

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КРЕМНИЯ НА ЭРОЗИЮ ПОВЕРХНОСТИ СИЛУМИНОВОГО СПЛАВА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КОМПРЕССИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ

Н. Н. Руденик

Белорусский государственный университет, г. Минск;

marshalsultt@gmail.com;

науч. рук. – Е. А. Крутилина., ассист.

Было проведено изучение процесса эрозии поверхностных слоев алюминия и силуминовых сплавов в результате воздействия на них компрессионными плазменными потоками, выявлены основные механизмы эрозии и установлено влияние содержания кремния на интенсивность процесса эрозии.

Ключевые слова: силумин; заэвтектический сплав; эвтектический сплав; компрессионный плазменный поток; эрозия.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время с развитием техники и научно-технического прогресса все более востребованными становятся материалы, обладающие высокими эксплуатационными свойствами и технологичностью в процессе производства. Особое внимание уделяется сплавам, характеризующимся низким значением температурного коэффициента линейного расширения и необходимым уровнем механических свойств. К таким материалам относятся сплавы системы Al-Si. Перспективность применения данного типа сплава в производственной деятельности (например, в машиностроении или приборостроении) требует тщательного изучения влияния на него ряда повреждающих факторов, одним из которых является высокоэнергетическое воздействие плазмы и потоков частиц. Возможным результатом такого рода воздействий является эрозия поверхности, протекание которой в значительной степени должно повлиять на последующие эксплуатационные свойства материала [1]. Целью данной работы является установление особенностей протекания процесса эрозии поверхностных слоев сплавов системы Al-Si с различным процентным содержанием кремния под импульсным воздействием компрессионных плазменных потоков, определение ее основных механизмов и оценка влияния содержания кремния на интенсивность эрозии.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования использовались образцы заэвтектического силуминового сплава с содержанием кремния 44 и 20 ат.%, а также образцы эвтектического сплава (содержание кремния 12 ат.%) и чистого алюминия. Модифицирование поверхности осуществлялось воздействием компрессионных плазменных потоков (КПП), генерируемых с помощью магнитоплазменного компрессора компактной геометрии в остаточной атмосфере азота (давление остаточной атмосферы 400 Па). Величина напряжения на системе конденсаторов составляет 4кВ. Расстояние между поверхностью образца и срезом электрода разрядного устройства - 8 см. Обработка поверхности осуществлялась воздействием 1, 3, 5 и 7 последовательными импульсами КПП, интервал следования ~10 с, длительность одного импульса составляет 100 мкс.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Массу испытуемых образцов до и после воздействия компрессионных плазменных потоков определяли с использованием аналитических весов Radwag с точностью $\pm 0,00005$ г. Анализ морфологии поверхности проводился на растровом электронном микроскопе (РЭМ) LEO 1455VP при ускоряющем напряжении 20 кВ, ток зонда $5 \cdot 10^{-7}$ А.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При сопоставлении масс алюминия и силуминовых образцов до и после высокоэнергетической обработки было установлено, что воздействие компрессионных плазменных потоков приводит к эрозии их поверхности, о чем свидетельствует уменьшение массы образцов (Рис. 1).

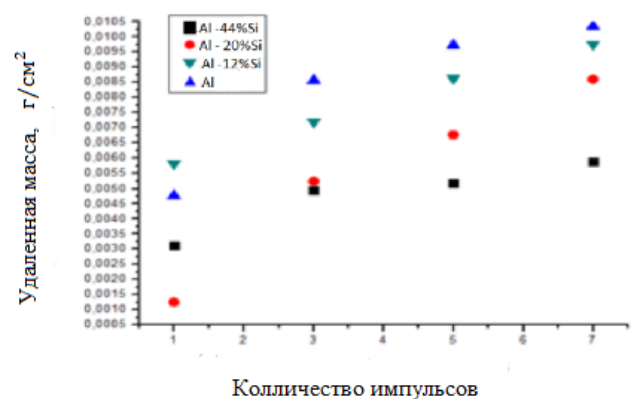
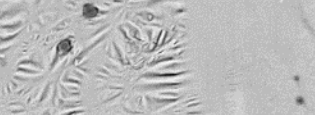


Рис. 1. Зависимость массы, удаленной с единицы поверхности исследуемых образцов в результате воздействия на них разным количеством импульсов КПП

Известно [2], что некоторая доля энергии КПП превращается в тепловую в результате взаимодействия плазменного потока с обрабатываемым материалом. При этом происходит расплавление его поверхностных слоев с последующим изменением структурно-фазового состояния и механических свойств.



