

ВЛИЯНИЕ УДАРНО-СЖАТОГО СЛОЯ НА МОДИФИКАЦИЮ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИНТЕНСИВНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ

А.Я. Лейви¹⁾, А.А. Катышова¹⁾, В.И. Сомкова¹⁾,

Н.Н. Черенда²⁾, В.М. Асташинский³⁾, А.М. Кузьмицкий³⁾,

¹⁾Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), пр. Ленина 76, Челябинск 454080, Россия, leivai@susu.ru

²⁾Белорусский государственный университет,

пр. Независимости 4, Минск 220030, Беларусь, cherenda@bsu.by

³⁾Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,
ул. П. Бровки 15, Минск 220072, Беларусь, ast@imaph.bas-net.by

В данной работе исследуется влияние ударно-сжатого слоя на формирование рельефа поверхности мишени. Формирование ударно-сжатого слоя происходит вблизи поверхности мишени в результате воздействия на нее интенсивных плазменных потоков. Экспериментальные исследования проводились в газоразрядном магнетоплазменном компрессоре компактной геометрии (МПК-КГ) [1] с параметрами компрессионно-плазменных потоков: плотность вложенной энергии $W=25$ Дж/см², длительность импульса $t=140$ мкс, количество импульсов $N=1$. В качестве образцов исследования была выбрана система маска-подложка. Маска и подложка представляли собой стальные (сталь 3) пластины толщиной 3 мм и размерами 5х5 см. Маска имела сквозные отверстия диаметром 5 и 3 мм.

Экспериментальные исследования показали, что при воздействии компрессионными плазменными потоками (КПП) на систему маска-подложка на маске формируется развитый волнообразный рельеф поверхности с характерными отличительными чертами: образование кратеров в части мишени, где плазменный поток падал нормально на маску и разбрызгиванием капель расплава на периферии, в области, где плазменный поток растекался вдоль поверхности мишени.

Ключевые слова: ударно-сжатый слой; рельеф поверхности; плазменный поток; модификация рельефа поверхности.

INFLUENCE OF SHOCK-COMPRESSED LAYER ON SURFACE MODIFICATION UNDER THE IMPACT OF INTENSIVE PLASMA FLOW

Artem Leivi¹⁾, Anna Katyshova¹⁾, Valeriya Somkova¹⁾, Nikolai Cherenda²⁾,

Valiantsin Astashinski³⁾, Anton Kuzmicki³⁾

¹⁾South Ural State University (National Research University),
76 Lenin Ave., 454080 Chelyabinsk, Russia, leivai@susu.ru

²⁾Belarusian State University,

4 Nezavisimosti Ave., 220030 Minsk, Belarus, cherenda@bsu.by

³⁾A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus,
15 Brovki Str., 220072 Minsk, Belarus, ast@imaph.bas-net.by

In this paper, we study the effect of a shock-compressed layer on the formation of the target surface relief. The shock-compressed layer is formed near the target surface as a result of the action of intense plasma flows on it. Experimental studies were carried out in a compact geometry gas-discharge magnetoplasma compressor (MPC-CG) [1] with the following parameters of compression-plasma flows: input energy density $W=25$ J/cm², pulse duration $t=140$ μ s, number of pulses $N=1$. The mask-substrate system was chosen as the study samples. The mask and substrate were steel (steel 3) plates with a thickness of 3 mm and dimensions of 5x5 cm. The mask had through holes with a diameter of 5 and 3 mm. Surface studies on a profilometer showed that the roughness of the relief on the substrate ($R_a=5.72$ μ m) is greater than that of the mask ($R_a=3.76$ μ m). In the experiment without a mask, the surface roughness was $R_a=0.96$ μ m. It was shown that when the CPP acts on the mask-substrate system, a wavy surface relief is also formed on the substrate, as in the experiments without a mask, but on a smaller scale (60-100 μ m). This indicates that, on the one hand, the shock-compressed layer can screen the radiation component in the mechanism of energy transfer

from the plasma flow to the solid substrate. On the other hand, the mask provides natural protection for the substrate by reducing the area of contact between the substrate and the plasma flow.

