

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АЛЮМИНИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНЕ И НИКЕЛЕ

*Ковтунов А.И., Хохлов Ю.Ю., Селянин П.Н.*

ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»,  
г. Тольятти, Самарская обл., Российская Федерация

*Проведены исследования жаростойкости титана и никеля с покрытием на основе алюминидов титана, полученных жидкофазным алитированием титана с последующей высокотемпературной выдержкой. Установлено влияние времени выдержки алитированных образцов при 950°C на изменение их массы и скорость окисления.*

***Ключевые слова:** титан; никель; алюминиевый расплав; алитирование; интерметаллидная фаза; жаростойкость; скорость окисления*

## STUDY OF THE HEAT RESISTANCE OF ALITATED COATINGS ON TITANIUM AND NICKEL

*Kovtunov A.I., Khokhlov Yu. Yu., Selyanin P.N.*

Togliatti State University, Togliatti, Samara region,  
Russian Federation

*Studies of the heat resistance of titanium and nickel coated on the basis of titanium aluminides obtained by liquid-phase aluminizing of titanium followed by high-temperature exposure were carried out. The influence of the holding time of aluminized samples at 950°C on the change in their mass and the rate of oxidation has been established.*

***Keywords:** Titanium; nickel; aluminum melt; aluminizing; intermetallic phase; heat resistance; oxidation rate*

## **Введение**

Алитирование является одним из способов диффузионного насыщения поверхностных слоев изделий алюминием и обеспечивает формирования алюминидных покрытий, которые отличаются высоким комплексом эксплуатационных свойств [1-3]. Алитирование широко применяется для формирования жаростойких и коррозионностойких покрытий на сталях [4,5]. Весьма перспективно и алитирование изделий из титана и никеля титана.

Наиболее простым, универсальным и производительным способом алитирования является алитирование в жидком алюминиевом расплаве [6,7].

Целью работы является исследование жаростойкости титана и никеля с покрытием на основе алюминидов титана, полученным жидкофазным способом.

## **Материалы и методы исследования**

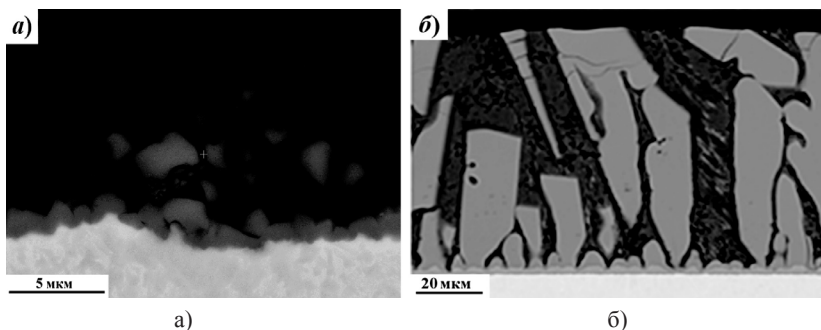
Алитирование титана марки ВТ 1-0 ГОСТ 22178-76 и никеля НП-2 ГОСТ 6235-91 толщиной 1 мм проводилось жидкофазным способом в расплавах алюминия марки А7 ГОСТ 11069-01 и силумина АК12 ГОСТ 1583-93 при температурах расплава 840-860°C. При этих температурах наблюдается хорошее смачивание и растекание алюминиевого расплава по титану и никелю, а так же обеспечивается формирование бездефектного алюминиевого покрытия [8]. Плавку вели в лабораторной печи сопротивления в графитовом тигле под слоем защитного флюса. Образцы титана и никеля размером 25x25мм предварительно травили в растворе, состоящем из 20-30 мл  $\text{HNO}_3$ , 30-40 мл  $\text{HCl}$  на 1 л воды [9]. Для получения адгезионной связи между алюминием и основным металлом при алитировании поверхность образцов активировали флюсом на основе системы  $\text{KF-AlF}_3$  эвтектической концентрации (флюс Nocoloc) [8,9]. Время выдержки образцов в алюминиевом расплаве составляло 10-15 с.

