ПОВЕРХНОСТНОЕ РАЗРУШЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНОГО ИОННОГО ПУЧКА НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

В.С. Ковивчак, Т.В. Панова, Т.Н. Черноок
Омский государственный университет имени Ф.М. Достоевского,
пр. Мира 55а, 644077 Омск, Россия, kvs@univer.omsk.su, PanovaTV@omsu.ru

Исследованы поверхностные разрушения алюминиевого сплава, вызванные воздействием мощного ионного пучка наносекундной длительности с различной плотностью тока. Определены характерные виды повреждений и изменение состава поверхностного слоя сплава. Обсуждены возможные механизмы разрушения.

Введение

Воздействие мощного ионного пучка наносекундной длительности на металлы и сплавы может приводить к существенному улучшению их поверхностных свойств. Эти улучшения происходят вследствие протекания ряда быстрых физических процессов – нагрева, плавления, кристаллизации расплава, охлаждения. После воздействия такого пучка в приповерхностных слоях облученного материала наблюдаются остаточные напряжения, которые существенно влияют на эксплуатационные характеристики модифицированных материалов. Формирование растягивающих напряжений критической величины приводит к возникновению трещин в поверхностном слое и, в конечном итоге, к разрушению материала. Ранее было показано, что наличие остаточных напряжений, возникающих в хрупком модельном материале (натрий-силикатном стекле) при воздействии мощного ионного пучка приводит к его поверхностному разрушению спустя сотни часов после окончания облучения [1, 2]. Было установлено, что толщина фрагментов, отколовшихся от поверхностного слоя стекла составляет 10±2 мкм. С практической точки зрения большой интерес представляет изучение поведения металлических материалов под действием мощного ионного пучка.

В работе для установления общих тенденций разрушения хрупких материалов, облучаемых мощным ионным пучком (МИП) используется модельный металлический материал, в качестве которого выбран алюминиево-медный сплав, обладающий невысокой механической прочностью.

Основная часть

В качестве исследуемого сплава был выбран алюминиево-медный сплав (47.5 мас. % Cu). Толщина образцов (1.5-2.5 мм) значительно превышала проективный пробег ионов углерода и протонов пучка в сплаве. Перед облучением образцы подвергались отжигу для уменьшения механических напряжений. Облучение образцов сплава стекла проводилось на ускорителе "Темп" ионным пучком со следующими параметрами: состав пучка - 70% C^+ и 30% H^+, $E \approx 200$ КэВ, $j = 20 - 150$ А/см^2, $\tau = 60$ нс. В экспериментах варьировались средняя плотность тока (j), число импульсов облучения (n). Морфологию поверхности и состав образцов исследовали с помощью растровой электронной микроскопии (JSM-6610LV, “JEOL” с энергодисперсионным анализатором Inca-350). Рентгеноструктурный анализ образцов выполняли на дифрактометре Дрон-3М на $Cu_{K\alpha}$ излучении.

Исходная (необлученная) поверхность исследуемого сплава показана на рис. 1. Она содержит области дендритных включений различных размеров. Рентгеноструктурный анализ сплава показал, что он состоит из Al_2Cu и α-твердого раствора Cu в Al.

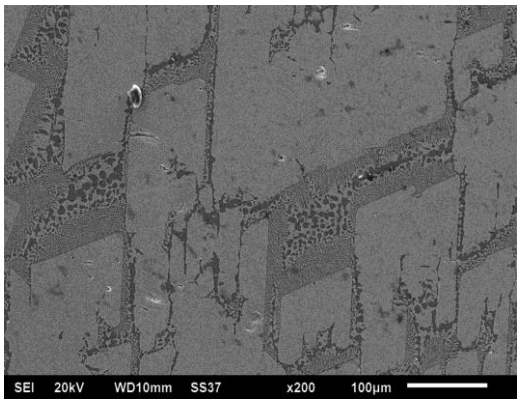

Рис. 1. Исходная (необлученная) поверхность алюминиево-медного сплава

Однократное воздействие МИП с плотностью тока 50 А/см^2 приводит к оплавлению тонкого поверхностного слоя. Увеличение плотности тока до 100 А/см^2 вызывает формирование трещин, которые преимущественно возникают в областях интерметаллида Al_2Cu. При этом они не распространяются в область дендритных включений (рис. 2). Вероятно, такая особенность локализации трещин объясняется хрупкостью интерметаллида Al_2Cu и высокой пластичностью дендритных включений. Неоплавленный край трещин свидетельствует о том, что разрушение происходит уже после затвердевания расплавленного поверхностного слоя. Рентгеновский микроанализ показывает обогащение облученных областей медью. Это, по-видимому, связано с большим испарением алюминия из расплавленного поверхностного слоя сплава, из-за более высокого давления насыщенных паров алюминия по сравнению с медью. При пересечении трещин (перпендикулярных и параллельных облучаемой поверхности) образуются фрагменты разрушения,

часть которых может быть удалена с облученной поверхности (рис. 3).

