

Ж. Б. САГДОЛДИНА, М. И. БИТЕНБАЕВ

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД НАНЕСЕНИЯ СЛОЖНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ ТИТАНОВЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Физико-технический институт, г. Алматы

Методом механохимического синтеза были получены композиционные NiAlTi покрытия на поверхности алюминиевой и титановой подложек. Исследованы микроструктура и фазовый состав полученных покрытий до и после термической обработки. Установлено, что в процессе механохимического синтеза под воздействием ударов шаров образуются интерметаллические соединения из исходных компонент, степень завершения образования интерметаллидных фаз зависит от температуры последующего термического отжига.

1. Введение. Одним из эффективных способов получения изделий с требуемыми свойствами (например, антикоррозионными, износостойкими и др.) является модификация поверхности материалов путем нанесения защитных покрытий. Существует несколько различных способов получения таких покрытий на поверхностях металлов и сплавов. В работах [1, 2] показано, что метод механохимического синтеза позволяет, в отличие от других известных методов, при обычных условиях, т.е. комнатных температурах и нормальном атмосферном давлении, за короткий промежуток времени наносить композиционные покрытия на поверхность ряда материалов. Прогнозируется, что сложные композиционные покрытия будут превосходить по набору физико-механических свойств сплавы, используемые в промышленности в настоящее время. Это связано с тем, что в композиционных покрытиях отдельные слои выполняют специфические функции, создавая новый эффект за счет суммирования или взаимного усиления свойств.

Целью настоящей работы было получение трехкомпонентных композиционных покрытий NiAlTi на поверхности титановых и алюминиевых сплавов, последующее исследование их структурно-фазовых состояний до и после термического отжига.

2. Эксперимент. Нанесение покрытий осуществлялось методом механохимического синтеза на вибрационной установке СВУ-2 Физико-технического института. В качестве исходных материалов для покрытия использовались порошки Ti с размерами фракции 45 мкм и порошки Al с размером фракций 250 мкм, а также Ni фольга. Поверхность подложек перед процессом нанесения покрытий шлифовалась. После нанесения покрытий образцы систем Ti-NiAlTi и Al-NiAlTi последовательно отжигали в вакууме (10^{-4} Па) при разных температурных режимах. Длительность отжига составляла 2 часа.

Микроструктура и фазовый состав полученных покрытий до и после отжига исследовались с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6490LA и рентгеновского дифрактометра ДРОН-6.

3. Результаты и обсуждение.

3.1. Сложное композиционное покрытие на алюминиевой подложке. На рис. 1 показана структура композиционных NiAlTi покрытий на поверхности алюминиевой подложки. Эволюция морфологии поверхности в процессе механохимического сплавления является результатом следующих процессов: микропрессования, разрушения, агломерации и де-агломерации [3]. В зависимости от доминирующего процесса каждому этапу соответствует определенная структура. На образце до отжига видно, что поверхность покрытия состоит из неоднородных по своим размерам и форме частиц Al, Ni и Ti, статистически неравномерно распределенных в Al матрице. Неровности покрытий с образованием больших кластеров, которые приводят к увеличению шероховатости поверхности, связаны с агломерацией порошка в процессе взаимодействия шаров с подложкой.

После термического отжига при 400°C структура поверхности образца относительно выравнивается. Отжиг же при температурах $600\text{-}650^{\circ}\text{C}$, близких к температуре плавления алюминия,

