

УДК 621.793.6:669.35

Б.П. Середа, зав. кафедрой, д.т.н., профессор

И.В. Кругляк, доцент, к.т.н.

Д.О. Кругляк, аспирант

В.П. Падалка, доцент

А.Н. Онищенко, аспирант

Д.Б. Середа, студент

ДИФФУЗИОННОЕ ТИТАНИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЛАТУНИ И БРОНЗЫ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

Запорожская государственная инженерная академия

Проведено дослідження захисних шарів на бронзах і латунях, одержаних методом самопоширюючого високотемпературного синтезу (СВС). Виконано аналіз характеристик захисних покриттів. Проаналізовано вплив інертої добавки на температуру початку й завершення реакцій у СВС-суміші.

Проведены исследования защитных слоев на бронзах и латунях, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Выполнен анализ характеристик защитных покрытий. Проанализировано влияние инертной добавки на температуру начала и окончания реакций в СВС-смеси.

Введение. Повышение надежности современной техники, снижение себестоимости ее обслуживания, обеспечение конкурентоспособности, продление ресурса эксплуатации, а также ее реновация путем применения современных технологий для восстановления работоспособности узлов до уровня новых изделий - наиболее при-оритетные направления развития техники.

В промышленно развитых странах решение экологических проблем происходит путем вытеснения гальванических «грязных» технологий новейшими технологиями нанесения покрытий методами СВС.

Применение меди и ее сплавов имеет большое значение в авиационном приборо- и двигателестроении. Так, из латуни и меди изготавливают трубки дилатометрических датчиков для регулирования температуры газов, сиффоны клапанов и измерительных устройств для контроля давления и перепада давления (расхода жидкости); из бериллиевой бронзы производят мембраны датчиков давления, пружинящие элементы авиационных приборов, детали шестеренных насосов двигателей. Для изготовления подшипников скольжения, подпятников, уплотняющих втулок на-сосов и колец контактных уплотнений двигателей широко используются оловянные и оловянно-свинцовистые бронзы, предназначенные для работы в агрессивных средах.

Настоящая работа посвящена изучению диффузионных титановых покрытий на медных сплавах, наносимых с целью повышения износостойкости в агрессивных средах и более широкого применения их в промышленности. За последние годы наблюдается тенденция применения диффузионных вакуумных покрытий поверхности деталей с целью повышения физико-механических свойств материала, из которого они изготовлены [1-4].

Постановка задачи. Задачей исследований является получение защитных покрытий на основе титана на медных сплавах для деталей, работающих при высоких нагрузках и больших скоростях в условиях агрессивных сред.

Основная часть исследований. Газотранспортную СВС-технологию используют для нанесения тонких покрытий (5...150 мкм). Процедура нанесения покрытий достаточно проста: в смесь вводят газотранспортные добавки (например, йод) и детали, на которые необходимо наносить покрытия; после прохождения волны горения часть продукта данного процесса образует на поверхности детали покрытие в виде пленки. Такой вариант технологии особенно перспективен для нанесения износ- и коррозионностойких покрытий на малогабаритные детали сложной формы. В настоящее время его используют для нанесения покрытий на режущие пластины, кондукторные втулки, фильеры и другие детали [5].

Покрытия, наносимые в СВС-процессах при протекании сопутствующих газо-транспортных реакций, весьма своеобразны. Они состоят из пленки наносимого продукта как при газофазном осаждении и широкой переходной диффузионной (градиентной) зоны, так и при диффузионном насыщении. Как следствие, газотранспортные СВС-покрытия обладают лучшими чертами своих аналогов – они имеют свойства наносимого материала (то есть могут быть более износостойкими или жаро-стойкими, чем основа) и высокую адгезионную прочность.

При рассмотрении механизма формирования диффузионного покрытия целесообразно выделить два этапа:

– время достижения квазистационарного равновесия постоянного состава на внешней границе «насыщающая среда – поверхность металла»;

– время, в течение которого происходит изменение состава поверхностного квазиравновесного слоя в результате взаимодействия на внутренней границе «поверхностный слой – прилегающий объем основного металла».

