ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ

Սեխանիկա 56, №4, 2003 Механика

УДК 539.3

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИТОВ

Казарян А.Н., Касьян В.Л., Петросян А.С.

Ա.Ն. Ղազարյան, Վ.Լ. Կասյան, Հ.Ս. Պետրոսյան

Հակաշփական փոշեկոմպոզիտների ֆիզիկա-մեխանիկական և շահագործողական հատկությունները

Բերվում են <Fe-C>, <Fe-Mo>, <Fe-Mo-Se>, <Fe-Cu-Mo-Se> փոշնկոմպոզիտների համալիր հատկությունների հետազոտման արդյունքները: Ցույց է տրված մեքենաների և մեխանիզմների բարձր ջերմաստիճանային պայմաններում աշխատող շփման հանգույցներում այդ նյութերի օգտագործման նպատակահարմարությունը.

A.N. Kazaryan, V.L. Kasyan, H.S. Petrosyan

Physico-mechanical and operating characteristics of antifriction powder materials

Представлены результаты исследования комплекса свойств порошковых композитов <Fe-C>, <Fe-Mo>, <Fe-Mo-Se>, <Fe-Cu-Mo-Se>. Показана целесообразность применения этих материалов в узлах трения механизмов и машин, работающих при повышенных температурах.

Развитие современной техники непосредственно связано с созданием новых материалов, способных работать при низких и высоких температурах, больших нагрузках и скоростях, в агрессивных средах и вакууме, а также в условиях граничного и сухого трения. Традиционные материалы, получаемые на основе черных и цветных металлов, во многих случаях не отвечают этим требованиям.

В этой связи, практический интерес представляет получение легированных порошковых сталей и сплавов для деталей машин и элементов конструкций, работающих в условиях больших нагрузок и интенсивного износа, а также для режущего и штампового инструментов, изделий электротехнического назначения. В организации такого производства технология порошковой металлургии, безусловно, имеет определенные преимущества. На фиг.1 представлена типовая технология изготовления изделий из железографита, включающая: приготовление шихты, прессование, спекание, пропитку маслом и калибрование. В ряде случаев получаемые изделия подвергают термической или химико-термической обработке, в частности, сульфидированию или

оксидированию с целью повышения их эксплуатационных характеристик. В последнем случае графит (1-4%) частично растворяется в железе (матрице), а следовательно, упрочняет его, а оставшаяся часть выполняет роль твердой смазки. Спекание осуществляют при 1000-1200 °С в течение 1,5 — 3,0 ч.

В табл. 1 приведены свойства железографитовых материалов, нашедших широкое применение в общемашиностроительном производстве.

Характерным свойством железографитовых материалов является структурная пористость, посредством которой осуществляется процесс самосмазывания. Прочностные же свойства этих материалов вследствие пористости ($\theta = 15...25\%$) существенно снижаются, особенно прочность ($\sigma_в$), твердость (НВ) и ударная вязкость (КС), что неадекватно эффекту самосмазывания.

Фиг 1. Технологическая схема получения железомедьграфитовых изделий [1]

В конечном счете работоспособность узла трения определяется не коэффициентом трения (f) и износостойкостью (J), а несущей способностью (PV) антифрикционного материала.

К первым разработкам, отвечающим требованиям адгезионно-деформационной теории трения износа, относятся антифрикционные

материалы на основе Fe-Mo-S и Fe-Mo-Se [4]. В системе <Fe-Mo> железо и молибден образуют твердые растворы Fe[Mo] и интерметаллидные соединения, фазы σ-(FeMo), λ-(Fe_2Mo), R-(Fe_5Mo_3), μ - (Fe_3Mo_2)). Максимальная растворимость Mo в γ-Fe при 1140°C составляет 1,69%, а α-Fe ~ 2,26% ат. (~ 3,8% мас); при комнатной температуре ~ 3,15 % мас. Границы σ-фазы точно не установлены. При 1235°C она содержит 55% ат. Mo (~ 67 % мас. Mo) и имеет тетрагональную структуру $D8_b$. При температурах < 950°C образуется λ-фаза. При 900°C в λ-фазе содержится 36,1% ат. Mo (~ 48,6 % мас. Mo). При температуре ~ 1490°C твердые растворы (ОЦК) находятся в равновесии с R-фазой, образующейся по перитектической реакции. Эвтектоидная температура R-фазы составляет 1200°C. μ-фаза образуется по перитектоидной реакции при 1370°C и имеет ромбоэдрическую структуру $D8_5$, изотипическую с Fe_7Mo_6. По данным [5] область гомогенности определяется концентрациями 39...40 % ат. Mo.