10 μ m

Mag = 1.00 K X

EHF = 30.00 kV

WD = 14 mm

Signal A = BSD

Photo No. = 7656

Date = 18 Nov 2023

Time = 14:36:01

JEOL

Рис.2. Результаты РЭМ-исследования образцов после воздействия 1 импульсом КПП: А) Al-12Si; Б) Al-40Si

Кроме того, эрозия может происходить в результате испарения элементов, входящих в состав испытуемых образцов, со свободной поверхности расплава. С целью установления роли данного механизма решалось одномерное уравнение теплопроводности с соответствующими начальными и граничными условиями. Согласно полученным результатам, через 100 мкс на глубине 0,2 мкм максимальная температура достигает 2150 - 2490 К в зависимости от

материала образца, длительность существования расплава составляет ~ 100 мкс.

Далее, согласно [2], аддитивно оценивалось количество массы образцов, унесенной за счет испарения отдельных их компонентов, с использованием соответствующих Al и Si констант.

Расчеты показали, что доля испаренной массы образцов на два порядка меньше значения полной удаленной массы материала, что может свидетельствовать о незначительном влиянии механизма испарения на эрозию поверхности силуминовых сплавов при воздействии КПП. Снижение интенсивности уноса массы увеличением содержания кремния в исследуемых образцах может заключаться в следующем. Так как температура плавления алюминия ниже таковой кремния ($T_{пл}(Al) = 660^{\circ}C$, $T_{пл}(Si) = 1415^{\circ}C$), меньший унос массы обусловлен большим содержанием кремния и, как следствие, формированием более однородного расплава алюминия большего объема. Кроме того, следует отметить, что с увеличением содержания кремния в силуминовых сплавах повышается его динамическая вязкость (Al – 0,8104 мПа·с, Al-12Si – 0,8902 мПа·с, Al-20Si – 0,9620 мПа·с, Al-44Si – 1,004 мПа·с), что должно затруднять гидродинамическое движение расплава. Также следует подчеркнуть, что поверхностное натяжение жидкого алюминия будет иметь меньшее значение, чем для жидкого кремния при одной и той же температуре ($\sigma(Al)=725$ мН/м при $1600^{\circ}C$, $\sigma(Si)=750$ мН/м при $1550^{\circ}C$). Соответственно, можно сделать вывод о том, что процесс гидродинамического течения, в том числе и выталкивания вещества за пределы образца давлением КПП, вероятнее всего будет происходить за счет алюминиевой составляющей образцов.

ВЫВОД

По результатам проведенного исследования было установлено, что эрозия поверхностных слоев силуминовых сплавов в результате воздействия компрессионных плазменных потоков протекает в жидкофазном состоянии, а ее интенсивность снижается с увеличением содержания кремния. Наиболее вероятным механизмом уноса массы является гидродинамическое течение расплава с последующим его вытеснением за края образцов давлением компрессионных плазменных потоков. В меньшей степени влияет поверхностное испарение элементов сплава.

Библиографические ссылки

1. Бойко В.И., Валяев А.Н., Погребняк А.Д. Модификация металлических материалов импульсными мощными пучками частиц. Успехи физических наук, 1999. Т. 169, № 11. С. 1243 – 1271.
2. Черенда Н.Н., Ласковнев А.П., Басалай А.В., Углов В.В., Асташинский В.М., Кузьмицкий А.М. Эрозия материалов при воздействии компрессионных плазменных потоков. Перспективные материалы, 2014. № 11. С. 5-14.