На основании анализа реакций, проходящих при химико-термической обработке в режиме теплового самовоспламенения порошковой смеси, а также результатов экспериментов и металлографических исследований, получили схему образования упрочненных слоев на медных сплавах. Этот процесс условно можно разделить на несколько стадий. Сначала реакционную смесь нагревают в печи до температуры воспламенения, то есть она проходит так называемую стадию инертного нагрева. Затем происходит взаимодействие между порошками оксидов хрома, алюминия, а также молибдена, алюминия и кремния, при этом температура в реакторе повышается до максимальной величины – стадия теплового самовоспламенения. На третьей стадии – стадии прогрева изделий – происходит выравнивание температуры по объему реактора, на которой активные атомы кремния, молибдена и других элементов начинают диффундировать в подложку. На следующей стадии – стадии изотермической выдержки – происходит дальнейший диффузионный рост покрытия [4].

Исходными материалами для исследования служили сплавы на основе меди: БрХ 08, ЛМЦЖ-55-3-1,5. В качестве насыщающей среды использовали смесь порошков следующих материалов: оксида хрома (Cr_2O_3), оксида алюминия (Al_2O_3), металлических титана и йода. Обработку проводили при температурах 800...1000 °С с небольшой изотермической выдержкой.

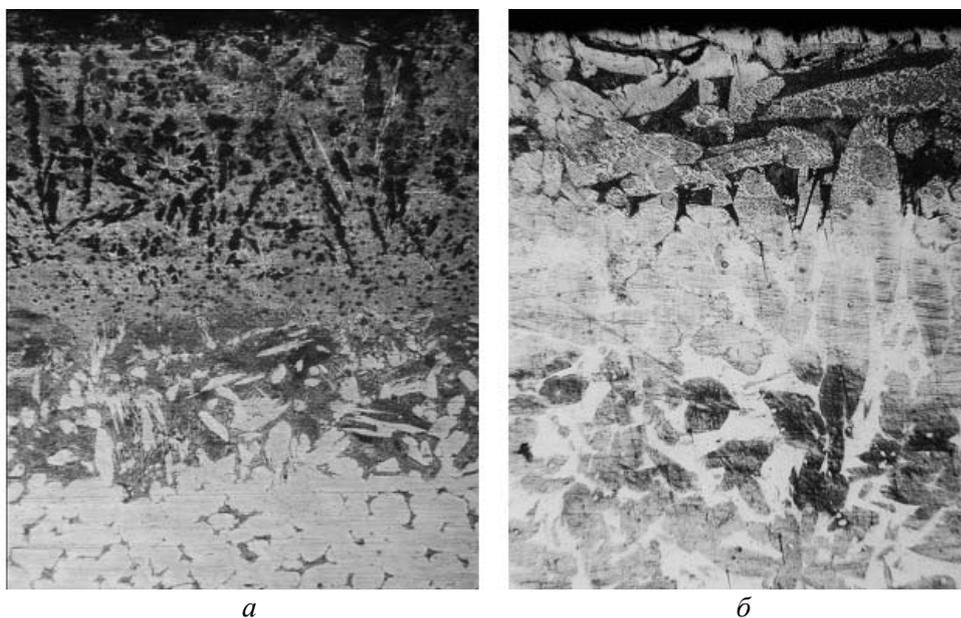
На основании проведенного анализа экспериментальных и расчетных данных были сформулированы условия СВС, приводящие к ускоренному формированию покрытий. Значительное увеличение насыщающей способности

смеси может приводить к образованию пористости, блокирующей диффузию компонентов [6]. Оптимальное содержание титансодержащего вещества и активатора в смеси, приводящих к формированию пористости, не препятствующей массопереносу, зависит от многих факторов и в каждом случае подбирается экспериментально. Формирования пористости можно избежать, если плавление произойдет в глубине слоя или расплавленные области будут образовывать вкрапления в окружающей кристаллической матрице. Стабилизация таких структур в двухкомпонентных системах не представляется возможной, поскольку образовавшиеся расплавленные области в этом случае будут увеличиваться в процессе диффузии компонентов.