Жаростойкость алитированных образцов исследовали при температуре 950°C. При этом оценивали жаростойкость покрытий по увеличению веса образцов выдерживаемых в атмосфере печи сопротивления в течении 5, 25, 50, 75 часов.

Микрорентгеноспектральный анализ покрытий на образцах с алитированным слоем проводили на двухлучевом растровом электронном микроскопе FEI Scios 2 LoVac. Спектры получены при помощи EDX детектора Octane Elite Plus. Образцы для исследований представляли собой шлифованные поверхности поперечного сечения титановых и никелевых пластин с алюминиевым покрытием.

### Результаты исследования

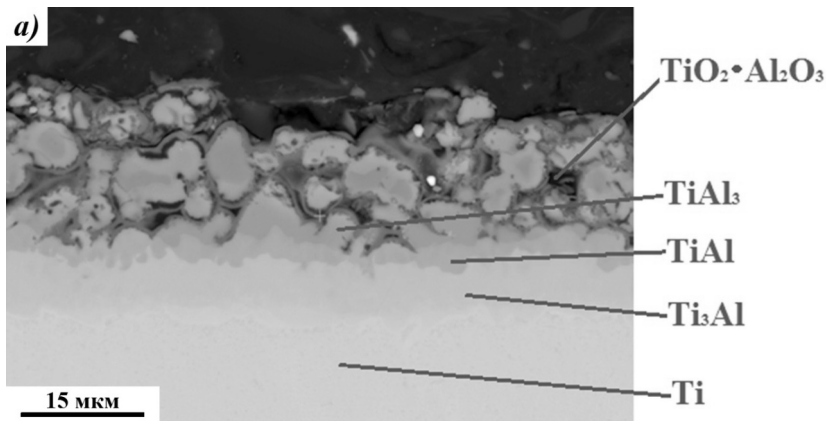
При жидкофазном алитировании на поверхности образцов формируется алюминиевый слой, а между алюминием и основным металлом переходный интерметаллидный алитированный слой (рисунок 1). Толщина алюминиевого и переходного интерметаллидного слоя отличаются при алитировании титана и никеля. Толщина алюминиевого слоя при алитировании титана составляет 12-17 мкм, а переходного интерметаллидного слоя 0,8-4 мкм. При алитировании никеля толщина слоя алюминия доходила до 100 мкм при толщине переходного слоя около 10 мкм. Переходный слой при алитировании титана, исходя из химического состава, представлен фазой  $TiAl_3$ , а при алитировании никеля фазой  $NiAl_3$ .



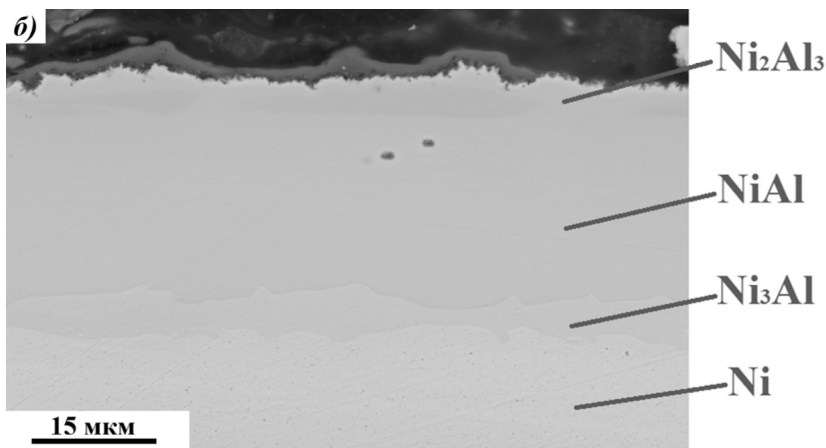
**Рис. 1.** Структура покрытия на титановых (а) и никелевых (б) образцах после алитирования в алюминиевом расплаве А7 при температуре 850°С; время выдержки в расплаве 10-15сек

При выдержке образцов с алюминиевым покрытием в процессе испытания жаростойкости слой алюминия трансформируется в слой алюминидов, который и обеспечивает их высокую жаростойкость.

