время задержки равнялось длительности импульса свободной генерации.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Г и п п и у с Н.А., Д а н и л е й к о Ю.К., И о н о в П.В., М и р о в С.Б., М у с а т о в А.Г., О с и к о В.В., С и д о р и н А.В., Т у л а й к о в а Т.В. // ДАН СССР. 1989. Т. 308. № 5. С. 1122-1127.

Институт машиноведения  
им. А.А.Благонравова  
РАН, Горьковский филиал

Поступило в Редакцию  
4 февраля 1992 г.