

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕХАНИЧЕСКИМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

С.А. Пячин¹, Н.М. Власова¹, М.А.Кулик¹, О.И. Каминский¹,
А.М. Фролов², В.В. Ткачев², В.О. Крутикова³

¹Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН (г.Хабаровск)

²Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

³Институт тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина (г. Хабаровск)
pyachin@mail.ru

FORMATION OF INTERMETALLIC COATINGS BY MECHANICAL ALLOYING

S.A. Pyachin¹, N.M. Vlasova¹, M.A. Kulik¹, O.I. Kaminsky¹,
A.M. Frolov², V.V. Tkachev², V.O. Krutikova³

¹Institute of Materials Science, Kola Science Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Khabarovsk)

²Far Eastern Federal University (Vladivostok)

³Institute of Tectonics and Geophysics Yu. A. Kosygina (Khabarovsk)
pyachin@mail.ru

DOI: 10.2250/PFARE.2019.137-140

Интерметаллические соединения переходных металлов на основе титана и алюминия являются перспективными материалами нового поколения. Они относятся к жаропрочным системам с низкой плотностью, высокими механическими и хорошими антикоррозионными свойствами [1]. Интерметаллидные сплавы находят все большее применение в качестве защитных покрытий. Методы осаждения таких покрытий весьма разнообразны. В данной работе Ti-Al покрытия нанесены методом механического легирования, который основан на использовании энергии удара движущихся шаров. Частицы металлического порошка, попадая между подложкой и шарами, последовательно привариваются к поверхности подложки. Этот метод практически не имеет ограничений по парам наносимого и основного металлов, не требует специальной подготовки поверхности образцов, имеет относительно небольшие энергетические затраты, позволяет наносить на подложки достаточно толстые и плотные слои. Формированию покрытий из алюминидов титана методом механического синтеза посвящены работы [2-4]. Проведенные нами исследования были направлены на создание поверхностных слоев тройной системы Ti-Al-M механическим сплавлением и изучение их структурных характеристик и фазового состава.

Покрытия были получены в планетарной шаровой мельнице РМ 400. Предварительно в контейнер объемом 250 мл из оксида алюминия засыпали порошки титана и алюминия в одинаковых мольных долях, а затем в эту смесь добавляли третий компонент - порошки молибдена и ниобия в количестве 5 или 10 вес.%. Подложками служили пластинки толщиной 2 мм из титанового сплава ВТ1-0. Для механосинтеза использовали шары из оксида алюминия диаметром 10-20 мм. Весовое соотношение между шарами и смесью металлических порошков – 11:1. Механическое сплавнение осу-

ществляли при скорости вращения контейнера 300 об/мин в течение 1 часа в среде аргона. Чтобы улучшить адгезию и однородность структуры осажденных слоев, полученные образцы отжигали в вакуумной печи при температуре 700 °С в течение 1 часа.

Количество вещества, нанесенного на подложку, измеряли на весах Vibra HT с точностью 10^{-4} г. Фазовый состав полученных покрытий изучали с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-7 в Cu-K α излучении. Для идентификации линий рентгенограмм использовали программный пакет PDWin (НПП «Буревестник») и база рентгенодифракционных данных PDF-2. Микроструктуру покрытий изучали с применением оптического микроскопа Altami и сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss Ultra 55+ с приставкой для элементного анализ от Oxford Instruments и Sigma 300 VP со спектральным энергоанализатором INCA Energy. Съемку проводили во вторичных электронах, при ускоряющем напряжении 20 кВ с предварительной калибровкой интенсивностей линий на кобальтовом эталоне.

Результаты исследований показали, что привес титановой подложки за счет механического сплавления металлических порошков с ее поверхностью составляет в среднем $5,5 \cdot 10^{-4}$ г/мм² в течение 1 часа. Толщина полученных покрытий неоднородна. Рельеф осажденных слоев имеют вид чередующихся выступов высотой до 500 мкм. Средняя толщина покрытий для разных образцов лежит в диапазоне 120-200 мкм.

На рис. 1 показана микроструктура осажденных поверхностных слоев без термической обработки. Она представляет собой скопление микрозерен с распределенными по их границам порами. В поверхностном слое, полученном из титана и алюминия без добавок, кристаллиты имеют в основном форму, вытянутую вдоль границы раздела между покрытием и подложкой. Такое преимущественное направление обусловлено ударным воздействием шаров на частицы. В случаях осаждения, когда смесь порошков содержат дополнительно ниобий и молибден, форма образующихся в покрытиях зерен более изоморфна. Кристаллиты в поверхностном слое из TiAl-10%Nb механической смеси более крупные по сравнению с другими образцами. Размеры зерен в поперечном сечении этого покрытия достигают 50 мкм.

