

УДК 661.882

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НАСЫЩЕНИЯ ДЛЯ
ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ В СВС-УСЛОВИЯХ****д.т.н., проф. Середа Б.П., асп. Бондаренко Ю.В., ст. Филиппук Я.**
Запорожская государственная инженерная академия

Титановые сплавы являются принципом современности создаваемых конструкций. Развитие новой авиационной техники явилось главным стимулятором производства титана. Долгие годы авиационная промышленность оставалась главным потребителем титанового проката. Только в самые последние годы в связи с резким сокращением производства боевой авиационной техники это соотношение изменяется в пользу других отраслей промышленности. Хотя в целом благодаря небольшому увеличению применения титана и его сплавов в новых транспортных и пассажирских самолетах их использование самолетостроительными и моторостроительными предприятиями остается преобладающим.

Исключительно высокая коррозионная стойкость и высокая прочность титана и его сплавов при обычной температуре позволили испытать их на трение при малых нагрузках в коррозионной среде. Однако опыты показали полную непригодность титановых сплавов из-за низкой износостойкости, низкой сопротивляемости гидроэрозии, низкой жаростойкости при окислении, низкого модуля упругости, а также способности легко давать задиры при трении. Для того, чтобы сделать титан и его сплавы материалом пригодным для деталей с подобными требованиями, необходимо найти способ повышения его поверхностной твердости. Повысить поверхностную твердость и износостойкость титана до требуемой величины путем обычной термической обработкой не удастся. Одним из возможных путей решения данного вопроса является термодиффузионное насыщение различными элементами на основе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [2].

В целях нахождения способа повышения твердости и износостойкости деталей из сплавов на основе титана нами было проведено исследование по диффузионному насыщению этих сплавов хромом, алюминием и кремнием.

Методика проведения исследования

Процесс СВС основан на проведении экзотермической химической реакции взаимодействия исходных порошковых реагентов в форме горения, где целевым продуктом горения являются твердые химические соединения (карбиды, бориды, нитриды, оксиды, интерметаллиды и т.д.) и материалы на их основе.

Наиболее простым и не требующим создания специального оборудования способом химико-термической обработки является обработка в порошкообразных смесях с использованием металлотермии.

Нами разрабатывалась технология получения покрытий на основе алюминия, хрома и кремния так как они, согласно данным работы [1], существенно влияет на повышение жаростойкости титановых сплавов.

При исследовании были использованы технически чистый титан ВТ-1 и сплавы ВТ-20 и ВТ-5. Используя технологическую схему и учитывая имею-

щиеся сведения о свойствах диффузионных покрытий на титане и его сплавах, были разработаны насыщающие смеси, обеспечивающие получение покрытий, а также изучены кинетические закономерности роста последних, их фазовый состав и свойства.

В качестве источника активных атомов насыщающих элементов в смеси были использованы порошки алюминия, кремния и оксида хрома. Активатором процесса является йод, балластной добавкой – окись алюминия.

Приготовление СВС-смеси осуществляли следующим образом. Взвешивали отдельные составляющие смеси. Взвешенное количество хрома, кремния и алюминия смешивали и просушивали при 60–100° С в течении 1–2 ч, затем смешивали все составляющие.

Дисперсность порошков составляла 250–350 мкм.

Химико-термическая обработка образцов осуществляли в СВС-реакторе открытого типа в интервале температур 900 – 1000° С. Продолжительность изотермической выдержки изменяли от 30 до 60 мин. Иницирование процесса насыщения в режиме горения осуществляли при помощи экзотермической таблетки или электрической спирали. Волна горения перемещалась со скоростью 10⁻³ м/с. Температуру СВС-смеси контролировали вольфрам-рениевой термопарой типа ВР-5, в защитном чехле, введенной непосредственно в ее объем и подключенной к регулятору температур «Микро600».

Микроструктуру упрочненных слоев исследовали на световом микроскопе «Neophot-21», анализ фазового состава осуществляли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3. Микротвердость покрытий определяли на приборе ПМТ-3.

Для расчета равновесного состава продуктов системы был использован прикладной пакет программ «АСТРА».

Для оптимизации составов было проведено математическое планирование эксперимента с целью обеспечения толщины защитного покрытия величиной 120-170 микрон. В качестве факторов были выбраны такие показатели как температура, время выдержки, а также содержание хромистой составляющей и газотранспортного агента. В таблице представлены основной уровень и интервалы варьирования каждого фактора.

Табл. 1

Фактор	Параметры оптимизации			
	Температура выдержки, °С	Время выдержки, ч	ХС- хромистая составляющая, %	Газотранспортный агент, %
Основной	825	1,5	25	1,25
Интервал	175	0,5	5	0,75
Нижний	650	1	20	0,5
Верхний	1000	2	30	2

В результате математического планирования было получено регрессионное уравнение

$$Y=122,41+ 46,37T +8,75t + 2,41 ХС + 0,23ГТА .$$

Как видно из уравнения на толщину покрытия значительное влияние оказывает температурно-временные параметры а также содержание ХС (рис.1, рис.2).