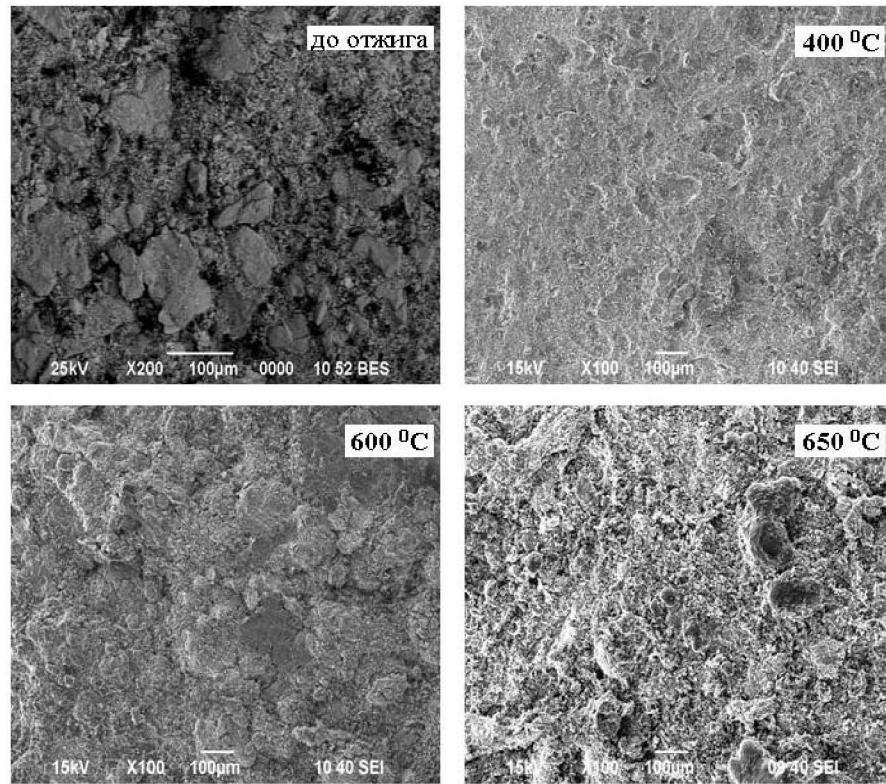


Рис. 1. Микроструктура композиционных NiAlTi покрытий на поверхности алюминиевой подложки

приводит к появлению поверхностных неоднородностей. Это может быть связано с растворением алюминия, как в подложке, так и в покрытии и, как следствие, сама подложка становится не устойчивой матрицей для нанесенного покрытия.

На рентгенограмме данного покрытия до отжига наблюдаются линии Al и Ti в свободном виде, а также линии интерметаллического соединения $\text{Al}_{1.1}\text{Ni}_{0.9}$ (см. рис. 2). Образование интерметаллических соединений $\text{Al}_{1.1}\text{Ni}_{0.9}$ в процессе нанесения покрытия объясняется, уникальной особенностью механохимических процессов, связанный с возможностью деформационного смешивания исходных компонент на атомном уровне [4].

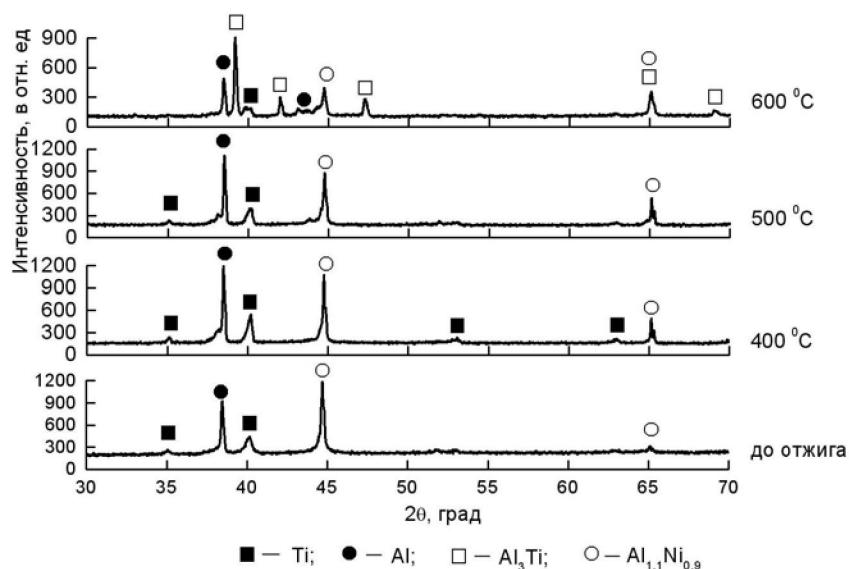


Рис. 2. Рентгенограммы композиционных NiAlTi покрытий на поверхности алюминиевой подложки до и после термического отжига

Суммарная доля интерметалличидных фаз в дальнейшем может повыситься при термической обработке. Так, при температурах термического отжига 400 °C и 500 °C образования новых фаз не обнаружено, но наблюдается рост интенсивности линий Al_{1.1}Ni_{0.9}, которые были зарегистрированы до отжига. Увеличение же температуры отжига до 600 °C приводит к образованию интерметаллических соединений алюминид титана (Al₃Ti) и уменьшению интенсивности линий Al, Ti и Al_{1.1}Ni_{0.9}.

3.2. Сложное композиционное покрытие на титановой подложке. Исходный состав покрытий, наносимы на поверхность титановой подложки, оставался такой же, как в случае с алюминиевой подложкой. На рис. 3 приведены микроструктура композиционного покрытия, полученного на поверхности титановой подложки.