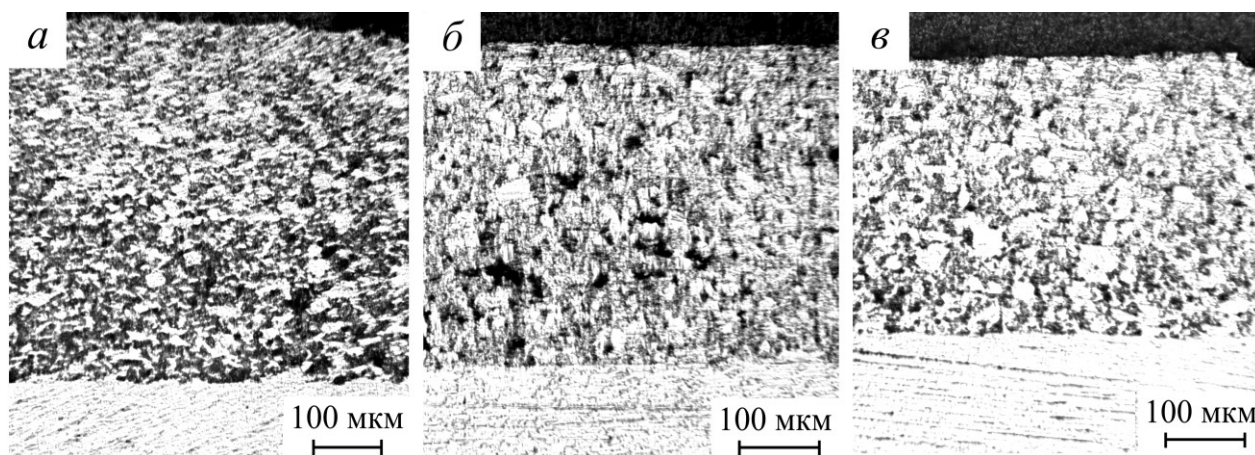


Рис. 1. Микроструктура (а) TiAl, (б) TiAl-10%Mo и (в) TiAl-10%Nb покрытий на сплаве ВТ1-0.

На рис. 2. изображены графики распределения основных элементов в TiAl покрытии. Они представляют собой волнообразные линии с периодом 5 мкм, при этом изменение концентрации титана по глубине происходит противофазно концентрации алюминия. Тем не менее, средний уровень концентраций Ti и Al близок к 50 ат.%, что соответствует соотношению этих металлов в исходной порошковой смеси. Анализируя профили распределения, можно заключить, что в процессе механического сплавления происходит лишь пластическая деформация частиц порошков без значительного проникновения металлов в объем этих частиц.

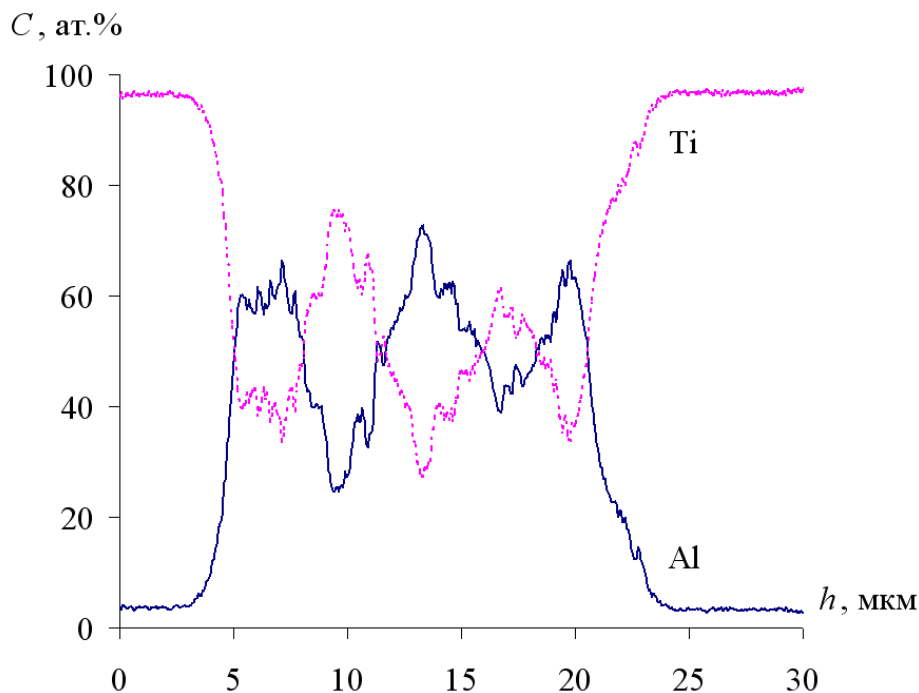


Рис. 2. Профили распределения титана и алюминия по глубине TiAl покрытия без термической обработки.

Рентгенодифракционный анализ полученных покрытий показал, что после механического легирования на поверхности титанового сплава формируются слои, состоящие из титана и алюминия (рис. 3 а,б,в), а также ниобия и молибдена, которые добавляли в исходную смесь порошков металлов.

