

## Л и т е р а т у р а

1. Кречмар Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс. - М., 1966. 2. А. с. 562316 (СССР). Сопло горелки для газопламенного напыления порошковых материалов/Е.А.Бондарев, Е.Д.Манойло, А.Г.Сбриджер и др. - Опубл. в Б.И., 1977, № 23.

УДК 621.785

В.А.Лубочкин, инженер (БПИ),  
Г.М.Яковлев, докт. техн. наук (БПИ),  
Н.В.Спиридонов, канд. техн. наук (БПИ),  
В.А.Протасевич, инженер (БПИ)

### НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ

К числу наиболее новых и перспективных направлений, получивших значительное развитие за последнее время в технологии машиностроения, относится обработка поверхностей деталей машин и различного технологического оборудования лучом лазера.

Существенное значение имеют уникальные свойства лазерного излучения и специфические эффекты, возникающие при его воздействии на твердые тела, и, в частности, упрочнение металлов и их сплавов.

Исключительно большие возможности лазерного упрочнения материалов базируются на целом ряде замечательных свойств лазерного излучения.

Отличительными особенностями лазерного луча являются:

- высокие энергетические характеристики потока электромагнитной энергии;
- широкий (от 0 до  $10^{15} \dots 10^{17}$  Вт/см<sup>2</sup> и даже выше) диапазон варьирования потоком энергии;
- высокая направленность распространения электромагнитной энергии;
- высокая монохроматичность;
- высокая когерентность и др.

Характер обработки металлов и их сплавов определяют энергетические характеристики: мощность, плотность мощности, длительность воздействия, пространственное распределение плотности мощности излучения, отражательная способность материала, его теплофизические свойства.

Основу всех процессов обработки материалов лучом лазера составляют физические явления, происходящие при взаимодействии луча лазера с веществом и влияющие на структуру и свойства материалов.

Известные в настоящее время работы, посвященные выявлению физического механизма действия луча лазера на структуру материалов, показали, что основным механизмом является тепловой, который описывается тепловой моделью воздействия лазерного луча на непрозрачные среды [2]. Процесс взаимодействия лазерного излучения с материалами в целом можно представить в виде четырех последовательных стадий:

- а) поглощение потока электромагнитной энергии и превращение ее в тепловые колебания решетки;
- б) нагрев, вплоть до температуры испарения (сублимации);
- в) разрушение материала, его испарение;
- г) охлаждение.

Длительность каждой стадии зависит от плотности мощности светового потока и теплофизических свойств материала.

Важным моментом при проведении лазерного поверхностного упрочнения является выбор и определение критической плотности мощности ( $g_{кр}$ ).

Критическая плотность мощности, при которой начинается плавление, имеет вид

$$g_{кр} = \frac{T_m \lambda_m \sqrt{\pi}}{2 \sqrt{\alpha \tau}}, \quad (1)$$

где  $T_m$  – температура плавления облучаемого металла;  $\lambda_m$  – коэффициент теплопроводности;  $\alpha$  – коэффициент температуропроводности;  $\tau$  – время воздействия.

Также при практическом использовании лазерного излучения существенным является определение баланса энергии луча лазера, взаимодействующей с металлом, и учет доли отраженной энергии. В работе [2] показано, например, что величина отраженной энергии в течение светового импульса меняется. Это связано с изменением отражательной способности металлов с ростом температуры и при фазовом переходе. Минимум величины отражательной способности ( $R$ ) за время импульса соответствует по времени максимальной энергии луча, причем уменьшение  $R$  показано даже для одиночного пика.

Процесс изменения отражательной способности ( $R$ ) со временем состоит из нескольких качественных участков [1]. Его можно наглядно показать на качественной диаграмме (рис. 1).

На диаграмме можно выделить участок, где термобработка будет происходить наиболее эффективно (участок 1<sup>\*</sup>). Термообработка на подобранных режимах в пределах указанного участка характеризуется высоким КПД использования энергии луча, максимальной зоной воздействия, большой производительностью, высоким качеством обработки и т. д.

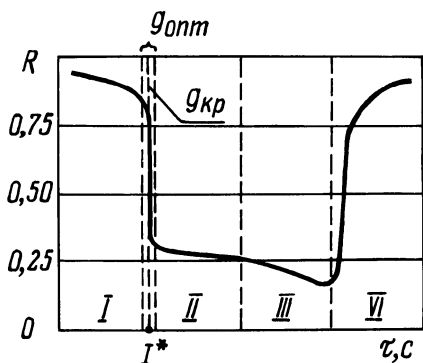


Рис. 1. Изменение отражательной способности во времени: I – начальный нагрев до плавления поверхностного слоя (при  $\lambda = 10,6$  мкм для металлов без поглощающего покрытия  $R$  велико); II – плавление при постоянной температуре (вся подводимая мощность тратится на прохождение волны плавления в глубь металла); III – рост толщины расплавленного слоя, увеличение теплового сопротивления (уменьшается количество энергии, подводимой к границе твердой и жидкой сред, температура поверхности возрастает и отражательная способность ( $R$ ) уменьшается);

IV – падение плотности мощности при переходе через максимум интенсивности излучения (рост отражательной способности из-за охлаждения); I\* – зона эффективной термообработки.

Итак, лазерная термобработка материалов является эффективным высокоэнергетическим методом воздействия на материалы.

Энергетические характеристики взаимодействия луча лазера с поверхностью материалов изменяются во времени, так как меняется отражательная способность ( $R$ ).

Оптимальные условия термобработки достигаются в зоне I\* (см. рис. 1), где  $g_{опт} = g_{кр} \pm \Delta g$ .

#### Л и т е р а т у р а

1. Миркин Л.И. Физические основы обработки материалов лучами лазера. – М., 1975.
2. Действие излучения большой мощности на металлы / С.И.Анисимов, Я.Л.Имас, Г.С.Романов, Ю.В.Ходыко. – М., 1970.