ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/165

МНОГОУРОВНЕВАЯ ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СИЛУМИНА, ПОДВЕРГНУТОГО МНОГОЦИКЛОВОМУ ПОВЕРХНОСТНОМУ ЛЕГИРОВАНИЮ

Иванов Ю.Ф., Лопатин И.В., Петрикова Е.А., Рыгина М.Е., Толкачев О.С.

Институт сильноточной электроники Сибирского отделения РАН, Томск

Силумином принято называть сплавы алюминия с кремнием, содержание которого в готовом изделии, как правило, изменяется в пределах от 4 % до 22 % от общего объема. Силумин является одним из наиболее востребованных сплавов на основе алюминия. Низкая стоимость в сочетании с технологичностью дает возможность широко применять силумины в промышленности, а именно, в машиностроении (поршни, детали для корпуса, цилиндры двигателя), авиастроении (блоки цилиндров, поршни для охлаждения, авиационные узлы), космонавтике (детали с низким значением температурного коэффициента линейного расширения и высоким уровнем механических свойств), газотурбинном оборудовании (генераторы, теплообменники) и многое другое. Служебные характеристики силумина во многом определяются концентрацией в сплаве кремния. Чем больше процент содержания кремния, тем более твердым и износоустойчивым получается сплав, но при этом повышается хрупкость материала. Последнее обусловлено формированием на стадии кристаллизации заготовки или изделия включений кремния и интерметаллидов больших (сотни микрометров) размеров, присутствие микро- и макропор [1].

Целью настоящей работы является разработка методики кратного повышения механических и трибологических свойств сплава Al-Si, заключающаяся в многоцикловогой обработке в едином вакуумном пространстве поверхностного слоя материала, сочетающей в одном цикле формирование системы «пленка (металл)/(силумин) подложка» и последующее облущение поверхности интенсивным импульсным электронным пучком.

Выбранный для исследований сплав Al-Si (АК12; ГОСТ 1583-93) относится к эвтектическим и имеет следующий химический состав (вес. %): Al -(10-13)Si -до 1.5Fe -до 0,5Mn -до 0.1Ti -до 0.6Cu -до 0,1Zr -до 0,1Mg –до 0,3Zn. Образцы имели форму пластинок размерами 20x20x8 мм. Перед модифицированием (далее по тексту: «исходное состояние») сплав находился в литом (литье в кокиль) состоянии. Эксперименты проводили на установке «КОМПЛЕКС» (ИСЭ СО РАН), позволяющей реализовывать в едином вакуумном пространстве следующие виды обработки поверхности в разных комбинациях: ионная очистка и нагрев в аргоновой плазме несамостоятельного дугового разряда с накаливаемым и полым катодом с подачей отрицательного смещения на образец (начальный нагрев образцов до заданной температуры, очистка и активация обрабатываемой поверхности); плазмо-ассистированное электродуговое нанесение металлических (при использовании аргоновой плазмы) пленок или керамических твердых и сверхтвердых покрытий; электронно-пучковая обработка с использованием низкоэнергетичного интенсивного импульсного электронного пучка микро- субмиллисекундной длительности; насыщение поверхностного слоя модифицируемого материала газовыми элементами (азот, углерод, кислород).

Исследование структуры силумина в исходном состоянии и после модифицирования осуществляли методами рентгеноструктурного анализа (дифрактометр XRD 6000), оптической (Микровизор металлографический μ Vizo-MET-221), сканирующей (прибор SEM 515 Philips) и просвечивающей дифракционной (прибор JEM-2100F) электронной микроскопии. Анализ элементного состава образцов осуществляли методами SEM/EDAX (микрорентгеноспектральный анализ, микроанализатор EDAX ECON IV, установленный на сканирующем электронном микроскопе SEM 515 Philips). Свойства модифицированного слоя характеризовали, определяя микротвердость (прибор ПМТ-3, нагрузка на индентор 0,5 Н) и износостойкость (прибор TRIBOtechnique; условие сухого трения при комнатной температуре, контртело – шарик ШХ15 диаметром 6 мм, радиус трека 2 мм, скорость вращения образца 2,5 см/с, нагрузка на индентор 5 Н, количество оборотов 8000). Износостойкость поверхностного слоя материала рассчитывали после проведения профилометрии образовавшегося трека.

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

Установлено, что сплав АК12 в литом состоянии является многоэлементным многофазным материалом, характеризующимся присутствием крупных кристаллов кремния и включений интерметаллидов преимущественно пластинчатой (игольчатой) формы микронных и субмикронных размеров (рис. 1, а). Наличие таких включений является основной причиной весьма низкой пластичности данного материала.

Рис. 1. Структура силумина АК12 в литом состоянии (а) и после многоцикловой (5 циклов) обработки (б)

Показано, что многоцикловое легирование силумина титаном сопровождается растворением в поверхностном слое толщиной до 50 мкм включений литой структуры (рис. 1, б), формированием алюминидов титана состава $TiAl$ и $TiAl_3$, относительное содержание которых зависит от количества циклов и достигает 56 масс. %. Формирующаяся структура является субмикро- нанокристаллической, размер кристаллитов которой увеличивается по мере удаления от поверхности модифицирования (рис. 2).

Рис. 2. Структура поверхностного слоя (а) и слоя, расположенного на глубине 30 мкм (б), силумина АК12 после многоцикловой (10 циклов) обработки

Установлено, что износостойкость модифицированного силумина достигает максимальных значений после пяти циклов обработки и превышает износостойкость литого силумина более чем в 14 раз.

1. Золотаревский В.С., Белов Н.А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов. М.: МИСиС, 2005. – 376 с.