

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ ОКИСНЫХ ПЛЕНОК

А. А. Углов, А. А. Волков, Ю. Ю. Кризонов, А. М. Любченко

Вопросы взаимодействия лазерного излучения с металлами в окислительной атмосфере рассматривались ранее в широком ряде работ [1-5]. При анализе термохимических процессов, протекающих на поверхности изменения поглощения лазерного излучения, влияющая на темп роста температуры и соответственно кинетику окисления. Расчет таких процессов затруднен в связи с неопределенностью оптических постоянных возникающего на поверхности металла слоя окисла. Зависимость поглощательной способности $A(\xi)$ от толщины окисла ξ имеет вид [6]

$$A(\xi) = 1 - |r|^2, \quad r = \frac{r_{12} \exp(-2i\psi) + r_{23}}{\exp(-2i\psi) + r_{12}r_{23}},$$

$$r_{23} = \frac{r_{12} - r_{13}}{r_{12}r_{13} - 1}, \quad r_{12} = \frac{1 - \sqrt{\varepsilon_0}}{1 + \sqrt{\varepsilon_0}}, \quad r_{13} = \frac{1 - \sqrt{\varepsilon}}{1 + \sqrt{\varepsilon}},$$

$$\psi = \frac{2\pi}{\lambda_y} \sqrt{\varepsilon_0 \xi}, \quad \sqrt{\varepsilon_0} = n_0 + ix_0, \quad \sqrt{\varepsilon} = n + ix, \quad (1)$$

где λ_y — длина волны лазерного излучения; $\varepsilon_0, \varepsilon, n_0, x_0, n, x$ — диэлектрическая проницаемость, показатели преломления и экстинкции для окисной пленки и металла соответственно.

Выбор оптических постоянных в (1), проведенный в [1-3], основан на литературных данных, методика определения n_0, x_0 , предложенная в [5], справедлива только для слабопоглощающих покрытий $(4\pi/\lambda_y) x_0 \xi \ll 1$, что значительно сужает область применения полученных соотношений.

В этой связи определение оптических постоянных в области параметров воздействия, характерных для лазерного нагрева, является актуальной научно-технической задачей.

Методика основана на нахождении значений поглощательной способности в точках локальных экстремумов функции $A(\xi)$. На ЭВМ решалась следующая система алгебраических уравнений:

$$A(n_0, x_0, \xi_{01}) = A_1,$$

$$A(n_0, x_0, \xi_{02}) = A_2, \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial A}{\partial \xi} \right|_{n_0, x_0, \xi_{01}} = \left. \frac{\partial A}{\partial \xi} \right|_{n_0, x_0, \xi_{02}} = 0$$

где ξ_{01}, ξ_{02} — неизвестные координаты экстремумов функции $A(\xi)$, A_1 и A_2 — экспериментально полученные значения поглощательной способности системы окисел—металл в точках экстремумов.

Модельный эксперимент включал в себя исследование динамики роста поглощательной способности медных образцов ($\varnothing 20 \times 6$ мм) при нагреве в изотермических условиях. Нагрев образцов осуществлялся омическим нагревателем, их температура регистрировалась зачехленной хромель-алюмелевой термопарой. Измерения проводились на длине волны CO_2 лазера (типа ИЛГН-703, $\lambda_y = 10.6$ мкм), исходная поглощательная способность образцов равна 0.012, угол падения излучения близок к нормальному. Измерялась отражательная способность образцов R , связанная с поглощательной соотношением $A = 1 - R$. Выбор диапазона температур (350—600 °С) обусловлен тем, что при лазерном нагреве активация окислительной реакции происходит именно в этой температурной области [5, 7].

На рис. 1 представлены зависимости поглощательной способности образцов для различных температур нагрева. Видно, что повышение температуры ведет к уменьшению величины функции $A(\xi)$ в точках экстремумов. На основе полученных экспериментальных данных определены зависимости оптических постоянных окисной пленки от температуры ее образования, графики которых представлены на рис. 2.