Полезная характеристика процесса – это темп охлаждения (остывания) СВС-продуктов. Он может быть как очень большим (10^3 - 10^4 град/сек, закалка), так и очень малым (10^{-3} - 10^{-4} град/с, остывание в течение нескольких суток). Регулируя темп охлаждения, можно изменить структуру и, соответственно, свойства продуктов, получать материалы с уникальными характеристиками.

После титанирования образцы приобретали светло-серый цвет. Покрытие ровное, сплошное, прочно связано с основным металлом. Структура диффузионных титановых покрытий на бронзе описана в работе [2].

Металлографические наблюдения диффузионного слоя на бронзе (рис. 1, а) показывают, что зона насыщения титаном имеет различный фазовый состав. Микроструктура упрочненных слоев зависит от условий обработки и состава медного сплава. В структуре слоя на БрХ 08 на поверхности наблюдается фаза α -Ti толщиной 15...20 мкм с микротвердостью 6223 Н/мм².



а) БрХ 08; б) ЛМцЖ-55-3-1,5 x 100

Рисунок 1 – Микроструктуры упрочненных слоев, полученных методом СВС на медных сплавах

Основная часть упрочненного слоя с фазой $TiCu$ толщиной 30...50 мкм имеет твердость 4565 Н/мм². Микротвердость диффузионного покрытия измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 20 г по сечению от края к центру образца. Фазовый анализ образцов проводили по дифрактограммам, снятым на установке ДРОН-3М в отфильтрованном медном излучении.

У латуни ЛМцЖ-55-3-1,5 (рис. 1, б) верхняя зона с высокой концентрацией

титана имеет толщину 20...35 мкм, а толщина подслоя с более низкой концентрацией титана – 55...70 мкм. Микротвердость H_{20} поверхностного слоя была равна 5664 Н/мм², подслоя 4518 Н/мм², тогда как для основного металла она составляла только 1127 Н/мм². Фазовый анализ образцов выявил наличие в диффузионной зоне фаз α -Ti, TiCu, Ti₂Cu₃.

На рис. 2 приведены кривые распределения содержания титана и меди. На этом рисунке ясно видны и слой покрытия, и диффузионная зона.

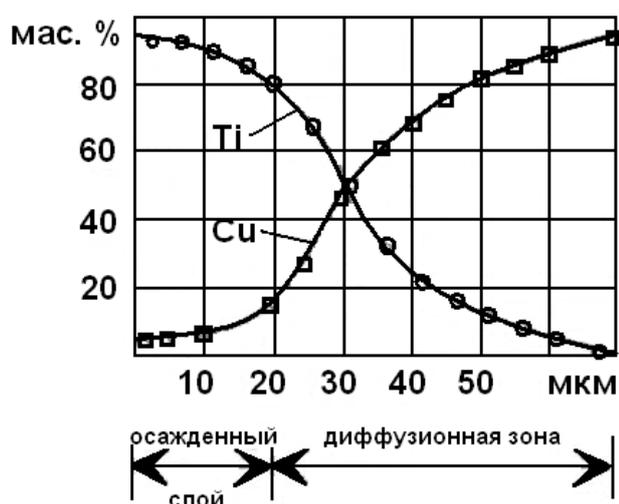


Рисунок 2 – Распределение элементов по сечению в системе слой-подложка

Определение износостойкости выполняли на машине МИ-1М (табл. 1) при скорости вращения шпинделя 200 об/мин. В качестве металлического контртела использовали сталь У8, термообработанную до твердости 63 HRC, с чистотой поверхности по классу V8. Размеры испытуемого образца: диаметр $40 \pm 0,005$, высота $10 \pm 0,001$ мм. Удельное давление на поверхности образца 1,96 Н/мм². Износостойкость оценивали по потере массы образца через каждые 1000 оборотов наработки. Общая наработка испытываемых образцов составляла 10 000 оборотов. Испытания проводили при сухом трении, а также в агрессивных средах: в 3 %-ном водном растворе NaCl и 5 %-ной HCl. При сухом трении испытывали медные сплавы, а также титанированные образцы этих же материалов.

