

**АЛИТИРОВАНИЕ ЖАРСТОЙКОГО НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА
МЕТОДОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ**

**А.Н. ГРИГОРЧИК, В.А. КУКАРЕКО, М.А. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ,
А.В. СОСНОВСКИЙ**

**Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь**

Исследовано структурно-фазовое состояние жаропрочного Ni-Cr-Co-W-Ti-Al-Mo сплава с напыленным на его поверхность газотермическим покрытием из алюминиевого сплава АД1 после отжига по различным режимам. Показано, что отжиг при температуре 800°C (2 часа) Ni-Cr-Co-W-Ti-Al сплава с напыленным на поверхность покрытием из алюминия приводит к формированию в нем диффузионного слоя глубиной до ≈ 200 мкм, который содержит интерметаллидные фазы NiAl, Ni₃(Al, Ti), Ni₃Al, Ni₃Al₄, Ni₂Al₃, Al₅Co₂, Al₁₃Co₄.

Введение. Высокая стоимость и экстремальные условия эксплуатации изделий из жаропрочных никелевых сплавов делает актуальным поиск технологических процессов, позволяющих повысить их срок службы. В частности, известно [1], что формирование интерметаллидных слоев на базе системы Ni-Al на поверхности никелевых сплавов позволяет существенно повысить их жаростойкость и, как следствие, срок службы. Нанесение алюминия на поверхность никелевого сплава, как правило, осуществляется диффузионным алитированием [1]. Кроме этого, диффузионные слои в сплавах Ni-Cr-Co-W-Ti-Al могут быть получены за счет термодиффузионного алитирования, заключающегося в нанесении содержащего алюминий порошкового материала на поверхность никелевого сплава и его отжиг при температурах 600–800°C. Вместе с тем, у данных методов имеется существенный недостаток, заключающийся в небольшой глубине упрочненных слоев при диффузионном алитировании, а также в большой продолжительности процесса термодиффузионного алитирования (более 4-х часов). В связи с этим, представляет интерес развития альтернативных методов формирования алитированных слоев. В частности, высокоскоростная металлизация позволяет напылять экономичные проволочные материалы из алюминиевых сплавов с формированием плотного покрытия на обрабатываемой поверхности [2]. При этом, последующая термическая обработка такого композиционного материала может обеспечить получение алитированных слоев, легированных различными элементами. В связи с этим, целью работы являлось исследование структуры, химического и фазового составов жаропрочного никелевого сплава с напыленным газотермическим покрытием из проволочного алюминия в исходном состоянии и подвергнутого отжигу.

Получение образцов и методики исследований. Напыление газотермического покрытия из алюминиевого сплава АД1 выполнялось методом высокоскоростной

металлизации с использованием установки АДМ-10 на подложку (80×50×5 мм) из никелевого сплава Ni-Cr-Co-W-Ti-Al. Отжиг образцов напыленных покрытий проводился на воздухе в муфельной печи SNOL 7.2/1100, температура нагрева составляла 700 и 800°C, а время выдержки – 2 часа. Фазовый состав отожженных образцов определялся с использованием рентгеновского дифрактометра POWDIX 600 (в монохроматизированном кобальтовом (CoK α) излучении при напряжении 30 кВ и анодном токе 10 мА). Расшифровка рентгенограмм осуществлялось при помощи программного обеспечения Crystallographica Search-Match с картотекой PDF-2. Металлографические исследования проводились на оптическом микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ 1МТ. Исследование элементного состава образцов осуществлялся методом рентгенофлуоресцентного анализа на приборе Epsilon 1 с программным обеспечением Epsilon 3.

Результаты исследований и их обсуждение. На поверхности жаропрочного Ni-Cr-Co-W-Ti-Al сплава при напылении формировалось газотермическое покрытие из алюминиевого сплава АД1 толщиной \approx 100 и \approx 300 мкм. Пористость напыленных покрытий не превышала \approx 1-2 об. %. Последующий отжиг жаропрочного сплава с напыленными покрытиями при температурах 700 и 800°C в течение 2 часов приводил к формированию интерметаллидных слоев (рисунок 1) в никелевой основе, а также к диффузионному переносу атомов никеля в алюминиевое покрытие, о чем, в свою очередь, свидетельствуют данные элементного состава напыленного покрытия. В частности, можно видеть (таблица 1), что в результате отжига при температуре 800°C (2 часа) элементы никелевой основы (Ni, Co, Cr, Fe, Si, Mo) регистрируются на поверхности покрытия, что свидетельствует о интенсивном диффузионном переносе атомов материала подложки в алюминиевый расплав.

Таблица 1. – Элементный состав поверхностных слоев алюминиевого сплава напыленного на никелевую основу и подвергнутых отжигу при температуре 800°C (2 часа)

Образец	Al	Si	Fe	Co	Ni	Mo	Cr
Поверхность напыленного покрытия из алюминия (толщина покрытия \approx 300 мкм)	Основа	0,297	0,224	-	-	-	-
Поверхность напыленного покрытия из алюминия (толщина покрытия \approx 300 мкм) после отжига при 800°C (2 часа)	Основа	0,478	0,403	3,819	19,600	0,714	5,915
Поверхность напыленного покрытия из алюминия (толщина покрытия \approx 100 мкм) после отжига при 800°C (2 часа)	Основа	0,546	0,605	5,760	35,352	0,931	7,285

В результате отжига напыленных покрытий из алюминиевого сплава при температуре 700°C (2 часа) в никелевой основе формируется диффузионный слой глубиной \approx 40–80 мкм. Увеличение температуры отжига до 800°C (2 часа) сопровождается ускорением диффузионных процессов на границе раздела «алюминиевое покрытие – никелевая основа», что приводит к формированию диффузионного слоя в жаропрочном сплаве глубиной \approx 115–200 мкм (рисунок 1).

к формированию глубоких диффузионных слоев (до ≈ 200 мкм) в никелевой основе, содержащих интерметаллидные фазы NiAl, Ni₃(Al, Ti), Ni₃Al, Ni₃Al₄, Ni₂Al₃, Al₅Co₂, Al₁₃Co₄.

ЛИТЕРАТУРА

1. Защитные покрытия для направленной эвтектики Ni-Al-Nb-Cr / С. Бокштейн, Э. Я. Ольшанская, И. Л. Светлов [и др.] // Авиационная промышленность. – 1980. – № 7. – С. 53–57.
2. Белоцерковский М. А. Технологии активированного газопламенного напыления антифрикционных покрытий. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 200 с.
3. Катц Н.В., Антошин Е.В., Вадивасов Д.Г. Металлизация распылением. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1966. – 199 с.