

действующей среды на внешнюю поверхность пленки; A - константа интегрирования.

Сравнение зависимостей (1) и (2) показывает, что между интенсивностью изнашивания и скоростью роста толщины пленки существует прямая связь. Так, у сплава ПГ-ХН80СР2, наиболее мелкодисперсного и однородного по структуре, рост толщины пленки происходит медленнее с повышением температуры из-за ее сплошности, в результате чего затруднена диффузия ионов раствора и компонентов сплава. Как следствие этого, для данного сплава с увеличением температуры наблюдалась меньшая интенсивность изнашивания по сравнению с более гетерогенными сплавами (ВСНГН, ПГ-ХН80СР3).

Резюме. Установлено, что повышение температуры химически активной среды-раствора NaOH значительно увеличивает интенсивность изнашивания в ней сплавов, причем эта зависимость параболическая. Решающее влияние на износ сплавов при этом оказывают электрохимические процессы, резко активизирующиеся с повышением температуры.

Л и т е р а т у р а

1. Эванс Ю.Р. Окисление металлов. М., 1962.

УДК 669:53

А.И. Вейник, чл.-кор. АН БССР,
В.К. Лазнев, В.Г. Ходосевич, канд.техн.наук,
В.С. Ивашко

ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ИЗНОСОСТОЙКИХ СПЛАВОВ

Для расчета и оптимизации режимов плазменного напыления и последующего оплавления необходимо знать термофизические свойства, в том числе электросопротивление (ЭС), теплоемкость и теплопроводность (ТП). Статья посвящена исследованиям, целью которых являлось определение термофизических характеристик износостойких самофлюсующихся сплавов в диапазоне температур 293... 1223⁰ К, а также разработке нетрудоемкой и достаточно точной методики расчета этих характеристик по ограниченному числу экспериментально определяемых параметров.

Определим связь между термофизическими коэффициентами металлов и сплавов в виде соотношения

$$\frac{\lambda \rho}{T} = R_{\mu} C_{\mu}, \quad (1)$$

где λ - удельная ТП Втм / М·К; ρ - удельное ЭС Ом·м; T - абсолютная температура, °К; C_{μ} - мольная теплоемкость Дж / кг·моль К; R_{μ} - основной расчетный коэффициент кг·моль / Ф·К, величина $1/R_{\mu}$ обладает свойством аддитивности и ее можно определить из соотношения

$$\frac{1}{R_{\mu}} = \mu_{\text{спл}} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{\mu_i R_{\mu_i}}, \quad (2)$$

где R_{μ_i} - основной расчетный коэффициент для i -го компонента кг·атом / Ф·К; $\mu_{\text{спл}}$ - кажущийся молекулярный вес сплава; q_i , λ_i , ρ_i , C_{μ_i} - соответственно массовая доля в сплаве, ТП, ЭС и атомная теплоемкость чистого i -го компонента. Теплоемкость C_{μ} сплава подсчитывается по закону аддитивности Неймана - Коппа.

Таким образом, для расчета теплоемкости и ТП экспериментально надо определить только электросопротивление ρ , остальные величины рассчитываются по справочным данным. Для проверки методики ТП сплава ПГ-ХН80СР4 устанавливалась экспериментально по одному из наиболее точных методов - методу Егера - Диссельхорста. Как ТП, так и ЭС сплавов в диапазоне температур 350...1223°К определяли в стационарных тепловых условиях в вакууме порядка $6,6 \cdot 10^{-3}$ Па.

После механической обработки (шлифования) литых заготовок получали образцы в форме стержней квадратного сечения 5 x 5 и длиной 90...120 мм. Кроме того, из сплава ПГ-ХН80СР4 был изготовлен образец методом плазменного напыления (образец 2). ЭС измерялось по обычной четырехконтактной потенциометрической схеме. Температура определялась хромель-алюм-железными термодарами с диаметром проводов 0,2 мм.

