

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСА ПОКРЫТИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, НАНЕСЕННЫХ ГАЗОДЕТОНАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

А.А. Ситников, М.Е. Татаркин, Д.М. Скаков

*Использование для напыления композиционных порошков позволяет получать широкий спектр покрытий с различными свойствами. Для покрытий с различным процентным содержанием металлической матрицы получены модели для расчета весового износа, учитывающие окружную скорость при трении, нагрузку и состав покрытия.*

*Ключевые слова:* покрытие, весовой износ.

Нанесение покрытий дает возможность значительно повысить показатели надежности машин, продлить срок службы новых и восстановленных деталей, экономить дефицитные материалы, сократить затраты на изготовление запасных частей.

В качестве материалов для напыления используют композиционные порошки, которые позволяют получать широкий спектр покрытий с различными свойствами. К их числу относится покрытие двухэлементное, состоящее из металлической матрицы (NiCr) и карбида титана TiC, который обладает высокой температурой плавления, твердостью, высокой теплопроводностью, стойкостью в агрессивных средах и к абразивному износу.

Для оценки эксплуатационных свойств композиционного покрытия исследовали его весовой износ. Эксперименты проводили на машине трения с использованием специально изготовленных образцов представляющих собой пару «вал – втулка». Роль «втулки» выполняла колодка, а «вала» – диск.

Колодку, изготовленную из стали 40, притирали по диску до формирования пятна контакта по всей площади колодки и наносили покрытие толщиной 0,2 мм. Для снижения шероховатости рабочие поверхности подвергали предварительной алмазно-абразивной обработке до шероховатости  $R_a = 1,25$  мкм.

Перед каждым циклом испытаний выполнялась промывка, сушка образцов для удаления пыли и продуктов износа. Для проведения испытаний колодка устанавливалась в корпус, диск устанавливался на оправку. Втулка приводилась во вращательное движение вокруг собственной оси, а колодке передавалось давление, соответствующее программе испытаний.

Испытания проводили при следующих условиях:

- сила прижима колодки  $P$ , Н – 190, 380, 570, 760, 950;
- окружная скорость  $V$ , м/с - 0,2, 0,5, 1;
- контрольные точки измерения весового износа  $L$ , м – 400, 800, 1200, 1600, 2000, 2400, 2800, 3200.

В процессе экспериментальных исследований весового износа испытывали покрытия с различным процентным содержанием металлической матрицы.

Анализ результатов исследований показал, что износ образцов с покрытием по сравнению с образцами из закаленной стали (сталь 40X) в 8-10 раз меньше.

С увеличением окружной скорости и силы прижима колодки к контртелу весовой износ непрерывно растет.

Увеличение процентного содержания металлической матрицы в композиционном материале, так же приводит к росту весового износа (рисунок 1).

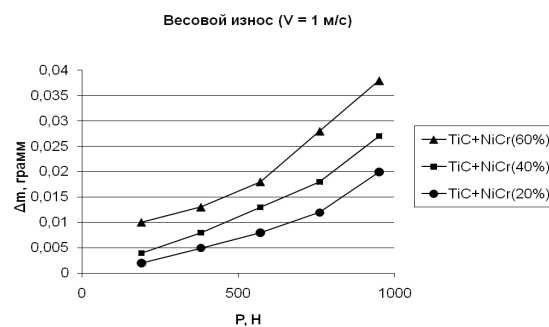


Рисунок 1 – Весовой износ образцов при скорости трения  $V = 1$  м/с

Так, например, при изменении содержания NiCr от 20% до 60% весовой износ при нагрузке в 950 Н увеличился примерно в 2 раза. Процесс износа характеризуется быст-

рым ростом в начале пути трения и дальнейшей его стабилизацией (рисунок 2).

