

## АДГЕЗИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ АНТИФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Al-Cu

**Е.В. АСТРАШАБ, А.Н. ГРИГОРЧИК, В.А. КУКАРЕКО, А.В. СОСНОВСКИЙ**  
**Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,**  
**г. Минск, Республика Беларусь**

*Исследована прочность сцепления композиционных покрытий «БрКМц3-1 (1,2 мм) + АК12 (1,6 мм)» и «БрКМц3-1 (1,6 мм) + АК12 (1,6 мм)», напыленных без промежуточного слоя, а также с промежуточными слоями из бронзы БрКМц3-1 и никроста Х20Н80.*

**Введение.** Газотермические композиционные покрытия на базе системы Al-Cu являются перспективной заменой используемых дорогих антифрикционных бронз [1–3]. Важным эксплуатационным параметром покрытий, часто ограничивающим их использование, является их прочность сцепления с поверхностью, на которую проводится напыление. Повышение адгезионной прочности газотермических покрытий является актуальной задачей, решение которой может обеспечиваться напылением промежуточных слоев из различных материалов стойких к окислению при напылении (Ni, Mo и т.д.). Таким образом, целью работы являлось установление влияния промежуточных слоев из различных материалов на прочность сцепления композиционных покрытий системы Al-Cu с основой.

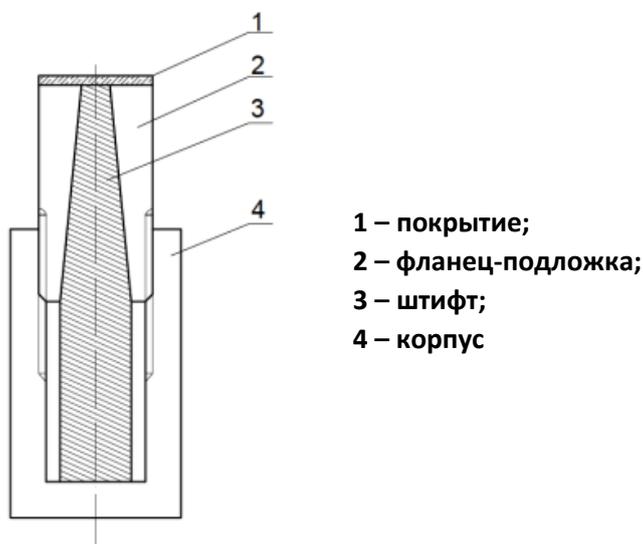
**Методики исследований.** Объектом исследований являлись антифрикционные композиционные покрытия системы Al-Cu, напыленные без промежуточного слоя, а также с промежуточным слоем из бронзы БрКМц3-1 и никроста Х20Н80. Газотермическое напыление Al-Cu покрытия проводилось методом высокоскоростной металлизации с использованием установки ГМ-4 путем одновременного распыления бронзовой проволоки БрКМц3-1 и алюминиевого сплава АК12 на штифтовую пробу из стали 35 (таблица 1). Диаметр бронзовой проволоки составлял 1,2 мм и 1,6 мм, а алюминиевой – 1,6 мм. Общая толщина напыленных покрытий составляла  $\approx 0,6$  мм.

Таблица 1. – Химический состав напыленных композиционных покрытий системы Al-Cu, масс.%

Маркировка образца	Cu	Al	Si	Mn	Fe
«БрКМц (1,2 мм)+АК12 (1,6 мм)»	54,40	42,81	2,21	0,47	0,11
«БрКМц (1,6 мм)+АК12 (1,6 мм)»	61,95	35,20	2,06	0,68	0,11

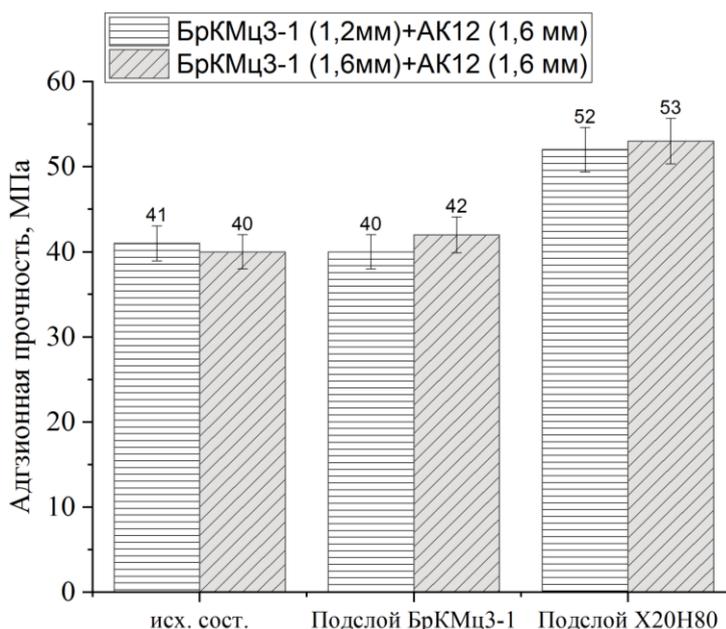
Прочность сцепления (адгезионная прочность) напыленных покрытий исследовалась с помощью штифтового метода оценки прочности сцепления, заключающегося в отрыве штифта от слоя нормально приложенной нагрузкой (рисунок 1) [4]. Отрыв

штифта с измерением усилия отрыва от покрытия проводили на гидравлической разрывной машине INSTRON Satec 300LX. Полученные значения силы, отнесенные к площади торца штифта, соответствовали величине адгезионной прочности сцепления покрытия с основой.



