

УДК 669.715

З. В. Вилищук, Е. В. Мусина*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара***ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ НАНОМОДИФИЦИРОВАНИИ**

Вивчено корозійні властивості алюмінієвих сплавів систем Al–Mg, Al–Mg–Sc, Al–Si до та після модифікування. Проведено випробування на загальну, межкристалітну, розслоюючу корозію та корозійне розтріскування сплавів AMg6, 01570, AL4 та AL4C. Результати показали ефективність модифікування алюмінієвих сплавів карбідом кремнію.

Ключові слова: алюмінієві сплави, наномодифікатор, карбід кремнію, корозійні властивості.

Изучены коррозионные свойства алюминиевых сплавов систем Al–Mg, Al–Mg–Sc, Al–Si до и после модифицирования. Проведены испытания на общую, межкристаллитную, расслаивающую коррозию и коррозионное растрескивание сплавов AMg6, 01570, AL4 и AL4C. Результаты показали эффективность модифицирования алюминиевых сплавов карбидом кремния.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, наномодификатор, карбид кремния, коррозионные свойства.

Corrosion properties of aluminum alloys by systems Al–Mg, Al–Mg–Sc, Al–Si before and after modification were studied. Testing of the total, intergranular, exfoliation corrosion and stress-corrosion cracking by allows “AMg6”, 01570, “AL4” and “AL4C” was completed. The results showed the effectiveness of the modification of aluminum alloys with silicon carbide.

Key words: aluminium alloys, nanomodifiers, silicon carbide, corrosion properties.

Введение. Технология изготовления деталей в современных условиях играет существенную роль в развитии научно-технического прогресса. Поиск и внедрение новых эффективных, менее металло- и энергоёмких технологий позволят создавать высокопроизводительные, надёжные и долговечные, конкурентоспособные машины и оборудование, а также принимать технологические решения, способные качественно изменить процессы потребления трудовых и материальных ресурсов. В напряжённых конструкциях авиационной и ракетно-космической техники широко используются деформируемые алюминиевые сплавы систем Al–Mg, Al–Mg–Sc и литейные алюминиевые сплавы системы Al–Si.

Постановка задачи. В отечественном машиностроении для деталей ответственного назначения РКТ применяют алюминиевые сплавы систем алюминий – магний, алюминий – магний – скандий и алюминий – кремний, в частности сплавы AMg6, 01570, AL4(AK9ч) и AL4C. Такие сплавы имеют высокие показатели механических свойств, высокую коррозионную стойкость, что обуславливает их перспективность для производства. Однако применение легких сплавов осложняется одновременным развитием нескольких видов коррозии при эксплуатации.

С учетом высоких требований, предъявляемых к продукции авиакосмической промышленности, а также ввиду агрессивных сред их эксплуатации в данном исследовании были изучены коррозионные свойства алюминиевых сплавов систем Al–Mg, Al–Mg–Sc, Al–Si.

Один из эффективных путей повышения качества отливок, устранения столбчатой и веерной структуры, измельчения зерна и дендритов, достижения однородной структуры и повышения коррозионных свойств – модифицирование [3]. Промышленные предприятия Украины применяют модифицирование литейных

алюминиевых сплавов солями натрия. Однако легкоплавкие соли натрия нетехнологичны для обработки расплавов, поскольку время действия модификатора не позволяет достичь необходимого измельчения зерна и повышения механических и технологических характеристик.

В настоящее время перспективным направлением является применение дисперсных тугоплавких модификаторов: карбидов, нитридов, боридов, чистых металлов размерами 10...100 нм [4]. Роль нанодисперсных добавок-модификаторов сводится к созданию в расплаве дополнительных искусственных центров кристаллизации. Для этого такие добавки должны быть соразмерны с критическими зародышами матричной фазы и способны обеспечивать достаточное их количество для получения в отливке мелкодисперсной структуры.

Как показано в работе [2], наиболее эффективным модификатором алюминиевых сплавов признаны порошки тугоплавких соединений титана и кремния размером менее 100 нм.

Материалы и методы исследований. В данной работе исследовались коррозионные свойства сплавов АЛ4, АЛ4С, АМг6 до и после модифицирования.

В целях улучшения качества и технологичности алюминиевых сплавов систем Al-Mg-Sc и Al-Si проведено модифицирование их расплавов тонкодисперсными порошками на основе карбида кремния размером до 100 нм. Дисперсный порошок SiC был выбран исходя из соответствия кристаллических решеток алюминия и SiC (г.ц.к. решетки) и различия атомных радиусов алюминия и SiC. Порошок новой SiC модификации β получен способом плазменно-химического синтеза.

Для определения коррозионной стойкости алюминиевых сплавов, модифицированных карбидом кремния, проведены испытания на общую, межкристаллитную и расслаивающую коррозию, а также коррозионное растрескивание.

Для получения сравнительных данных по коррозионной стойкости сплавов проводили испытания на общую коррозию по ГОСТ 9.017-94. Для имитации жестких условий эксплуатации был выбран метод испытаний в условиях 100 %-ной относительной влажности, а также метод периодического воздействия 3 %-ного раствора хлористого натрия NaCl при комнатной температуре. Оценку коррозионной стойкости алюминиевых сплавов проводили по изменению внешнего вида образцов и по изменению массы.