Таблица 1

Свойства антифрикционных металлокерамических материалов на основе железа [2, 3]

Марка материала	Θ, %	$\sigma_в$, *МПа*	НВ, *МПа*	f, (со смазкой)	Параметры (максимальные)		
					p, *МПа*	v, м/с	T, °C
ЖГр2	15...25	130	500...1300	0,05...0.07	3,5...5.0	5.0	100...180
ЖГр2Д2,5	15...20	270	900...1500	0.06...0,10	10,0	3.0	200
ЖГр1Цс4	15...20	200	900...1200	0,05	10,0	4,5	150
ЖГр3М15	15...20	-	1000...1800	0.04...0,10	5.0...8.0	-	250...400
Х23Н18КБ	20...25	95	50...96 (HRC)	0,30...0,20 (в воде)	30...50	1,5	600

Примечание: Ж – железо (Fe); Гр – графит (C); Д – медь (Cu); Цс – цинка сульфид (ZnS); М – молибден (Mo); Х – хром (Cr); Н – никель (Ni); К – сера (S); Б – бор (B);

Антифрикционные порошковые сплавы Fe-Mo-S(АМ-3), Fe-Mo-Se (АМ-4), Fe-Mo-Cu-Se (АМ-5) предназначены для средне- и тяжелонагруженных узлов трения.Результаты предварительных испытаний показали, что стабильные антифрикционные характеристики можно получить при содержаниях компонентов (3...5%)Mo, (1,0...1,25)%S, (1,5...3,5)%Cu, (0,5...2,5)%Se.

В табл. 2 приведены некоторые свойства ферромолибденовых сплавов, содержащих селен [4]. Отличительной особенностью сплавов является то, что в них реализованы оба механизма упрочнения: растворный Fe[Mo],

Fe[Cu] и интерметаллидный (FeMo, Fe_2Mo). В этой связи надобность в углероде отпадает (речь идет об углеродном упрочнении, хотя для материалов, работающих в тяжелых условиях нагружения, применение углерода, например в пределах 0,4 ... 0.8 %, не исключается, т.е. сплавы <Fe-C-Mo-S>, <Fe-C-Mo-Se>).

Легирование медью не только повышает теплопроводность и ударную вязкость, но и значительно снижает износ пар трения. Как видно из табл.2, при сравнительно высокой несущей способости сплавов (40 и 50 *МПа м/с*, т.е. АМ-3 и АМ-4) коэффициент трения $f = 0{,}1$, а при трении со смазкой $f = 0{,}003$ ... 0,006, что недостаточно для многих антифрикционных материалов [4].

Таблица 2

Антифрикционные и механические свойства сплавов
(образцы беспористые, т.е. $\Theta = 0\%$; трение - сухое)

	V = 10 м/с					
Наименование материалов	p, *МПа*	*f*	$\sigma_в$, *МПа*	НВ, *МПа*	КС, кДж/м²	δ, %
АМ – 3 (Fe-Mo-S)	2,5	0,15	423	1800	400	5,5
АМ – 4 (Fe-Mo-Se)	4,0	0,1	504	2100	800	8,0
АМ – 5 (Fe-Cu-Mo-Se)	5,0	0,1	482	2000	850	8,6

С целью оценки возможности применения разработанных материалов при повышенных температурах (400...600°С), нами проведены испытания на специальной установке МФТ-18, представляющей собой машину торцевого трения с коэффициентом взаимного перекрытия пары трения, равным 1. Образцы изготовлялись в виде втулок с размерами дорожки трения Ø 28х20 мм. Контртелом служили втулки из молибдена (сортового проката). Технические характеристики установки следующие: давление среды - 1,013 *Па*, скорость вращения подвижного образца – 10 ... 6000 *об/мин*, усилие прижима образцов – 0...3500 Н, удельное давление на образец – 0...11 *МПа*. Испытания проводили в вакууме $666{,}5 \cdot 10^{-5}$ *Па* при нагрузке 5 *МПа* и температуре 150 ... 700 °С.