**Рисунок 1. – Образец для испытаний адгезионной прочности газотермических покрытий штифтовым методом**

**Результаты исследований и их обсуждение.** Результаты испытаний прочности сцепления композиционных покрытий системы Al-Cu, напыленных без промежуточного слоя и с промежуточным слоем из бронзы БрКМц3-1, а также нихрома X20H80, представлены на рисунке 2.



**Рисунок 2. – Адгезионная прочность композиционных покрытий системы Al-Cu, напыленных без промежуточного слоя, а также с промежуточным слоем из БрКМц3-1 и X20H80**

Из результатов испытаний можно видеть (рисунок 2), что адгезионная прочность композиционного покрытия «БрКМц3-1 (1,2 мм) + АК12 (1,6 мм)» и покрытия «БрКМц3-1 (1,6 мм) + АК12 (1,6 мм)» после напыления без промежуточного слоя составляет 40-41 МПа. Напыление покрытий системы Al-Cu с промежуточным слоем бронзы БрКМц3-1 не приводит к повышению их адгезионной прочности (рисунок 2). Использование нихрома Х20Н80 в качестве промежуточного слоя (рисунок 2) способствует увеличению прочности сцепления покрытий «БрКМц3-1 (1,2 мм) + АК12 (1,6 мм)» и «БрКМц3-1 (1,6 мм) + АК12 (1,6 мм)» на  $\approx 32\%$  по сравнению с покрытиями напыленными без промежуточного слоя, а также с промежуточным слоем из БрКМц3-1. Увеличение прочности сцепления обусловлено тем, что в процессе высокоскоростной металлизации промежуточного слоя Х20Н80 – расплавленные частицы нихрома практически не подвергаются окислению. Во время напыления на поверхности частиц нихрома образуется тонкая оксидная пленка, которая при столкновении с подложкой разрывается, что обеспечивает хорошее смачивание расплавленными частицами нихрома стальной подложки и обеспечивает их диффузионное взаимодействие со стальной основой в процессе формирования покрытия [5]. Таким образом, для повышения адгезионной прочности (на 32%) композиционных покрытий системы Al-Cu целесообразно проводить их напыление на промежуточный слой из нихрома Х20Н80.

**Заключение.** Исследована прочность сцепления антифрикционных композиционных покрытий «БрКМц3-1 (1,2 мм) + АК12 (1,6 мм)» и «БрКМц3-1 (1,6 мм) + АК12 (1,6 мм)», напыленных без промежуточного слоя, а также с промежуточными слоями из бронзы БрКМц3-1 или нихрома Х20Н80. Установлено, что формирование промежуточного слоя из нихрома приводит к повышению адгезионной прочности композиционных покрытий «БрКМц3-1 (1,6 мм) + АК12 (1,6 мм)», «БрКМц3-1 (1,2 мм) + АК12 (1,6 мм)» на  $\approx 32\%$  по сравнению с покрытиями без промежуточного слоя и с промежуточным слоем из БрКМц3-1.

Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ № Т23М-041 (2023-2025 г.).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Experimental Studies of Wear Resistance of Anti-Friction Coatings of Bimetal Fluid-Film Bearings / A. Rodichev, A. Babin, A. Gorin // Materials Science Forum. – 2019. – V. 946. – P. 935–940.
2. Структурно-фазовое состояние и твердость композиционных покрытий Cu–Al, полученных методом высокоскоростной металлизации / А.Н. Григорчик, В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский, А.В. Сосновский, Е.В. Астрашаб // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 1. Материаловедение / редкол.: В. Г. Залесский (гл. ред.) [и др.]. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2023. – С. 85-94.
3. Триботехнические свойства антифрикционных газотермических покрытий Cu–Al в среде жидких и пластичных смазочных материалов / А.Н. Григорчик, В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский, А.В. Сосновский, Е.В. Астрашаб // Трение и износ. – 2023. – Т. 44, № 5. – С. 400–408.
4. Обзор методов оценки прочности сцепления газотермических покрытий / А.Н. Зайцев, Ю.П. Александрова, А.Г. Ягопольский // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2021. – № 5 (734). – С. 48–59.
5. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление / под ред. В.С. Степина, Н. Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.