Межкристаллитную коррозию (МКК) определяли согласно ГОСТ 9.021-84 «Единая система защиты от коррозии и старения. Алюминий и сплавы алюминиевые. Методы ускоренных испытаний на межкристаллитную коррозию».

Испытания проводили в следующем растворе: 30 г NaCl + 10 см³ HCl. Температура раствора поддерживалась на уровне +22±1°C, продолжительность испытания составляла 24 часа. Плоские образцы размером 20x10x3 мм вырезали из отливок. Оценку производили металлографическим способом на оптическом микроскопе МИМ-8 при увеличении x100. Фиксировали характер коррозии и максимальное значение глубины межкристаллитной коррозии.

Расслаивающая коррозия (РСК) – вид коррозии, которая развивается преимущественно параллельно вектору деформации, создаваемой в процессе прокатки или прессования полуфабрикат, и сопровождается образованием трещин в этом направлении, отслаиванием отдельных частиц металла или полным разрушением образцов либо деталей [6]. РСК в основном проходит по границам зерен, имеющих продолговатую форму. Испытания проводили в соответствии с ГОСТ 9.904-82 «Единая система защиты от коррозии и старения. Сплавы алюминиевые. Метод ускоренных испытаний на расслаивающую коррозию».

Коррозионное растрескивание – поражение металла, вызванное одновременным воздействием коррозионной среды и номинально статическим растягивающим напряжением, в результате которого обычно образуются трещины [5]. При

испытании на коррозионное растрескивание погружение производили в 3%-ный раствор NaCl циклически: 10 мин. в растворе, 50 мин. на воздухе. Продолжительность испытаний составила 45 суток.

Результаты и их обсуждение. Анализ результатов испытаний показал, что все исследуемые алюминиевые сплавы, независимо от состояния поверхности, имеют достаточно высокую коррозионную стойкость при испытании в условиях 100 %-ной относительной влажности; коррозионные поражения практически отсутствуют. После трех циклов испытаний на образцах без модифицирования было отмечено потемнение поверхности в виде единичных пятен и точек. Через десять циклов испытаний в камере влажности на образцах из алюминиевого сплава АЛ4 и АЛ4С до модифицирования дисперсным карбидом кремния отмечено потемнение поверхности в виде пятен, занимающих до 70 % площади поверхности, после модифицирования – 50 % площади поверхности.

Результаты испытаний на общую коррозию показывают, что модифицирование частицами SiC приводит к повышению коррозионной стойкости сплавов за счёт снижения скорости коррозии: сплава АЛ4 на 10,8... 16,7 %, сплава АЛ4С на 5,6...6,3 %. Повышение коррозионной стойкости можно объяснить измельчением структуры алюминиевых сплавов. При модифицировании увеличивается протяжённость многочисленных межфазных границ, Интерметаллиды и примесные атомы, которые располагались в межфазных границах в сплаве до модифицирования, распределяются после модифицирования на более значительной площади. Следовательно, они будут оказывать меньшее отрицательное влияние на коррозионную стойкость алюминиевых сплавов. Важную роль играет и напряжённое состояние модифицированной структуры. При введении дисперсных частиц SiC микрообъёмы сплавов АЛ4 и АЛ4С становятся более энергетически напряжёнными, что и повышает коррозионную стойкость.

Для алюминиевых сплавов системы Al–Si характерна межкристаллитная коррозия. Чувствительность к МКК появляется вследствие структурной неоднородности границ зёрен, выделения вторичных фаз, обеднения или обогащения прилегающих участков α -твёрдого раствора легирующими элементами, образования субмикро- и микропустот из-за стока и коагуляции вакансий. В модифицированных сплавах АЛ4 и АЛ4С склонность к МКК не обнаружена. В сплаве АМгб выявлена β -фаза в виде сетки по границам зерен (см. рисунок, а) и межкристаллитная коррозия, идущая от питтинга по β -фазе (см. рисунок, б).



а) x500



б) x90

Рисунок. Испытания на межкристаллитную коррозию сплава АМгб:

а – β -фаза в виде сетки по границам зерен;

б – межкристаллитная коррозия, идущая от питтинга по β -фазе

В деформируемом сплаве 01570 при микролегировании скандием и модифицировании карбидом кремния за счет уменьшения выделений β -фазы и их равномерного распределения по объему заготовки склонность к МКК отсутствует.

Так как сплавы систем Al–Mg, Al–Mg–Sc относятся к деформируемым и используются в сварных конструкциях, то важными показателями являются расслаивающая коррозия и коррозионное растрескивание.

Результаты испытаний на расслаивающую коррозию сплавов АМг6 и 01570 до и после модифицирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний на расслаивающую коррозию сплавов АМг6 и 01570

Сплав	Расслаивающая коррозия
АМг6	Пузыри диаметром 2...3 мм по всей поверхности. Балл 5.
01570	Пузыри диаметром 2...3 мм на площади 10%. Балл 4.
01570+SiC	Пузырей нет. Балл 2.