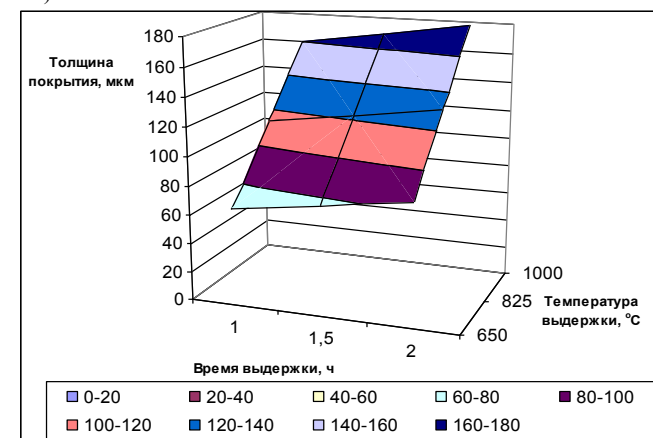


Рис. 1 Поверхность отклика от температуры и времени выдержки

Как видно из поверхности максимальная толщина покрытия достигается при $T=1000^{\circ}\text{C}$ и $\tau=60$ мин.

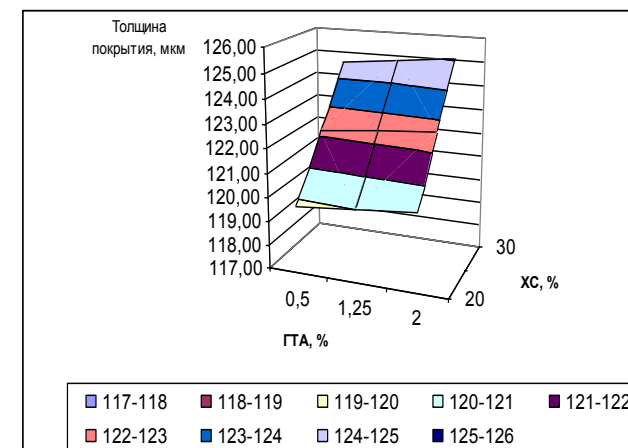
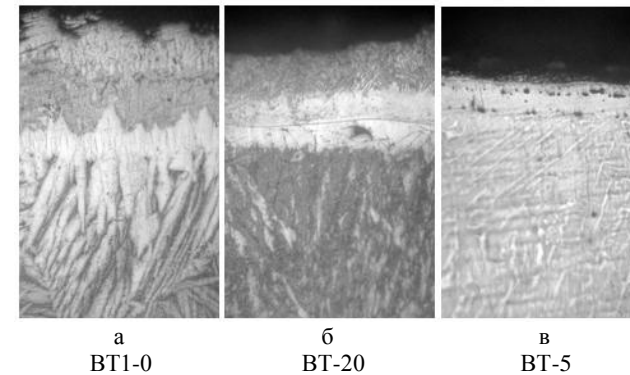


Рис.2 Поверхность отклика от содержания хромистой составляющей (ХС) и газотранспортного агента (ГТА)

Как видно необходимая толщина достигается при содержании в смеси 20 % ХС и 1,5% ГТА.

Для исследования кинетики формирования защитного покрытия на титановых сплавах в условиях СВС был проведен металлографический анализ при оптимальном температурно-временном режиме насыщения.



а
VT1-0 б
VT-20 в
VT-5
Т_п=900° С, τ выд=60 мин
Рис. 3 Сравнительная характеристика хромоалюмосилицированного покрытия в зависимости от марки сплава

Как видно из результатов микроструктурного исследования с увеличением времени выдержки и температуры толщина покрытия увеличивается в случае а-120 б-150-в-170 микрон, что объясняется наличием различных структур подложек.

Для изучения фазового состава был проведен рентгеноструктурный анализ сплава VT-20 с хромоалюмосилицированным покрытием при Т=900° С и времени выдержки 60 мин. По результатам данного анализа можно судить о структуре и свойствах покрытия, что позволит определить оптимальный состав для нанесения покрытия в условиях СВС. Анализ показал, что сформированный слой состоит из 2 основных фаз TiSi₂ и Ti₃Si₅.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Б.П. Серда. Металознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів та сплавів: Підручник./ Б.П. Серда // – Запоріжжя: Вид-во ЗДІА., 2008. – 267 с.
2. Мержанов А.Г. Процессы горения и синтез материалов. / Мержанов А.Г.// Черноголовка: Изд. ИСМАН, 1998. –236 с.
3. Бондаренко Ю.В., Серда Б.П. Нанесення багатоконпонентних силіцированих покриттів на титан і його сплави в умовах СВС // Титан-2008: производство и применение. Сб. тез. докладов первой научно-технической конференции молодых ученых специалистов, Запорожье: ЗНТУ, 2008. С. 53-54.