

05;07;12

Упрочнение металлов под воздействием УФ-излучения

© А.И. Федоров

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск

Поступило в Редакцию 10 ноября 1997 г.

В окончательной редакции 10 апреля 1998 г.

Приведены результаты экспериментальных исследований различных режимов воздействия ХеСI-лазера на образцы металла (сталь 45), повышающие его микротвердость и износостойкость. Удельная мощность и энергия излучения изменялись от $7.5 \cdot 10^6$ до $1 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ и от 1 до $20 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ соответственно.

Показано, что можно заранее задавать определенную микротвердость поверхностным слоям металла на глубину до $300 \mu\text{m}$ в зависимости от режима облучения.

Создание мощных эксимерных лазеров УФ-диапазона стимулировало поиск возможностей их применения для новых технологий [1–3]. Этим объясняется повышенный интерес к экспериментальным и теоретическим исследованиям по взаимодействию УФ-излучения с металлами [4–6]. В настоящее время законченное представление о физической картине воздействия УФ-излучения эксимерных лазеров на металлы отсутствует. Авторами работы [4] были проведены экспериментальные и теоретические исследования воздействия излучения импульсно-периодического ХеСI-лазера с интенсивностью $\sim 10^6 \div 10^8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ на мишени из ряда металлов (Al, Cu, Ti) в вакууме и в различных буферных газовых средах. Было показано, что при высоких интенсивностях излучения нагрев металлической мишени замедляется из-за импульсных потерь энергии на испарение, а при низких — из-за теплового излучения и отвода тепла в глубь металла. При этом в качестве основного фактора воздействия рассматривалась плотность мощности, а роль плотности энергии излучения для последствий взаимодействия излучения с металлами не учитывалась.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований воздействия излучения ХеСI-лазера на образцы металла (сталь 45), свидетельствующие о повышении их микротвердости и износостойкости в зависимости от режимов лучевой обработки.

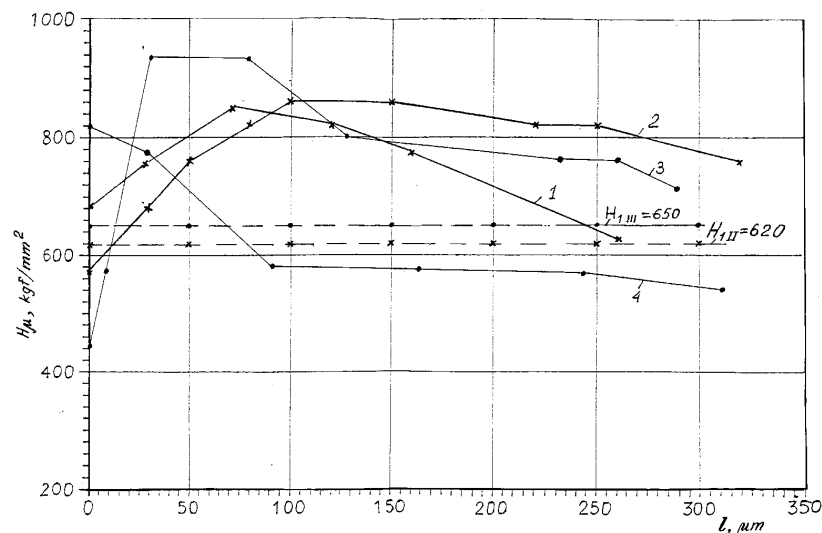


Рис. 1. Изменения микротвердости по глубине образцов II, III из стали 45, облучаемых ХеСl-лазером в режимах I-4.

В экспериментах интенсивность лазерного излучения (W), воздействующего на образцы, изменялась от $7.5 \cdot 10^6$ до $1 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$, плотность энергии излучения (Q) от 1 до $20 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ при длительностях импульсов генерации от 30 до 200 ns. Для исследований использовались три образца (I-III) стали, подвергнутые традиционной термообработке (закалка, отпуск). Исходная после термообработки микротвердость H_1 для образцов имела следующие значения: I — $600 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$; II — $620 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$; III — $650 \text{ kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$. Торцовую поверхность образцов II и III облучали лазером в режимах: 1 — $Q = 1.5 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$; $W = 7.5 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$; 2 — $Q = 5 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$; $W = 2.5 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$; 3 — $Q = 10 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$; $W = 5 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$; 4 — $Q = 20 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$; $W = 1 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$. Измерения микротвердости проводились на приборе ПМТ-3 при нагрузке $P = 0.1 \text{ kg}$. На поверхности образцов она изменялась следующим образом: II — 680 (1), 570 $\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$; III — 440 (3), 820 (4) $\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$, где (1-4) режимы лазерного облучения. В зависимости от плотности энергии и интенсивности излучения поверхностная микротвердость уменьшалась (режим 3) или увеличивалась