Keywords: shock-compressed layer; surface relief; plasma flow; modification of surface relief.

Введение

Обработка различного рода конструкционных материалов интенсивными потоками плазмы (с плотностью мощности 10^5 – 10^8 Вт/см²) является одним из перспективных методов улучшения их эксплуатационных характеристик. Такая обработка может сопровождаться увеличением прочности, износостойкости и эрозионной устойчивости материала [1–3]. Поэтому исследования, связанные с воздействием интенсивных плазменных потоков на вещество, актуальны как с точки зрения понимания физических процессов, протекающих в веществе при воздействии интенсивных потоков энергии, так и с точки зрения создания научной базы для радиационных технологий, направленных на разработку методов модификации различного рода конструкционных материалов и создание материалов, стойких к радиационному воздействию.

В работе [4] показано, что при воздействии КПП на мишень из стали 3 на ее поверхности образуется развитая поверхность с характерным крупномасштабным (от 200 до 1000 мкм) волнообразным рельефом. Также авторы отмечают, что при увеличении плотности вложенной энергии ($W=10$ – 35 Дж/см²) увеличивается масштаб волнообразного рельефа.

Процесс взаимодействия плазменного потока с мишенью можно представить следующим образом [5]: торможение налетающей на твердое тело плазмы; переход кинетической энергии плазмы во внутреннюю энергию; рост температуры, плотности и давления плазмы вблизи поверхности (формирование ударно-сжатого слоя); передача энергии от плазменного потока мишени за счет процессов электронной теплопроводности и радиационной потока энергии на мишень.

Поскольку на конечный результат модификации поверхности материала при

воздействии КПП влияет множество факторов: термодинамические свойства самого материала, длительность плазменного импульса, количество импульсов, шероховатость исходной поверхности и др. Соответственно установление механизмов формирования рельефа поверхности является сложной задачей.

В данной работе исследуется влияние ударно-сжатого слоя на формирование рельефа поверхности мишени.

Методика эксперимента

Образцы для исследования представляли собой пластины толщиной 3 мм и размерами 5х5 см. Геометрические размеры выбирались таким образом, чтобы минимизировать унос массы материала образцов за границы мишени. Пластины комбинировались в систему маска-подложка. Материалом подложки и маски являлась сталь 3. Маска имела сквозные отверстия диаметром 5 и 3 мм (рис 1). Диаметры отверстий были выбраны таким образом, чтобы с одной стороны они были меньше диаметра плазменного потока, с другой стороны не заплывали в результате движения расплава вдоль поверхности.

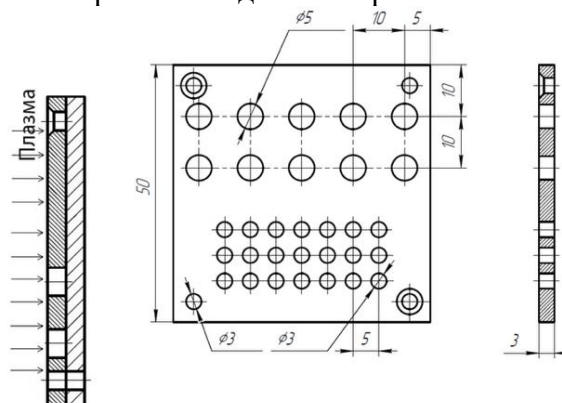


Рис. 1. Система маска-подложка

Система маска-подложка обрабатывалась на установке по генерации компрессионных плазменных потоков [1] с параметрами: плотность вложенной энергии $W=$

25 Дж/см², длительность импульса $t=140$ мкс, количество импульсов $N=1$.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2. представлены образцы после воздействия КПП. Из рис. 2 хорошо видно, что на маске так же, как и на образце без маски, формируется крупномасштабный рельеф поверхности, видно радиальное движение плазменного потока. На подложке, особенно в области отверстий диаметром 5 мм, видны следы плавления материала подложки, а также теплового воздействия плазменного потока (цвета побелости на подложке).