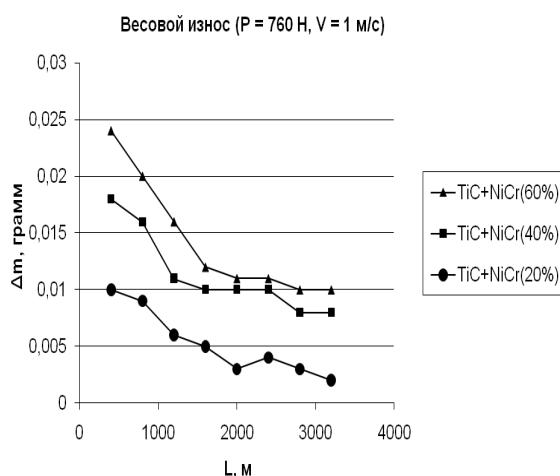


Рисунок 2 - Весовой износ образцов в зависимости от длины пути (скорость трения  $V = 1$  м/с; нагрузка  $P = 760$  Н)

Это не противоречит известным данным по износостойкости различных материалов.

Для построения модели весового износа покрытий на основе полученных экспериментальных данных использовали регрессионную зависимость вида

$$y = f(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_k). \quad (1)$$

В рассматриваемом случае она имеет вид для соответствующих параметров эксперимента:

$$\Delta m = f(V, P, \%) \quad (2)$$

где:  $V$  – окружная скорость, м/с;

$P$  – нагрузка, Н;

$\%$  – химический состав покрытия (процентное содержание NiCr).

Определяли независимость факторов и оценивалось их влияния на весовой износ  $\Delta m$  с помощью корреляционного анализа, а затем с использованием метода наименьших квадратов строились регрессионные модели. Для построения регрессионной модели (зависимость (2)) проверялось мультипликативное влияние факторов, которое наиболее часто используется при построении зависимостей такого типа.

$$\Delta m = f(\Phi_1) \cdot f(\Phi_2) \cdot f(\Phi_3) = f'(V) \cdot f'(P) \cdot f'(\%) \quad (3)$$

Строили точечные диаграммы зависимостей  $\Delta m=f(V)$ ,  $\Delta m=f(P)$ ,  $\Delta m=f(\%)$  по экспериментальным данным и аппроксимировали их с помощью линейной и степенной функциями (рисунки 3...5).