На титановых образцах формировалось многослойное покрытие общей толщиной 17-25 мкм на основе интерметаллидных фаз:  $Ti_3Al$ ;  $TiAl$ ;  $TiAl_2$ ;  $TiAl_3$  (рисунок 2а). На никелевых образцах наблюдалось двухслойное покрытие толщиной 50-100 мкм на основе фаз:  $Ni_2Al_3$ ;  $NiAl$ ;  $Ni_3Al$  (рисунок 2б).



а)



б)

**Рис. 2.** Структура алитированного слоя на титановых (а) и никелевых (б) после жидкофазного алитирования в расплаве А7 и выдержки при температуре 950°С; время выдержки в расплаве 5 часов

Испытания жаростойкости при  $950^{\circ}\text{C}$  при выдержке в течение 75 часов показали, что изменение массы титановых образцов алитированных в расплаве А7 составляло не более  $200 \text{ г/м}^2$ , а при алитировании в расплаве АК12 не более  $100 \text{ г/м}^2$  (рисунок 3). В то время как потеря массы титановых образцов составляла не менее  $700 \text{ г/м}^2$ . Скорость окисления алитированных образцов в расплаве А7 уменьшается от  $6,5$  до  $3 \text{ г/(м}^2\cdot\text{ч)}$ , а в расплаве АК 12 с  $1,2$  до  $0,8 \text{ г/(м}^2\cdot\text{ч)}$ . Скорость окисления титановых образцов при этом уменьшалась с  $45$  до  $10 \text{ г/(м}^2\cdot\text{ч)}$ .

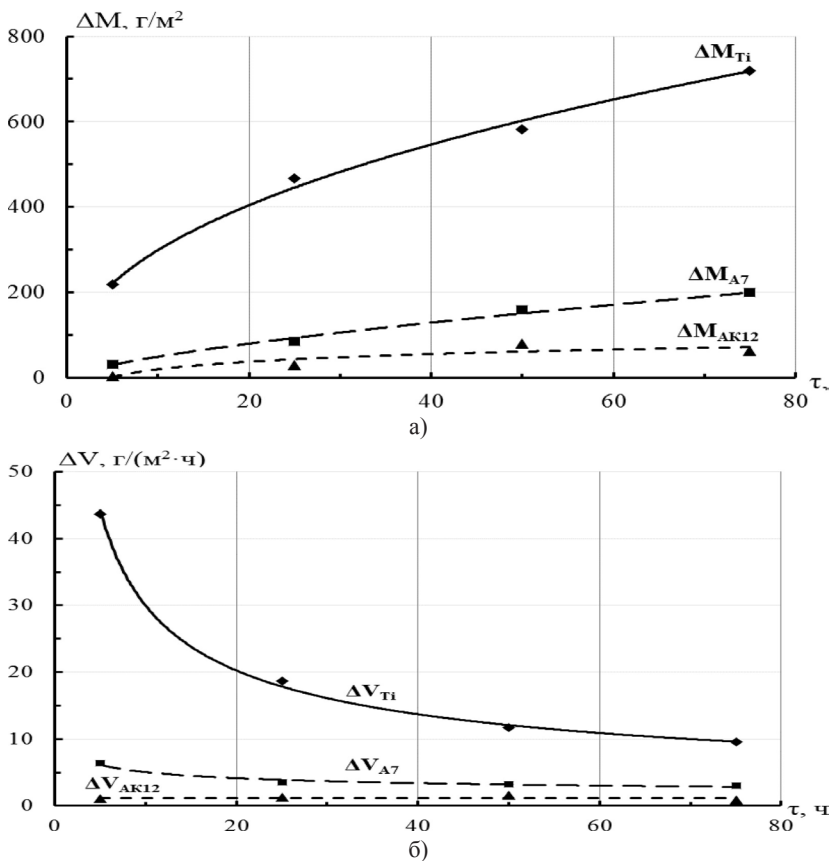


Рис. 3. Потеря массы (а) и скорость окисления (б) титановых и алитированных титановых образцов

Жаростойкость алитированных никелевых образцов была значительно выше. Потеря массы при 75 часовой выдержки составляла не более 10 г/м<sup>2</sup>. При чем большей разницы в жаростойкости образцов алитированных в расплаве А7 и АК12 не наблюдалось. Скорость окисления алитированных никелевых образцов уменьшалась с 0,9 до 0,065 г/(м<sup>2</sup>ч).