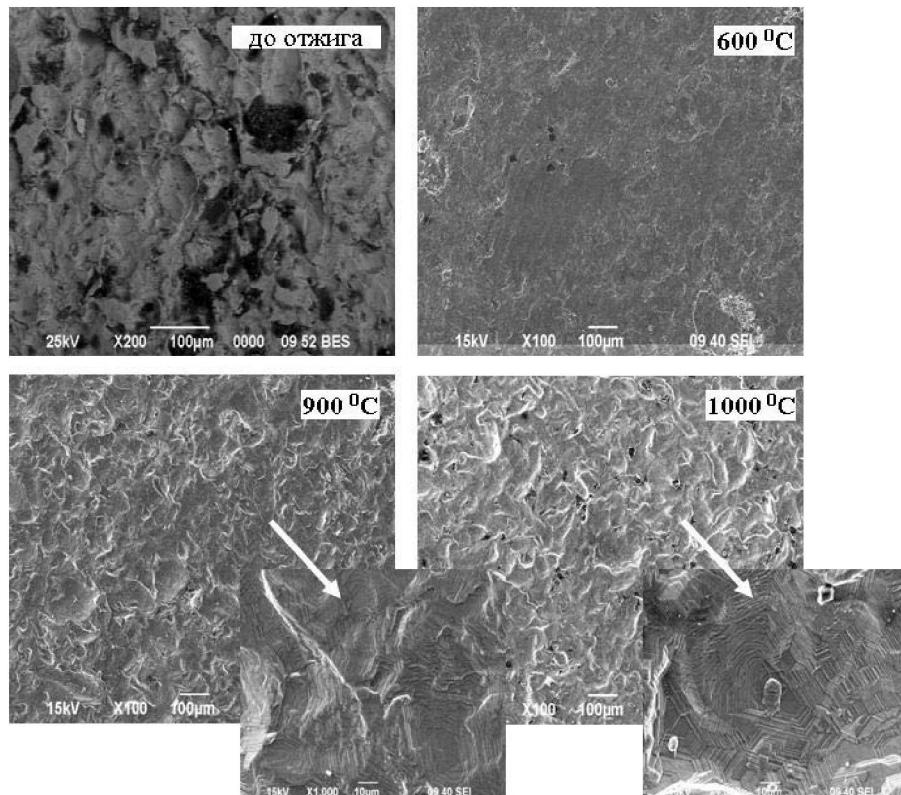


Рис. 3. Микроструктура композиционных NiAlTi покрытий на поверхности титановой подложки

Видно, что микроструктура данного покрытия заметно отличается от аналогичного случае с алюминиевой подложкой. В процессе механохимического сплавления на титановой подложке Ni пластиинка под воздействием ударов шаров на поверхности титана подвергается интенсивной деформации с образованием ячеистой структуры. При этом порошковая смесь Ti и Al затекает в поры ячеистой структуры и в результате процесса микро-прессования под воздействием ударов шаров последние закрепляются на поверхности образца. В случае же нанесения NiAlTi покрытий на поверхности алюминиевой подложки, Ni пластиинка под воздействием ударов шаров вбивается в мягкую матрицу алюминия, образовывая интерметаллические соединения Al_{1.1}Ni_{0.9}. Из рентгенограммы композитного соединения на подложке титана видно, что в данной системе образование интерметаллического соединения, кроме слабой линии Al_{1.1}Ni_{0.9}, не наблюдается (см. рис. 4). Из рис. 3 также видно, что микроструктура композитного соединения NiAlTi на подложке Ti после термического отжига полностью изменяется. Если при температуре 600 °C поверхность покрытия более-менее равномерна, то при дальнейшем повышении температуры до 900-1000 °C уже видны оплавленные участки поверхности.

Исследование фазового превращения в системе Ti-NiAlTi после отжига 600-900 °C показывает формирование интерметаллических соединений TiNi, Ti₂Ni, Ti₃Al на поверхности титановой подложки (см. рис. 4).