Анализ результатов показал, что в диапазоне до ~ 400 °С окисная пленка однослойная и состоит из окиси меди (CuO). Повышение температуры ведет к появлению слоя закиси меди (Cu_2O), толщина которого становится преобладающей в высокотемпературной области ≥ 550 °С, что приводит к увеличению n_0 до 2.7 и уменьшению x_0 до 0.045. Полученные зна-

чения n_0 и κ_0 хорошо согласуются с литературными данными [8] и несколько хуже с данными [5]. В [8], например, для Cu_2O приводятся значения $n_0=2.7$ и $\kappa_0=0.25$, а для CuO 2.5 и 0.5 соответственно.

Таким образом, для решения задач нагрева медных образцов излучением CO_2 лазера в низкотемпературной области, особенно при температуре активации реакции окисления

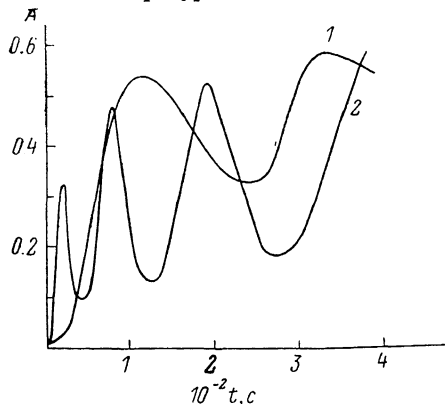


Рис. 1. Экспериментальные графики изменения поглощательной способности медной мишени при изотермическом окислении.

$T, ^\circ\text{C}$: 1 — 480, 2 — 600.

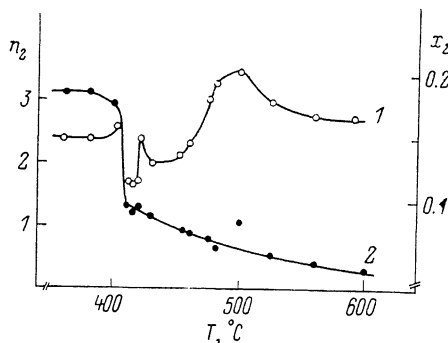


Рис. 2. Зависимость оптических постоянных окисной пленки, образующейся на медной поверхности, от температуры ее образования.

1 — n_0 , 2 — κ_0 .

~ 400 °C, и высокотемпературной области, когда $A(\xi) \geq A_0$, можно использовать приближение двухслойной системы окисел—металл и считать постоянными значения n_0 и κ_0 (используя их из соответствующего температурного диапазона). Это будет соответствовать малointенсивному (в первом случае) и высокоинтенсивному (во втором) лазерному воздействию. Промежуточный диапазон требует привлечения приближения трехслойной системы.

В заключение авторы выражают благодарность И. Ю. Смурову за проявленный интерес к работе и ценные замечания.

Список литературы

- [1] Володькина В. Л., Крылов К. И., Либенсон М. Н., Прокопенко В. Т. // ДАН СССР. 1973. Т. 210. № 1. С. 66—69.
- [2] Бункин Ф. В., Кириченко Н. А., Лукьянчук Б. С. // УФН. 1982. Т. 138. № 1. С. 45—93.
- [3] Рыкалин Н. Н., Углов А. А., Смуров И. Ю., Волков А. А. // ДАН СССР. 1985. Т. 277. № 6. С. 1395—1399.
- [4] Баженов В. В., Бонч-Бруевич А. М., Гагарин А. П. и др. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1985. Т. 49. № 6. С. 1214—1217.
- [5] Арузов М. И., Бункин Ф. В., Кириченко Н. А. // Письма ЖЭТФ. 1978. Т. 27. Вып. 4. С. 230—234.
- [6] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. 620 с.
- [7] Бункин Ф. В., Кириченко Н. А., Конов В. И., Лукьянчук Б. С. // Квантовая электроника. 1980. Т. 7. № 7. С. 1548—1553.
- [8] Золотарев В. М., Морозов В. Н., Смирнова Е. В. Оптические постоянные природных и технических сред. Л.: Химия, 1984. 215 с.

Институт металлургии
им. А. А. Байкова АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
28 ноября 1988 г.