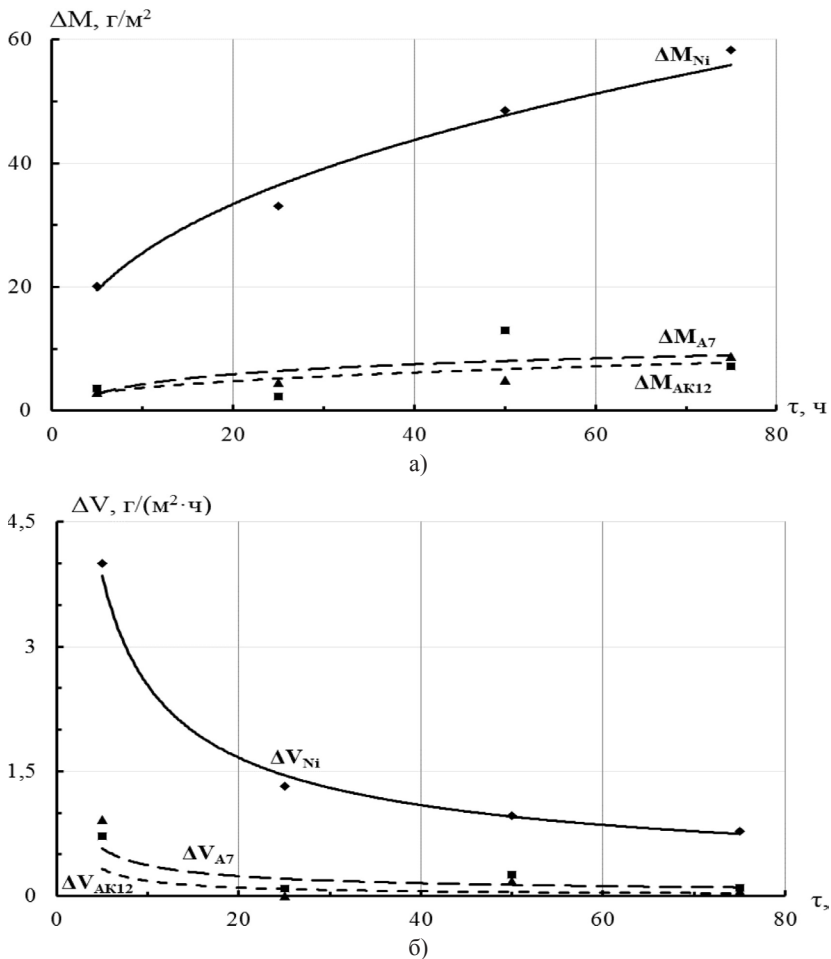


Рис. 4. Потеря массы (а) и скорость окисления (б) никелевых и алитированных никелевых образцов

### **Заключение**

1. Жидкофазное алитирование титана и никеля в алюминиевых расплавах марки А7 и АК12 при температуре 950°C позволяет формировать покрытие, состоящее из слоя алюминия и переходного слоя на основе алюминидов титана и никеля соответственно. Последующая высокотемпературная выдержка обеспечивает трансформацию алюминиевого слоя в покрытие на основе алюминидов титана или алюминидов никеля.

2. Испытания жаростойкости при 950°C в течение 75 часов показали, что жаростойкость алитированных никелевых образцов значительно выше алитированных титановых. Потеря массы и скорость окисления никелевых образцов с алюминиевым слоем ниже более чем в 10 раз.

