

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Е.В. Голосов¹, А.А. Ионин², Ю.Р. Колобов¹, С.И. Кудряшов², А.Е. Лигачев³, Л.В. Селезнев²
Д.В. Сеницын², Ю.Н. Новоселов²

¹ Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

² Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

³ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия

На поверхности титана с помощью линейно поляризованного импульсного фемтосекундного лазерного излучения с различной поверхностной плотностью энергии сформирован рельеф, состоящий из чередующихся впадин и выступов. С использованием растровой электронной микроскопии высокого разрешения исследована его структура.

Введение

Для модификации поверхности конструкционных материалов (термообработка и легирование приповерхностного слоя, изменение топографии поверхности обрабатываемого материала) может быть применено импульсное лазерное излучение фемтосекундной длительности. Применение такого физико-химического воздействия позволяет получать материалы, свойства которых, например, на достаточно малом участке поверхности, могут существенно отличаться друг от друга. В настоящей работе представлены результаты экспериментов по обработке металлической (титановой) поверхности различным числом импульсов лазерного излучения фемтосекундной длительности.

Методика эксперимента

Облучение проводили с помощью титан-сапфирового лазера (длина волны 744 нм, ширина полосы генерации на полувысоте около 20 нм, ИК импульсами длительностью около 120 фс (на полувысоте) и энергией до 8 мДж), излучение которого подфокусировалось в пятно диаметром 0.5 мм на поверхности цилиндрической мишени (диаметр 8 мм, толщина 4 мм) из химически чистого, многократно отожженного и механически полированного (rms ~50 нм) титана марки BT1-0 со средним размером зерна 0,25 мкм (титан изготовлен в Центре наноструктурных материалов и нанотехнологий БелГУ). Лазерный луч сканировал поверхность титановой мишени, расположенной на трехмерной моторизованной подставке с компьютерным управлением при различных скоростях ее движения (0.6 - 20 мкм/с) при небольших энергиях лазерного излучения (< 0.5 мДж, пиковая мощность $W < 4$ ГВт), чтобы избежать заметной деградации распределения плотности энергии на поверхности мишени, связанной с самофокусировкой в воздухе (критическая мощность самофокусировки $W_{cr} \sim 3$ ГВт) и сопутствующими ей эффектами хроматической эмиссии, филаментации и рассеяния на плазме. Топографию поверхности исследовали с помощью РЭМ высокого разрешения (микроскоп Quanta FEG).

Результаты экспериментов и их обсуждение

При плотностях энергии $F \sim 40$ мДж/см² и числе импульсов $N = 500$ на поверхности титана формируются квазипериодические (средний период $D \sim 0.4$ мкм), узкие бороздки, состоящие из чередующихся впадин и выступов ориентированных перпендикулярно поляризации лазерного излучения (Рис.1а). На поверхности бороздок видны белые хлопья (очевидно, это продукты абляции), перекрывающие ряд бороздок. С ростом числа импульсов на порядок и практически такой же энергии в импульсе на облученной поверхности появляются и поперечные полосы (рис.1б). Присутствие поперечных и продольных бороздок хорошо видно на поверхности отдельных зерен, после воздействия лазерного излучения с энергией и числом импульсов (рис.1в). Правда, размер зерна увеличился почти в 40-50 раз, что, скорее всего, связано с перекристаллизацией титана через жидкую фазу в процессе облучения. Также можно отметить присутствие капельной фазы на вершинах бороздок и между ними (рис.1г).

В результате облучения титана под слоем воды на его поверхности образуются ультрамелкие частицы (рис.2а) кубической формы со стороной куба ~ 2 мкм (рис.2б) в свою очередь состоящие из пластинок правильной формы (рис.2в). К сожалению, элементный состав и кристаллографическую структуру данных частиц из-за их малого количества определить не удалось. Учитывая неравновесность условий образования данных частиц (высокие температура и давление в области взаимодействия лазерного луча с титаном, приводящие к абляции в жидкости, время воздействия в десятки фемтосекунд и ряд других факторов) и не знание элементного состава частиц, очень трудно прогнозировать механизм зарождения и роста данных частиц.

Заключение

Установлено, что в результате воздействия импульсного лазерного излучения фемтосекундной длительности на титан на воздухе и покрытого слоем воды, на его поверхности образуются периодические наноразмерные бороздки и ультрамелкие частицы формой близкой к кубической.