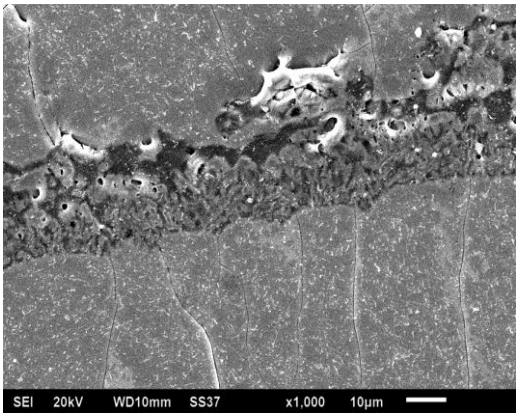

Рис. 2. Поверхность сплава Al-Cu после однократного воздействия МИП с j=150 А/см^2

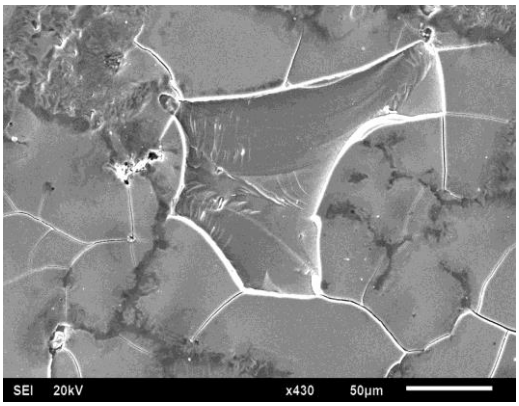

Рис. 3. Поверхность облученного сплава Al-Cu после удаления фрагмента разрушения

Откольные фрагменты образуются только в области интерметаллида Al_2Cu. Увеличение плотности тока пучка до 150 А/см^2 приводит к еще большему разрушению поверхностного слоя сплава и дальнейшему обогащению поверхности медью. Многократное облучение приводит к дополнительному оплавлению поверхностного слоя и возникновению локальных очагов сильного разрушения поверхностного слоя сплава. Оценка средней толщины отколовшихся фрагментов дает величину ~ 9 мкм. Разрушения, возникающие в сплаве Al-Cu подобны поверхностным разрушениям, наблюдаемым в натрий-силикатном стекле при облучении МИП. В силу непрозрачности сплава не представляется возможным определить, имеет ли место разрушение поверхностного слоя сплава после окончания импульса облучения. Следует отметить, что глубина локализации трещин, параллельных облучаемой поверхности (вызывающих отделения фрагмента разрушения от образца), существенно превышает пробег ионов углерода пучка (~ 0.5 мкм) и протонов (~ 2.5 мкм). Вероятно, на этой глубине достигается максимальное значение механических напряжений, генерируемых в сплаве при воздействии МИП.

Заключение

При воздействии мощного ионного пучка наносекундной длительности на сплав Al-Cu на его поверхности образуются отдельные трещины и фрагменты разрушения, которые могут быть удалены с поверхности. Средняя толщина этих фрагментов составляет ~ 9 мкм. При высоких плотностях тока пучка разрушение поверхностного слоя приобретает массовый характер. Наблюдаемые разрушения вызваны механическими напряжениями, генерируемыми ионным пучком. Воздействие мощного ионного пучка приводит также к обогащению поверхностного слоя медью, что связано с более интенсивным испарением алюминия из расплава из-за его более высокой (по сравнению с медью) летучестью.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Омской области в рамках научного проекта № 15-48-04410 р_сибирь_а.

Список литературы

1. *Ковивчак В.С., Попов Е.В., Панова Т.К., Бурлаков Р.Б.* // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2003. № 4. С. 38.
2. *Ковивчак В.С., Панова Т.В., Геринг Г.И.* // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2007. № 4. С. 107.

SURFACE FRACTURE OF ALUMINUM ALLOY UNDER THE ACTION OF A HIGH POWER ION BEAM OF NANOSECOND DURATION

V.S. Kovivchak, T.V. Panova, T.N. Chernook
Omsk State University, 55a pr. Mira, 644077 Omsk, Russia
kvs@univer.omsk.su; PanovaTV@omsu.ru

Surface fracture of an aluminum alloy caused by the action of a high power ion beam of nanosecond duration with various current densities are investigated. Specific types of facture and the composition changes of the surface layer of this alloy are determined. Possible mechanisms of fracture are discussed.