### ***Список литературы***

1. Ильин В.А., Панарин А.В. Алюминиевые покрытия и способы их получения // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №4. С. 37-42.
2. Ковтунов А.И., Сидоров В.П., Чермашенцева Т.В. Алитирование сталей, плакированных алюминием.: монография. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2010. 119 с.
3. Ковтунов А.И., Мямин С.В. Жидкофазные способы производства слоистых композиционных материалов: монография. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016. 136 с.
4. Улиг Г.Г., Ревы Р.У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику. Л.: Химия. 1989. 456 с.
5. Кошелев В.Н., Губенкова О.А. Исследование защитной способности пиролитических алюминиевых покрытий на стали 30ХГСА // *Авиационные материалы и технологии*. 2009. №1. С. 6-10.
6. Ковтунов А.И., Чермашенцева Т.В., Хохлов Ю.Ю., Мямин С.В. Жидкофазное алюминирование стали // *Технология металлов*. 2011. № 2. С. 33-38.
7. Пересыпкин В.И. Прочность корпуса морских судов и защита от коррозии: Сб. науч. тр. М.: Транспорт, 1990. 121 с.
8. Ковтунов А.И., Хохлов Ю.Ю., Мямин С.В. Исследование процессов смачивания и растекания алюминия по титану при формировании композиционных материалов пеноалюминий–титан // *Цветные металлы*. 2017. № 6. С. 74-78.

9. Шашкин О.В. Вакуумная контейнерная пайка титановых и титано-алюминиевых конструкций припоями на основе алюминия: дис. канд. тех. наук: ТГУ: Тольятти., 2006. 164 с.

### *References*

1. Ilin V.A., Panarin A.V. Alyuminievye pokrytiya i sposoby ikh polucheniya [Aluminum coatings and methods for their production]. Aviatsonnye materialy i tekhnologii, 2014, № 4, pp. 37-42.
2. Kovtunov A.I., Sidorov V.P., Chermashentseva T.V. Alitirovanie staley, plakirovannykh alyuminiem [Aluminizing steels clad with aluminum]. Tolyatti: Izd-vo TGU, 2010. 119 p.
3. Kovtunov A.I., Myamin S.V. Zhidkofaznye sposoby proizvodstva sloistyykh kompozitsionnykh materialov [Liquid-phase methods for the production of layered composite materials]. Tolyatti: Izd-vo TGU, 2016. 136 p.
4. Ulig G.G., Revi R.U. Korroziya i borba s ney. Vvedenie v korrozionnyuyu nauku i tekhniku [Corrosion and its control. Introduction to Corrosion Science and Engineering]. L.: Khimiya, 1989. 456 p.
5. Koshelev V.N., Gubenkova O.A. Issledovanie zashchitnoy sposobnosti piroliticheskikh alyuminievyykh pokrytiy na stali 30KhGSA [Investigation of the protective ability of pyrolytic aluminum coatings on steel 30KhGSA]. Aviatsonnye materialy i tekhnologii, 2009, № 1, pp. 6-10.
6. Kovtunov A.I., Chermashentseva T.V., Khokhlov Yu. Yu., Myamin S.V. Zhidkofaznoe alyuminirovanie stali [Liquid-phase aluminizing of steel]. Tekhnologiya metallov, 2011, № 2, pp. 33-38.
7. Peresypkin V.I. Prochnost korpusa morskikh sudov i zashchita ot korrozii [Marine hull strength and corrosion protection]. M.: Transport, 1990. 121 p.
8. Kovtunov A.I., Khokhlov Yu. Yu., Myamin S.V. Issledovanie protsessov smachivaniya i rastekaniya alyuminiya po titanu pri formirovani kompozitsionnykh materialov penoalyuminiy–titan [Investigation of the processes of wetting and spreading of aluminum over titanium during the formation of aluminum-titanium foam composite materials]. Tsvetnye metally, 2017, № 6, pp. 74-78.
9. Shashkin O.V. Vakuumnaya konteynernaya payka titanovykh i titano-alyuminievyykh konstruksiy pripoyami na osnove alyuminiya [Vacuum container brazing of titanium and titanium-aluminum structures with aluminum-based solders], TGU: Tolyatti, 2006. 164 p.