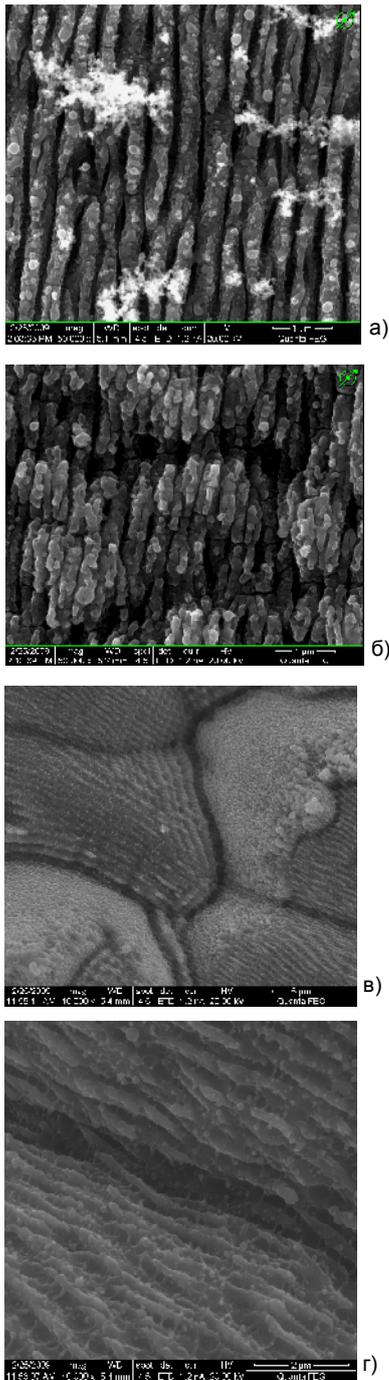


Рис.1. Структура поверхности титана после её облучения с энергией 25 мДж/см² (500 имп.) (а), 34 мДж/см² (500 имп.) (б), 300 мДж/см² (500 имп.) (в, г).

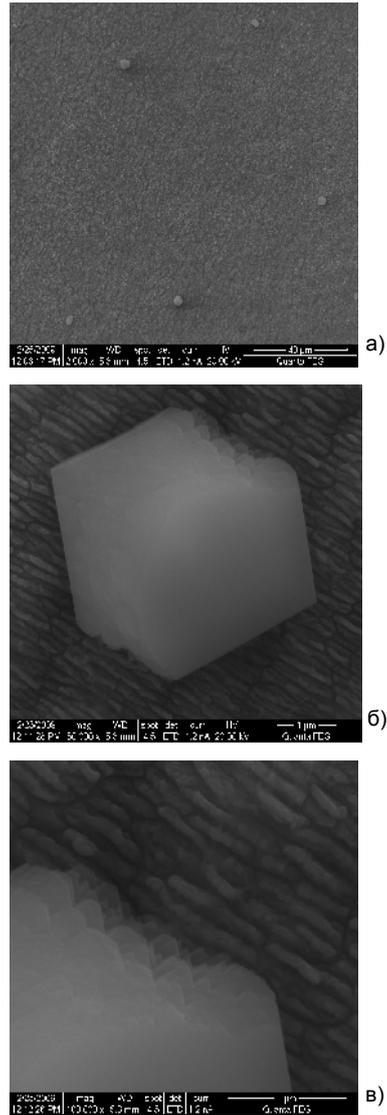


Рис.2. Ультрамелкие частицы, образующиеся под слоем воды на поверхности титана в результате воздействия лазерного излучения фемтосекундной длительности.

MODIFICATION A SURFACE OF THE TI BY PULSE LASER RADIATION FEMTOSECOND DURATION

E.V. Golosov¹, A.A. Ionin², J.R. Kolobov¹, S.I. Kudryashov², A.E. Ligachyov³, L.V. Seleznev²,
D.V. Sinityn², J.N. Novoselov²

¹ Belgorod state university, Belgorod, Russia

² Physical institute by P.N. Lebedev of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia

³ Institute of the general physics by A.M. Prokhorov of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia

On a surface of the titan by means of linearly polarized pulse femtosecond laser radiation with various superficial density of energy the relief consisting of alternating hollows and ledges is generated. With use of SEM- microscopy of the high resolution its structure is investigated.