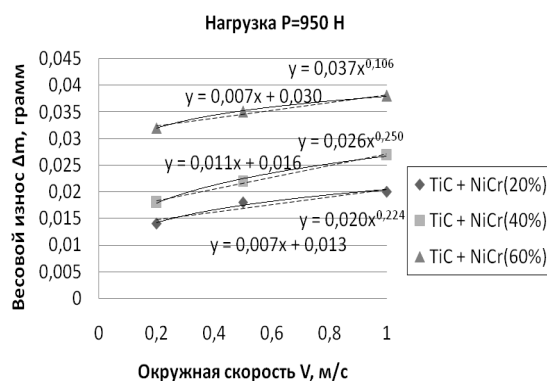


Рисунок 3 - Взаимосвязь весового износа  $\Delta m$  и скорости трения  $V$

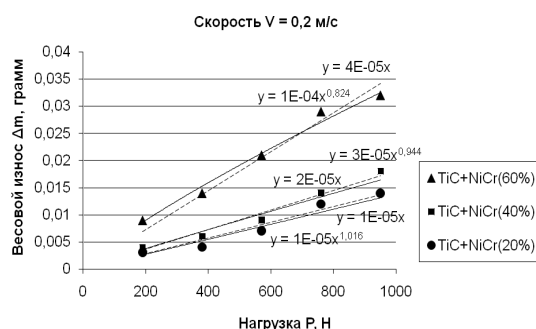


Рисунок 4 - Зависимость весового износа  $\Delta m$  от нагрузки  $P$

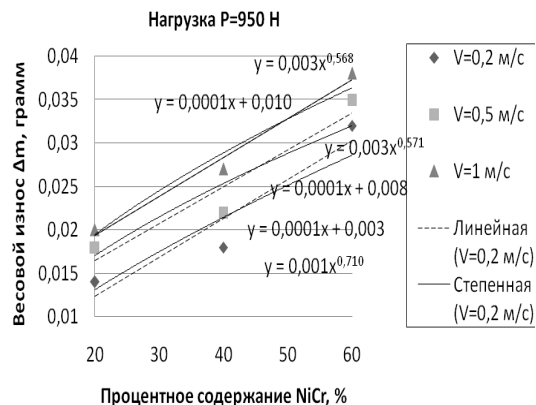


Рисунок 5 - Зависимость весового износа  $\Delta m$  от состава покрытия (% содержания NiCr)

Характер зависимости  $\Delta m=f(V)$  с большей вероятностью будет степенной, так как при нулевом значении этого параметра износ покрытия будет отсутствовать ( $\Delta m=0$ ). Функция  $\Delta m=f(P)$  может быть линейного вида  $\Delta m=k \cdot P$  (так как при  $P=0$ ,  $\Delta m=0$ ) или степенного. Также и характер зависимости  $\Delta m=f(\%)$  либо линейный, либо степенной. Был проведен поисковый расчетный эксперимент по подбору вида зависимости с использованием

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСА ПОКРЫТИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, НАНЕСЕННЫХ ГАЗОДЕТОНАЦИОННЫМ СПОСОБОМ**

Microsoft Excel 2007. Полученные результаты приведены в таблице.

Наименьшее значение суммы невязок имеет четвертый вариант зависимости. Однако величины сумм невязок у всех вариантов (см. таблицу) отличаются незначительно. Максимальное отклонение составляет 7,85 %. Для упрощения практического применения данной регрессионной зависимости, можно принять степенную форму (вариант 1). В этом случае средняя относительная погрешность расчетных значений  $\Delta m$  составляет 11,59 %.

*Таблица  
Результаты поискового расчетного эксперимента*

N	$\Delta m=f(V,P, \%)$	Коэффициенты	Величина суммы невязок S
1	$\Delta m = a_0 \cdot V^{a_1} \cdot P^{a_2} \cdot \%^{a_3}$	$a_0=1,37 \cdot 10^{-6}$ $a_1=0,09$ $a_2=1,03$ $a_3=0,77$	$3,3005 \cdot 10^{-4}$
2	$\Delta m = a_0 \cdot V^{a_1} \cdot P^{a_2} \cdot (a_3 + a_4 \%)$	$a_0=3,9105 \cdot 10^{-6}$ $a_1=0,0422$ $a_2=1,0946$ $a_3=0,4202$	$3,1898 \cdot 10^{-4}$

		$a_4=0,0761$	
3	$\Delta m = a_0 \cdot V^{a_1} \cdot (a_2 + a_3 P) \cdot \%^{a_4}$	$a_0=3,0418 \cdot 10^{-6}$ $a_1=0,0671$ $a_2=0,1001$ $a_3=0,3634$ $a_4=0,8523$	$3,3475 \cdot 10^{-4}$
4	$\Delta m = a_0 \cdot V^{a_1} \cdot (a_2 + a_3 P) \cdot (a_4 + a_5 \%)$	$a_0=5,4719 \cdot 10^{-6}$ $a_1=0,0705$ $a_2=0,1001$ $a_3=0,3649$ $a_4=0,8521$ $a_5=0,3067$	$3,0845 \cdot 10^{-4}$

Полученные модели могут быть использованы при проектировании технологических процессов изготовления и восстановления деталей с композиционными покрытиями. Регрессионные зависимости следует применять при назначении размеров и допусков на детали, в расчетах межоперационных размеров и припусков, в экономических расчетах и для прогнозирования долговечности.

**Ситников А.А., д.т.н., Татаркин М.Е., д.т.н., тел. (3852) 36-85-08, Скаков Д.М.**