Некоторые результаты этих испытаний приведены в табл. 3, из которой следует, что разработанный материал Fe-Mo-Se и его модификации отличаются достаточно высокими антифрикционными свойствами, в частности, работоспособностью в условиях повышенных температур порядка 500...600°С. Эти материалы следует отнести к

третьему поколению металлокерамических материалов. Напомним, что первое поколение – порошковые материалы со структурной пористостью. Второе поколение – беспористые порошковые материалы. Третье поколение – композиционные материалы (беспористые) с интерметаллидным и дисперсным упрочнением, включая армирование волокнами.

Таблица 3

Результаты испытаний на установке МФТ – 1В

Пара трения		Скорость скольжения, v, м/с	Продолжительность испытания $\tau_и$, *мин*	Износ, *г*	
неподвижный образец	подвижный образец			неподвижный образец	подвижный образец
Fe-Mo-Se	Mo	0,25	5,0	0,37	0,646
Mo	Mo	0,25	5,0	0,01	0,001

Впервые использованы армирующие стальные волокна для упрочнения антифрикционного сплава Fe-Mo-S (АМ-3). С целью улучшения теплофизических характеристик, в состав композиций вводили медь <(Fe-Mo-S)-Cu-Fe'>. При этом, как известно, механические и антифрикционные свойства несколько возрастают [7].

Таблица 4

Основные свойства армированного сплава <(Fe-Mo-S)-Сталь'>

Свойства	Численные значения
Предел прочности на разрыв $\sigma_в$, *МПа*	465…560
Твердость (НВ), *МПа*	2300
Ударная вязкость (КСИ), *Кдж/м²*	360…420
Коэффициент трения при смазке (f)	0,006…0,016
Допустимая нагрузка (P), *МПа*	2,5…3,0

Известно, что втулки поршневой группы, изготовленные из БрОЦ 10-2, работают в крайне тяжелых условиях при знакопеременных нагрузках и под действием высоких температур. Износ втулок и вкладышей нарушает динамический цикл двигателя, а следовательно, приводит к весьма нежелательным последствиям.

Работоспособность армированных втулок <(Fe-Mo-S) - Cu-Fe'>, в которых содержание волокон (Fe') колеблется в пределах 15...16 об.%, в 1,5...2,5 раза превышает базовые, изготовленные из оловянистой бронзы марки БрОЦ10-2. Это дает возможность использовать разработанный материал с целью изготовления втулок поршней и шатунов двигателей внутреннего сгорания транспортной техники. Замена бронзы на менее дефицитный по стоимости материал, а также в результате применения

передовой технологии (экструзии), сокращающей не только количество операций, но и отходы при механической обработке, дает значительный экономический эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Порошковая металлургия на пороге 3000-летия / Под ред. Н.В. Манукяна. - Ереван, Тигран Мец, 2000. – 205 с.
2. Федорченко И.М., Путина А.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. Киев: Наукова думка, 1980. 404 с.
3. Анциферов В.Н., Бобров Г.В. и др. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. М.: Металлургия, 1987. 792 с.
4. Манукян Н.В. Технология порошковой металлургии. Ереван: Айастан, 1986 234 с.
5. Kibaschewski O. Iron – Binary Phase Diagrams, New York, 1982.
6. Карапетян Г.Х., Генджян М.А., Зурначян М.К., Петросян А.С. Порошковые сплавы антифрикционного назначения на основе меди // Структура и свойства порошковых материалов: Межвузовский сборник научных трудов. – Ереван, 1988. С. 79-82.
7. Петросян А.С. Формирование структуры и свойств армированных металлокерамических материалов при экструзии / Автореф. докт. дисс. – Ереван, ГИУА, 2002. – 32 с.

Государственный инженерный университет Армении

Поступила в редакцию 23.04.2003