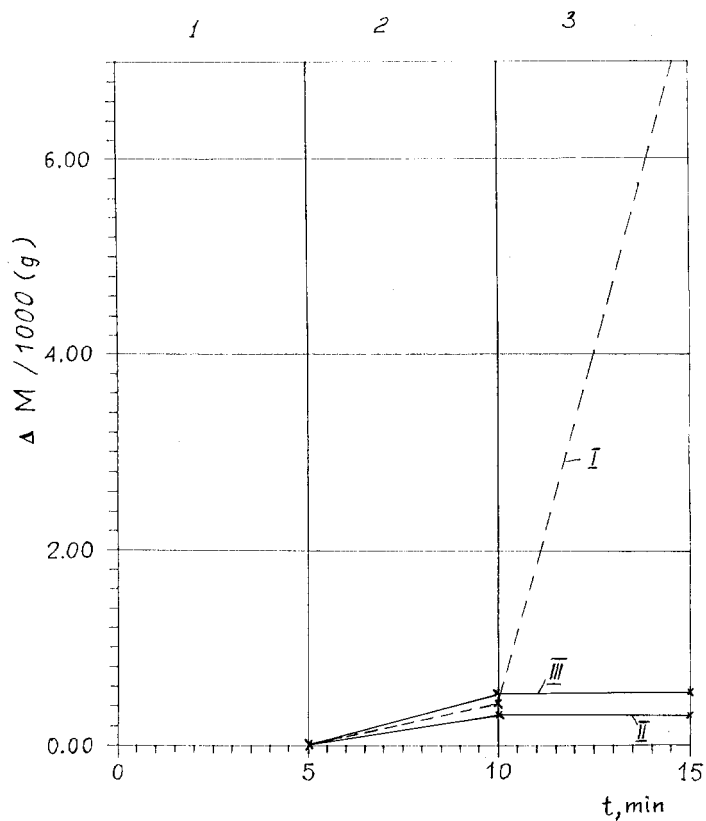


Рис. 2. Относительные потери образцов, истираемых на машине трения в зависимости от времени для обычного (I) и облучаемых ХеСl-лазером (II, III).

(режим 4) до 25%. Уменьшение микротвердости обусловлено самодиффузией углерода под воздействием излучения, а ее увеличение, видимо, поверхностным испарением металла.

Наибольший интерес представляла картина изменения микротвердости по глубине образцов. Для ее измерения делался поперечный срез образца. Затем поверхность шлифовалась и полировалась (без наклепа, т.е. упрочнения поверхности). Замеры микротвердости проводились на ПМТ-3 по глубине среза с примерным шагом $50 \mu\text{m}$. На

рис. 1 приведены зависимости микротвердости (H_μ) образцов II и III в поперечном шлифе по его глубине ($1, \mu\text{m}$) от режимов облучения (1–4) при $H_1 = 620$ (II), 650 (III) $\text{kgf} \cdot \text{mm}^{-2}$. Для режимов (1–3) с ростом плотности энергии и интенсивности излучения наблюдалось увеличение H_μ по глубине образца, что связано с отводом тепла в глубь металла. С дальнейшим ростом плотности энергии до $20 \text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$ и интенсивности излучения до $1 \cdot 10^8 \text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ (режим 4) наблюдался обратный эффект. Поверхностная микротвердость возрастала, а затем почти линейно спадала на глубину $\sim 100 \mu\text{m}$ и далее оставалась постоянной ниже исходной, что связано с отпуском материала за счет его перегрева. Следовательно, в зависимости от режима воздействия возможно изменение H_μ материала по его глубине до $300 \mu\text{m}$.

Кроме того, были проведены исследования данных образцов на износостойкость. Износ проводился по типу диск–колодка. Контролем был диск из стали ШХ 15, покрытый нитридом титана. Исследования износа выполнялись в воздушной среде с параметрами: $P = 25 \text{kgf}$; $v = 80 \text{rpm}$. На рис. 2 приведены графики потери массы от времени. Ввиду значительного нагрева образцов при больших временах истирания, исследование износостойкости заканчивалось на 15-й минуте. Данные зависимости можно разбить на три участка (1–3). Участок (1) соответствовал притирке образца с контролем. На участке (2) потери массы облученных образцов практически не отличались от потерь масс исходного образца (I), что согласуется с микротвердостью данных образцов (рис. 1, зависимости 1 и 2). На участке (3) наблюдалось резкое отличие износа образца (I) по сравнению с облученными (II, III).

Таким образом, полученные результаты дополняют вывод авторов [4] о существовании оптимальных режимов нагрева металлических образцов не только в зависимости от интенсивности лазерного излучения, но и от плотности энергии излучения и времени воздействия. На основании проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Показана возможность увеличения микротвердости и износостойкости металлов (на примере стали 45) в зависимости от параметров режима воздействия УФ-излучения (интенсивности и плотности энергии излучения).

2. За счет тепловых режимов воздействия УФ-излучения можно задавать определенные свойства по микротвердости металлическим поверхностям по из глубине до $300 \mu\text{m}$.

Автор выражает благодарность В.М. Диаманту за помощь в обработке образцов на микротвердость и износостойкость (Республиканский инженерный центр СО РАН).

Список литературы

- [1] Дж. Рэди Промышленные применения лазеров. М.: Мир, 1981. 638 с.
- [2] Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов. М.: Мир, 1986. 502 с.
- [3] Sowada U, Lokai P, Kahlert H, Basting D. // *Laser und Optoelectronik*. 1989. V. 21. N 3. P. 107–115.
- [4] Arutyunyan R.V., Bolshov L.A., Borisov V.M. et al. Investigation of Regimes of Repetitively Pulsed XeCl-Laser Action on Metals. Preprint of Kurchatov Institute of Atomic Energy. — 4958/9. М., 1989. 48 с.
- [5] Godard B, Murrer P, Laborde P. et al. // *Proceedings of "CLEO/Europe 94"*. (CTuG3). P. 42.
- [6] Fedorov A.I. // *Proceedings of "Pulsed Lasers on Atomic and Molecular Transitions"*. III International Conference. Tomsk, 1997. P. 29. Russia.