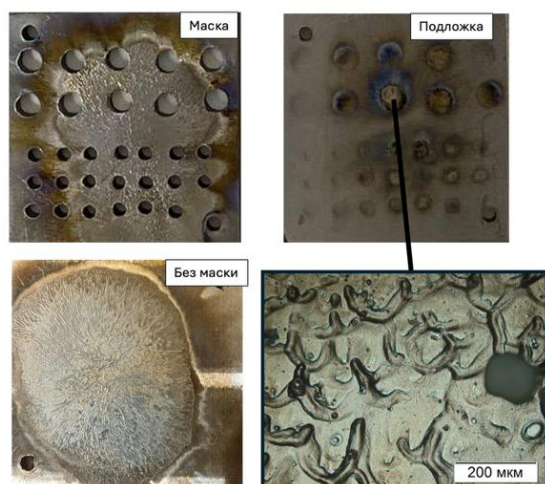


Рис. 2. Внешний вид образцов (маска, подложка, образец без маски) после воздействия КПП

Так же на рис. 2 представлен рельеф поверхности на подложке под большим (5 мм) отверстием маски. Из рисунка видно, что образуется волнообразный рельеф поверхности, масштаб порядка 60-100 мкм.

Также были проведены экспериментальные исследования с системой маска-подложка, но между маской и подложкой создавался зазор 7 мм. В этом случае, на подложке также формировались пятна расплава под соответствующими отверстиями маски, но большего размера (рис. 3). Рельеф поверхности волнообразный, масштаб порядка 200 мкм.

Исследования поверхности на профилометре показали, что шероховатость рельефа на подложке ($R_a=5.72$ мкм) больше,

чем у маски ($R_a=3.76$ мкм). В эксперименте без маски шероховатость поверхности составила $R_a=0.96$ мкм.

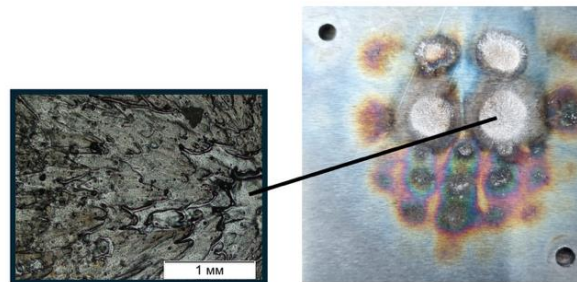


Рис. 3. Внешний вид подложки с увеличением в эксперименте с зазором после воздействия КПП

Закключение

Показано, что при воздействии КПП на систему маска-подложка на подложке также формируется волнообразный рельеф поверхности, как и в экспериментах без маски, но меньшего масштаба (60-100 мкм). Это свидетельствует о том, что с одной стороны ударно-сжатый слой может экранировать радиационную составляющую в механизме передачи энергии от плазменного потока подложке. С другой стороны, маска обеспечивает естественную защиту подложки, уменьшая область контакта подложки с плазменным потоком.

Библиографические ссылки

1. Углов В.В., Квасов Н.Т., Петухов Ю.А., Асташинский В.М., Кузьмицкий А.М. *Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед.* 2010; 1:1.
2. Погребняк А.Д., Тюрин Ю.Н. *УФН* 2005; 175(5): 515.
3. Углов В.В. и др. *Письма в ЖЭТФ* 2001; 74(4): 234.
4. Асташинский В.М., Лейви А.Я., Талала К.А., Углов В.В., Черенда Н.Н., Яловец А.П. Формирование рельефа поверхности металлической мишени при воздействии компрессионных плазменных потоков. *Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед.* 2013; (10): 99-106.
5. Leyvi A.Ya., Cherenda N.N., Uglov V.V., Yalovets A.P. The impact of a shock-compressed layer on the mass transfer of target material during processing compression plasma flows. *Resource-Efficient Technologies*; 2017; 3(3): 222-225.