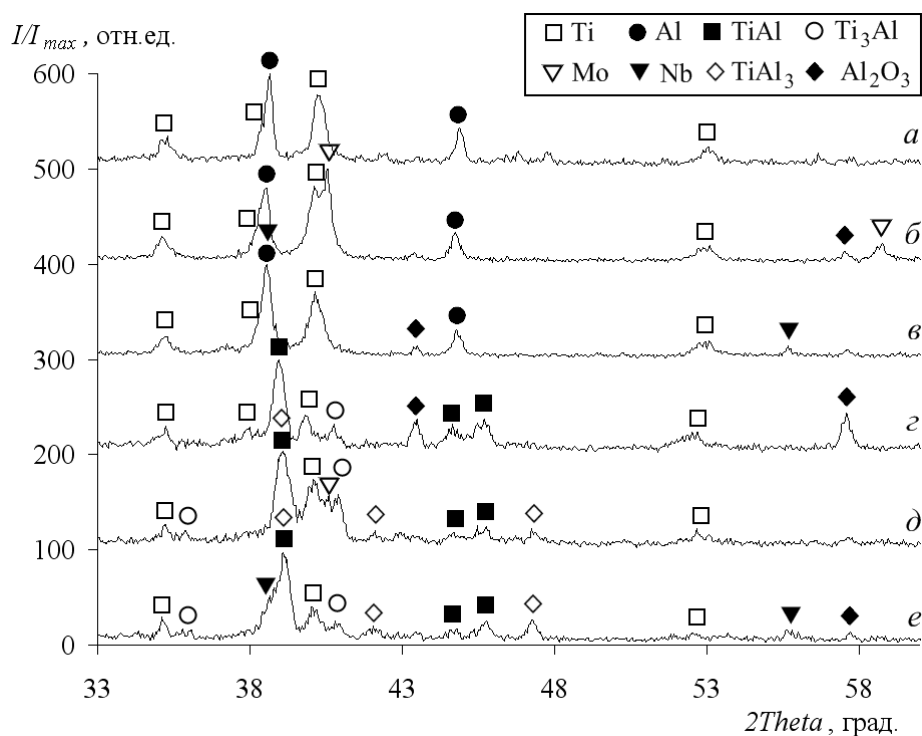


Рис. 3. Рентгеновские дифрактограммы образцов с покрытиями (а, г) TiAl, (б, д) TiAl-10%Mo и (в, е) TiAl-10%Nb, полученными механическим сплавлением, до (а, б, в) и после (г, д, е) изотермического нагрева при $T = 700^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч в вакууме.

Интерметаллидные фазы в этих поверхностных слоях не были обнаружены. Отжиг образцов при $T = 700^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч в вакууме привел к тому, что в покрытиях из смеси титана и алюминия без добавок образовался алюминид титана $\gamma\text{-TiAl}$ (рис. 3 г). Кроме того присутствует $\alpha\text{-Ti}$, дифракционные линии которого смещены в стороны больших углов 2Θ , что свидетельствует об увели-

чении межплоскостных расстояний кристаллической решетки титана в процессе отжига. В подвергшихся термической обработке TiAl-10%Mo и TiAl-10%Nb покрытиях, кроме интерметаллида γ -TiAl, в небольшом количестве присутствуют две другие интерметаллидные модификации TiAl₃ и Ti₃Al. В поверхностных слоях некоторых образцов содержится оксид алюминия, который перенесся на титановый сплав при истирании измельчающих корундовых шаров.

Таким образом, в ходе проведенных исследований показано, что методом механического сплавления металлических порошков титана, алюминия, ниобия и молибдена с последующим изотермическим отжигом можно получить интерметаллидные покрытия толщиной до 0,5 мм.

-
1. Клопотов, А.А. Кристаллогеометрические и кристаллохимические закономерности образования бинарных и тройных соединений на основе титана и никеля: монография / А.А. Клопотов, А.И. Потекаев, Э.В. Козлов, Ю.И. Тюрин, К.П. Арефьев, Н.О. Солоницина, В.Д. Клопотов; под общ. ред. А.И. Потекаева. – Томск: Изд-во Томского политехн. Ун-та, 2011. – 312 с.
 2. Romankov, S. Structural evolution of the Ti–Al coatings produced by mechanical alloying technique / S. Romankov, S.D. Kaloshkin, Y. Hayasaka, Zh. Sagdoldina, S.V. Komarov, N. Hayashi, E. Kasai // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2009. – V. 483, № 1. – P. 386-388.
 3. Romankov, S. Fabrication of Ti–Al coatings by mechanical alloying method / S. Romankov, W. Sha, S.D. Kaloshkin, K. Kaevitser // *Surface and Coatings Technology*. – 2006. – V. 201, № 6. – P. 3235-3245.
 4. Shahzad, A. Deposition of the Ti-Al coatings on different metallic substrates by mechanical alloying and subsequent laser treatment / Shahzad, A., V. Yu. Zadorozhnyy, M. D. Pavlov, M. V. Zheleznyi, A. M. Chirkov, D. S. Zagrebin, D. V. Semenov, R. S. Khasanova, and S. D. Kaloshkin // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2018. – V. 731. – P. 1295–1302.