Установка для определения электросопротивления была собрана на базе высокотемпературной вакуумной электропечи СШВЛ 0,6·2/25 с автоматическим поддержанием заданной температуры. Рабочий ток через образцы обеспечивала аккумуляторная батарея емкостью $9 \cdot 10^6$ Ас с непрерывной подзарядкой от выпрямителя ВУ 42/70Б. Сила тока определялась по падению напряжения на эталонном сопротивлении P322 (0,001 Ом).

Таблица 1. Удельное электросопротивление $\rho \cdot 10^6$, Ом·м (в числителе дроби - при нагреве, в знаменателе - при остывании)

Образец сплава	Марка сплава	Температура, °К					
		293	373	573	773	973	1223
1	ПГ-ХН80СР4	1,114	1,143	1,198	1,266	1,264	1,164
		0,947	0,999	1,094	1,160	1,167	
2	ПГ-ХН80СР4	0,815	0,877	1,017	1,112	1,114	1,180
		0,861	0,898	0,993	1,070	1,113	
3	СНГН	1,137	1,224	1,338	1,437	1,516	1,638
		1,166	1,250	1,440	1,551	1,615	
4	ИПД-30	0,782	0,802	0,841	0,855	0,873	0,989
		0,644	0,673	0,730	0,771	0,870	
5	ЗВ-16К	1,068	1,108	1,168	1,223	1,265	1,298
		1,036	1,061	1,125	1,180	1,231	
6	сплав на основе железа	1,195	1,230	1,303	1,354	1,387	1,410
		1,189	1,200	1,231	1,293	1,375	

Падение напряжения на рабочем участке образца, на эталонном сопротивлении, а также термоэлектродвижущая сила, создаваемая термопарами, измерялись на двух высокоточных потенциометрах Р348. Измерения для всех температур были проведены при двух взаимно противоположных направлениях тока. Результаты экспериментального определения ЭС приведены в табл. 1.

Установка для определения ТП по методу Егера - Диссельхорста собрана на базе той же вакуумной электропечи, что и для измерения ЭС. Образец был изготовлен шлифованием литой заготовки с последующей ручной полировкой и в готовом виде имел форму цилиндрического стержня диаметром 6 мм и длиной 95 мм. Края образца на длине 15 мм фиксировались медными коническими сухариками в медных болванках - холодильниках. Распределение температуры по длине образца определялось пятью хромельбальумелевыми термопарами. Корольки термопар зачеканивались медными штифтами в радиальные отверстия, полученные методом электро-эрозионной обработки. Глубина отверстий составляла 2 мм, диаметр 0,6 мм. Применение электро-эрозионной обработки было продиктовано высокой твердостью исследуемых материалов.

Для выравнивания температуры окружающей среды образец помещали в толстостенный охранный цилиндр из малоуглеродистой стали. Пространство между охранным цилиндром и образцом заполняли крошкой из толченой слюды. Кроме того, для обеспечения равенства температур концевых холодильников на

Таблица 2. Удельная теплопроводность λ , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ (в числителе дроби - при нагреве, в знаменателе - при остывании)

Образец сплава	Марка сплава	Температура, °К						
		293	373	573	773	973	1223	
1 (расчет)	ПГ-ХН80СР4	$\frac{7,9}{8,3}$	$\frac{9,7}{11,1}$	$\frac{14,6}{16,0}$	$\frac{21,3}{23,2}$	$\frac{26,4}{28,6}$	34,7	
		$\frac{11,6}{12,4}$	$\frac{13,0}{14,1}$	$\frac{17,3}{20,1}$	$\frac{23,5}{26,3}$	$\frac{29,2}{32,4}$		28,1
2		$\frac{10,9}{10,3}$	$\frac{12,7}{12,4}$	$\frac{17,3}{17,7}$	$\frac{23,9}{24,8}$	$\frac{28,4}{29,4}$	32,88	
		3	$\frac{7,9}{7,7}$	$\frac{9,2}{9,0}$	$\frac{13,2}{12,3}$	$\frac{18,8}{17,4}$		$\frac{21,9}{20,6}$
4			ИПД-30	$\frac{11,0}{13,3}$	$\frac{13,3}{15,9}$	$\frac{20,1}{23,1}$	$\frac{29,0}{32,2}$	$\frac{35,1}{35,2}$
		5		ЗВ-16К	$\frac{7,8}{8,1}$	$\frac{9,9}{10,3}$	$\frac{14,6}{15,1}$	$\frac{18,6}{19,3}$
6	сплав на основе железа				$\frac{8,1}{8,2}$	$\frac{11,1}{11,3}$	$\frac{16,4}{17,4}$	$\frac{21,9}{22,9}$

