

## ТЕРМОДИФФУЗИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

С. С. Ануфрик, В. Ч. Белаш, С. В. Васильев, А. Ю. Иванов

Гродненский государственный университет им. Я.Купалы, Гродно

E-mail: ion\_ne@mail.ru

Излучение рубинового лазера ГОР-100М, работавшего в режиме свободной генерации (длительность импульса  $\tau = 1,2$  мс,  $\lambda_1 = 0,694$  мкм), пройдя через фокусирующую систему, направлялось на исследуемый образец. Пятно фокусировки, создаваемое системой, имело диаметр 2 мм. Экспериментально определенный размер фокальной области (области каустики) системы при использовании лазера не превышал 2 мм. Плотность потока воздействующего излучения варьировалась от  $10^4$  до  $5 \times 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>.

Объектами исследования являлись титановые и медные образцы с никелевым покрытием. Элементный состав образцов до и после облучения исследовался с использованием рентгеновского спектрометра ElvaX. Исследования показали, что содержание некоторых элементов в приповерхностном слое образца после разрушающей лазерной обработки существенно изменяется.

Таблица 1.

Зависимость содержания никеля и титана в поверхностном слое облучаемого образца от величины поглощенной энергии (определялась с учетом значения коэффициента отражения лазерного излучения от мишени  $\rho_{от} = 0,8$ ).

|                          |       |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Поглощенная энергия (Дж) | 0     | 5     | 10    | 15    |
| Содержание никеля (%)    | 97,65 | 96,94 | 96,89 | 96,76 |
| Содержание титана (%)    | 0,98  | 1,22  | 1,28  | 1,40  |

В частности, при фронтальном воздействии на тонкий (несколько мкм) слой никеля, нанесенный на подложку из титана, после облучения концентрация титана в приповерхностном слое значительно (в 1,5 раза и более) увеличивалась (таблица 1). Содержание других примесей (кобальт, хром, железо и др.), имевшихся в незначительном количестве (десятые доли процента) в приповерхностном слое, практически не изменялось. Схожая картина наблюдалась при воздействии лазерного излучения на тыльную сторону тонкой медной пластины с покрытием из никеля (таблица 2).

Таблица 2.

Зависимость содержания никеля и титана в поверхностном слое облучаемого образца от величины поглощенной энергии.

|                          |      |      |      |
|--------------------------|------|------|------|
| Поглощенная энергия (Дж) | 0    | 10   | 15   |
| Содержание меди (%)      | 81,0 | 78,3 | 77,5 |
| Содержание никеля (%)    | 10,8 | 11,8 | 12,8 |

Существенно, что концентрация титана (в первом случае) и никеля (о втором) монотонно увеличивалась при увеличении плотности потока воздействующего лазерного излучения в указанном интервале. Это свидетельствует об активной диффузии металла из подложки в покрытие в зоне импульсного нагревания образца лазерным излучением.

Для выяснения причин подобной зависимости содержания элементов в образцах, обработанных лазерным излучением, нами был проведен расчет изменения температуры металлического образца, облучаемого лазерными импульсами с использованными в эксперименте параметрами. Расчеты показывают, что в ходе импульсного воздействия лазерного излучения на металлический образец его температура на короткий промежуток времени существенно возрастает (до значения  $\approx 375$  К), что не может не приводить к активизации диффузии материала покрытия в подложку и материала подложки в покрытие. Этому также должно способствовать и существенное (не менее чем в 2,5 раза) кратковременное повышение давления воздуха у поверхности мишени, могущее приводить к динамическим процессам (распространению упруго-пластических волн) в облучаемой образце.

Для определения структурных изменений металлических образцов после воздействия лазерного излучения использовался рентгеновский дифрактометр ДРОН-2.0. Полученные результаты свидетельствуют, что после воздействия лазерного излучения на металлы в зоне облучения элементарная ячейка принимает форму параллелепипеда, отличного от куба. Механизм подобной трансформации может быть следующим. Как уже указывалось, каждый пичок лазерного излучения вызывает увеличение в течении  $\sim 1$  мкс температуры на поверхности пятна фокусировки лазерного излучения на несколько десятков К. Поскольку основная масса металлического образца не нагрета, тепловое расширение облученной зоны происходит в основном в направлении лазерного луча. Остывание нагретой зоны также происходит достаточно быстро, до начала действия на образец следующего пичка лазерного излучения. За это время искаженная форма деформированной зоны облучения не успевает восстановиться, т.е. форма облученной зоны «замораживается».