В табл. 1 приведены результаты испытаний (средние значения для трех образцов), которые свидетельствуют о том, что износ титанированных образцов при сухом трении в 2,5...3 раза меньше, чем износ образцов без покрытия.

Таблица 1 – Износостойкость исследуемых образцов из медных сплавов

Образец	Износ (г) при числе оборотов наработки		
	1000	5000	10 000
БрХ 08:			
без покрытия	0.0156	0.0132	0.0136
с покрытием	0.0078	0.0042	0.0027
ЛМцЖ-55-3-1,5:			
без покрытия	0.0174	0.0154	0.0162
с покрытием	0.0098	0.0078	0.0063

Испытания на износостойкость медных сплавов в агрессивных средах показали, что общие потери веса образцов от износа уменьшились из-за появления «смазки» в виде водных растворов. С другой стороны, испытания свидетельствуют об уменьшении в 2,5...3 раза износа титанированных медных образцов.

Следует отметить, что наибольший износ наблюдается при первых 3000 оборотах наработки. Это объясняется тем, что вначале идет приработка поверхностей (шип-подшипник), а затем износ равномерно убывает и к 8...9 тысячам оборотов наработки становится стабильным.

Установлено, что при постоянной нагрузке и скорости скольжения, равной 0,42 м/с, нагрев образцов в месте контакта не превышал 60...80 °С. Поэтому в процессе испытания существенных структурных изменений материала образцов не происходило.

Проведенные исследования свидетельствуют о значительном повышении износо-стойкости титанированных образцов из бронзы и латуни, и могут послужить основой для промышленного внедрения.

Выводы

1. В результате испытаний было установлено, что титановые защитные покрытия, наносимые на бронзовые и латунные образцы методом СВС, имеют высокую коррозионную стойкость и износостойкость.

2. Варьирование температуры и состава насыщающих сред в достаточно узком диапазоне приводит к существенным изменениям толщины и фазового состава покрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головин, В. А. Листы и ленты из тяжелых цветных металлов (производство, свойства, применение) : справочник [Текст] / В. А. Головин, Г. Н. Кручер. – М. : Металлургия, 1985. – 384 с. – Библиогр. : с. 381-384. – ISBN 5-02-031632-6.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов [Текст] : справочник / Г. В. Борисенко, Л. А. Васильев, Л. Г. Ворошнин и др. – М. : Металлургия, 1981. – 424 с. – Библиогр. : с. 419-423. – ISBN 5-02-031632-6.
3. Серета, Б. П. Поверхневе зміцнення матеріалів [Текст] : монографія / Б. П. Серета, Н. Є. Калініна, І. В. Кругляк. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2004. – 230 с. – Бібліогр. : с. 219-229. – ISBN 966-7101-64-9.
4. Серета, Б. П. Поверхностное упрочнение меди и медных сплавов в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [Текст] / Б. П. Серета, И. В. Кругляк, Д. О. Кругляк // Металургія : наукові праці ЗДІА. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2010. – Вип. 21. – С. 132-136.
5. Мержанов, А. Г. Процессы горения и синтеза материалов [Текст] / А. Г. Мержанов. – Черноголовка : ИСМАН, 1998. – 512 с. – Библиогр. : с. 504-511. – ISBN 5-9900829-01-4.
6. Шатинский, В. Ф. Защитные диффузионные покрытия [Текст] / В. Ф. Шатинский, А. И. Нестеренко. – К. : Наукова думка, 1988. – 272 с. – Библиогр. : с. 265-271. – ISBN 5-02-031632-6.

Стаття надійшла до редакції 23.11.2011 р.
Рецензент, проф. В.М. Михайлін