Коррозионное растрескивание оценивалось на основном металле и сварном шве, выполненном аргоно-дуговой сваркой. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коррозионное растрескивание основного металла и сварных швов сплавов АМг6 и 01570

Сплав	Коррозионное растрескивание			
	Основной металл		Сварной шов	
	Напряжение	Продолжительность испытания до растрескивания, сут.	Напряжение, МПа	Продолжительность испытания до растрескивания, сут.
АМг6	$0,9\sigma_B$	более 55	200	45
01570	$0,9\sigma_B$	более 55	200	55
01570 + SiC	$0,9\sigma_B$	более 55	200	более 55

Выводы. Проведены испытания алюминиевых сплавов систем Al–Si, Al–Mg, Al–Mg–Sc на общую коррозию. После трех циклов наблюдается потемнение поверхности на образцах как до, так и после модифицирования. Через десять циклов на поверхности отмечены пятна, занимающие 70% поверхности образцов до модифицирования и 50% – на образцах после модифицирования. Это свидетельствует о снижении скорости коррозии в модифицированных образцах.

Отмечена межкристаллитная коррозия в сплавах АЛ4, АЛ4С и АМг6 до модифицирования. В сплаве 01570 до и после модифицирования, а также АМг6, АЛ4 и АЛ4С после модифицирования межкристаллитная коррозия отсутствует.

Достигнуто снижение расслаивающей коррозии в сплаве 01570 после модифицирования с четвертого балла в немодифицированных образцах, до второго – в модифицированных.

Коррозионное растрескивание основного металла сплавов систем Al–Mg, Al–Mg–Sc отсутствует на протяжении 55 суток испытания. В сварном шве модифицированного сплава 01570 наблюдается увеличение времени испытания. Коррозионное растрескивание не обнаружено после 55 суток испытания.

Библиографические ссылки

1. ГОСТ 9.901.1–89. «Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Общие требования к методам испытаний на коррозионное растрескивание».

2. **Калинина Н. Е.** Особенности модифицирования алюминиевых сплавов системы Al–Mg / Н. Е. Калинина, З. В. Вилищук, В. Т. Калинин // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 7 (84). – С. 80–83.

3. **Мальцев М. В.** Модифицирование структуры металлов и сплавов / М. В. Мальцев. – М. : Металлургия, 1964. – 214 с.

4. **Неменюк Б. М.** Теория и практика комплексного модифицирования силовых / Б. М. Неменюк. – Л. : Технопринт, 1999. – 272 с.
5. **Петров Л. Н.** Коррозионно-механическое разрушение металлов и сплавов / Л. Н. Петров, Н. Г. Сопроноук. – К. : Наук. думка, 1991. – 216 с.
6. **Синявский В. С.** Коррозия и защита алюминиевых сплавов / В. С. Синявский, В. Д. Вальков, В. Д. Калинин. – М. : Металлургия, 1986. – 368 с.

Надійшла до редколегії 03.11.2014.

УДК 629.764

А. В. Голубек

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНЫХ СБЛИЖЕНИЙ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ НА АКТИВНОМ УЧАСТКЕ ТРАЕКТОРИИ С КОСМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Проведено математичне моделювання сумісного руху ракети-носія та угруповання каталогізованих космічних об'єктів. Отримано розподіл кількості зближень на відстань менше 5 км по відносній відстані, відносній швидкості та куту зустрічі. Оцінено ймовірність зіткнення.

Ключові слова: ракета-носіє, угруповання каталогізованих космічних об'єктів, сумісний рух, ймовірність зіткнення, відносна швидкість зближення, відносна відстань зближення, кут зустрічі.

Проведено математическое моделирование совместного движения ракеты-носителя и группировки каталогизированных космических объектов. Получены распределения количества сближений на расстояние менее 5 км по относительному расстоянию, относительной скорости и углу встречи. Оценена вероятность столкновения.

Ключевые слова: ракета-носитель, группировка каталогизированных космических объектов, совместное движение, вероятность столкновения, относительная скорость сближения, относительное расстояние сближения, угол встречи.

Mathematical modeling of mutual motion of a launch vehicle and a group of catalogued space objects has been carried out. Distributions of the number of approaches to the distance of less than 5 km as for relative distance, relative velocity and the angle of meeting have been obtained. The probability of a collision has been evaluated.

Key words: launch vehicle, group of catalogued space objects, mutual motion, probability of collision, relative velocity of approach, relative distance of approach, angle of meeting.

Введение. Инцидент, произошедший со спутником «Блиц», подтвердил необходимость учёта взаимных сближений летательного аппарата с околоземными космическими объектами (КО) искусственного происхождения в процессе выполнения миссии.

На данный момент группировка околоземных КО искусственного происхождения, по данным средств контроля космического пространства, уже превышает 15 тыс. единиц. В их состав входят космические аппараты (КА) как функционирующие, так и нет, орбитальные ступени ракет-носителей (РН) и обломки. Процентное соотношение между типами наблюдаемых КО приведено на рис. 1. Общая же численность КО, по некоторым оценкам, составляет более миллиона единиц с суммарной массой более тысячи тонн.