Верхнем из них был смонтирован дополнительный нагреватель из вольфрамовой проволоки. Температура окружающей среды (стенок охранного цилиндра) определялась в четырех точках с помощью термопар. Для отыскания оптимальной величины температурного перепада силу тока регулировали дискретно с помощью набора балластных сопротивлений из константановой проволоки в пределах 19,5 - 34,5А.

Результаты экспериментального определения ТП приведены в табл. 2 под номером 1. Под другими номерами в таблице приведены результаты расчета ТП по изложенной методике. Максимальная относительная погрешность экспериментального определения ЭС менее 1%; теплопроводности $\leq 5\%$ в диапазоне температур 350...673°К, $\leq 7,5\%$ в диапазоне 673...973°К; $\leq 10\%$ в диапазоне 973...1223°К.

Все образцы в разной мере обладают гистерезисом температурной зависимости ЭС и ТП. Наибольшее необратимое изменение достигается в результате первого высокотемпературного цикла нагрев - охлаждение. При последующих циклах значения ЭС и ТП изменяются одновременно с температурой при первом охлаждении.

По характеру температурной зависимости ЭС исследованные сплавы можно разделить на две группы: сплавы с типично ме-

таллической зависимостью (сплавы 2, 3, 4, 5, 6) и сплавы с нетипичной зависимостью. Температурная зависимость ЭС у первой группы имеет монотонный восходящий характер, у второй – экстремальный с максимумом вблизи 770...880⁰К. Определяющим здесь, очевидно, является не химический состав, а структура. Так, у образцов одинакового состава (1 – литой, 2 – напыленный) зависимость электросопротивления отличается не менее чем по трем параметрам – по абсолютной величине, по типу температурной кривой и по закону изменения ЭС после нагрева. Уменьшение различия в ЭС при комнатной температуре образцов после высокотемпературного отжига указывает на выравнивание их структур. Интересно отметить большое различие ЭС при высоких температурах сплавов ПГ-ХН80СР4 и СНГН близкого химического состава. Причину, очевидно, следует искать в различных методах получения исходных материалов – порошков, из которых в дальнейшем выплавливались образцы.

Резюме. Предложен и опробован метод, позволяющий с достаточной точностью определять ТП износостойких самофлюсующихся сплавов с целью расчета и оптимизации плазменного напыления и оплавления. Проведены высокотемпературные экспериментальные исследования ЭС и ТП, а также проделаны расчеты ТП по предлагаемой методике.

УДК 621.923:621.922.34

В.Е. Маджуго, Г.М. Яковлев, докт.техн.наук

АЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Некоторые детали тракторов отличаются невысоким уровнем надежности и долговечности. Лабораторией технологических методов упрочнения деталей МТЗ проводятся работы по повышению износостойкости деталей тракторов, оборудования и оснастки методом плазменного напыления на их поверхности износостойких самофлюсующихся порошковых сплавов с последующим их оплавлением.

Для упрочнения деталей типа тел вращения был изготовлен станок на базе круглошлифовального станка модели ЗБ151, что позволило избежать дискретности оборотов шпинделя и продольной подачи суппорта, налипания порошка на направляющие станины и добиться автоматического возвратно-поступательного