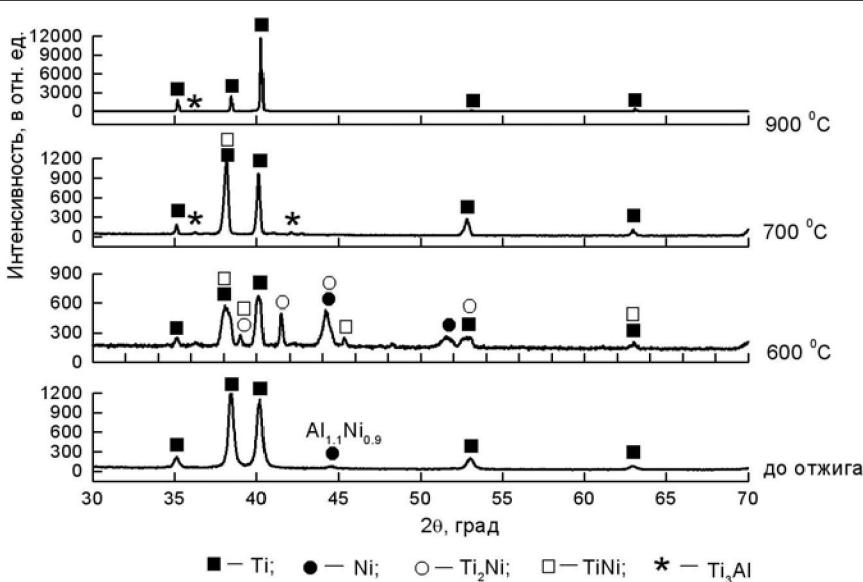


Рис. 4. Рентгенограммы композиционных NiAlTi покрытий на поверхности титановой подложки до и после термического отжига

После отжига при 600 °C с падением интенсивности линий титана наблюдается образование и рост фазы интерметаллических соединений TiNi, Ti₂Ni и присутствие фазы исходного компонента покрытия никеля. С увеличением температуры отжига интенсивность линий титана возрастает, а интерметаллидный слой рассасывается подложкой по диффузионному механизму. На рентгенограмме после отжига при 700 °C регистрируются линии соединения алюминида титана (Ti₃Al). Дальнейшее увеличение температуры отжига завершает реакцию образования интерметаллидов и показывает, что образования интерметаллических соединений протекает в диффузионной зоне определенной протяженности. При высоких температурах в данной исследуемой системе происходит диффузионная перекристаллизация титана в поверхностном слое, о чём свидетельствует формирование видманштеттовой структуры, которые показаны на детальных снимках при температурах 900 и 1000 °C на рис. 3.

4. Заключение. Методом механохимического синтеза из смеси титана, алюминия и никеля нанесены сложные композиционные покрытия на алюминиевую и титановую подложки. Установлено, что в процессе механохимического сплавления образуется интерметаллические соединения, суммарная доля которых в дальнейшем может повыситься при термической обработке по диффузионному механизму, при этом образование интерметаллических соединений протекает в диффузионной зоне определенной протяженности. Показано, что тип исходной подложки оказывает существенное влияние на структуру и фазовый состав полученных композиционных покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Романьков С.Е., Сагдолдина Ж.Б., Калошкин С.Д., Каевицер Е.В. Получение композиционных Ti-Al покрытий методом механосинтеза // Физика металлов и металловедение. – 2008. – Т. 106, № 1. – С. 70-78.
- 2 Romankov S., Sagdoldina Zh., Kaloshkin S.D., Hayasaka Y., Komarov S.V., Hayashi N., Kasai. E. Structural evolution of the Ti-Al coatings produced by mechanical alloying technique // J. Alloys Compounds. – 2009, 483. – P. 386-388.
- 3 Lu L., Lai M.O. Mechanical alloying // Kluver Academic Publishers. – 1998. – 276 p.
- 4 Сборник научных трудов. Механохимический синтез в неорганической химии. – Новосибирск: Наука, 1991. – 55 с.

Ж. Б. Сагдолдина, М. И. Битенбаев

ТИТАН ЖӘНЕ АЛЮМИНИЙ ҚҰЙМАЛАРЫНЫҢ БЕТІНДЕ КҮРДЕЛІ КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ ЖАБЫН ҚАБАТАЫН АЛУДЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ-ХИМИЯЛЫҚ ӘДСІ

Механикалық-химиялық әдіспен алюминий және титан құймалары бетінде NiAlTi жабын қабаты алынды. Алынған жабын қабаттарының жылулық өндеуге дейінгі және кейінгі микротұралымдары мен

фазалық құрамы зерттелді. Механикалық-химиялық синтез үрдісі барысында шарлардың соқтығысы нәтижесінде жабын қабатының бастапқы құрамдас беліктерінен интерметалдық қосылыстар түзіледі. Интерметалдық қосылыстар түзілісінің аяқталу деңгейі кейінгі жылулық өндөу температурасына байланысты.

Zh. B. Sagboldina, M.I. Bitenbaev

**DEPOSITION OF COMPLEX COMPOSITE COATING ON SURFACE OF TITANIUM
AND ALUMINUM ALLOYS BY MECHANOCHEMICAL METHOD**

The composite coatings NiAlTi on the surface of aluminum and titanium substrates were obtained by mechanochemical method. Microstructure and phase composition of the coatings were investigated before and after heat treatment. It was established that intermetallic compounds from initial components are formed in the process of mechanochemical synthesis under the influence of impact balls, the completion degree of intermetallic phases formation depends on the temperature of subsequent thermal annealing.