

Н. Л. АКОПОВ, М. Г. БАБАЯН

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОРОШКОВОГО СПЛАВА

Требования, предъявляемые к современным износостойким материалам, непрерывно возрастают. Анализ [1, 2] показывает, что повышение несущей способности материалов достигается комплексным легированием хромом, никелем, молибденом, медью и др. [3].

Для защиты трущихся поверхностей от усиленного износа и схватывания материалов в тяжелых условиях работы применяют твердые смазывающие вещества —  $MoS_2$ ,  $MoSe_2$ ,  $WS_2$  и т. д. Из них наиболее лучшими технико-экономическими показателями обладает дисульфид молибдена  $MoS_2$ , что обуславливает его широкое применение в узлах трения.

Целью данной работы являлось создание низколегированного износостойкого порошкового сплава с относительно малым коэффициентом трения, предназначенного для работы в условиях граничного и сухого трения, а также в вакууме. Порошковый сплав получали по оксидной технологии [4]. В качестве исходных материалов были использованы закись никеля  $NiO$  (ч) ТУ6-09-4125-80, оксид железа  $Fe_2O_3$  (ч.д.а.) ТУ6-09-3600-78, молибденовый ангидрид  $MoO_3$  (ч.д.а.) ТУ6-109-4471-77, оксид хрома  $Cr_2O_3$  (ч.д.а.) ГОСТ 2912-66, хлористый аммоний  $NH_4Cl$  (х.ч.) ГОСТ 3773-72. Оксиды металлов брались в количестве 2% (масс.) каждый, а содержание  $Fe_2O_3$  в шихте составляло 94%. С целью интенсификации процесса шихта предварительно брикетировалась и содержала оптимальное количество  $NH_4Cl$  — 3%.

Механизм процесса синтеза (ферритизации) характеризуется замкнутым циклом повторяющихся реакций в твердой и газообразной средах, в результате которых происходит взаимодиффузия  $Fe_2O_3 \rightleftharpoons MeO$  с последующим восстановлением кислородного потенциала полученного сложного оксида  $Ni_x Mo_y Cr_z \cdot Fe_{3-(x+y+z)} \cdot O_4$ . Рентгеноструктурным и магнитными анализами не выявлены исходные оксиды в свободном состоянии, и подтверждено полное протекание процесса синтеза. Оптимальная температура ферритизации составляла  $1100^\circ C$ , общее время — 5 ч.

Полученный по оптимальным режимам сложный оксид подвергался комбинированному восстановлению водородом и графитом ( $T_{\text{в}} = 1150^\circ C$ ,  $\tau = 2,5$  ч). Исследованы механизм и кинетика восстановления, которые можно представить как комплексные соединения твердых растворов  $Me'Fe_2O_4)_x (Me''Fe_2O_4)_{1-x}$ . При этом твердый раствор восстанавливает-

ся без превращения, т. е. плавно в одну стадию и процесс является автокаталитическим.

Равномерность распределения элементов *Cr*, *Ni*, *Mo* в железе определяли на микроспектральном анализаторе *IXA-5* (рис. 1). Полученный порошок отличается равномерным распределением структурных составляющих.

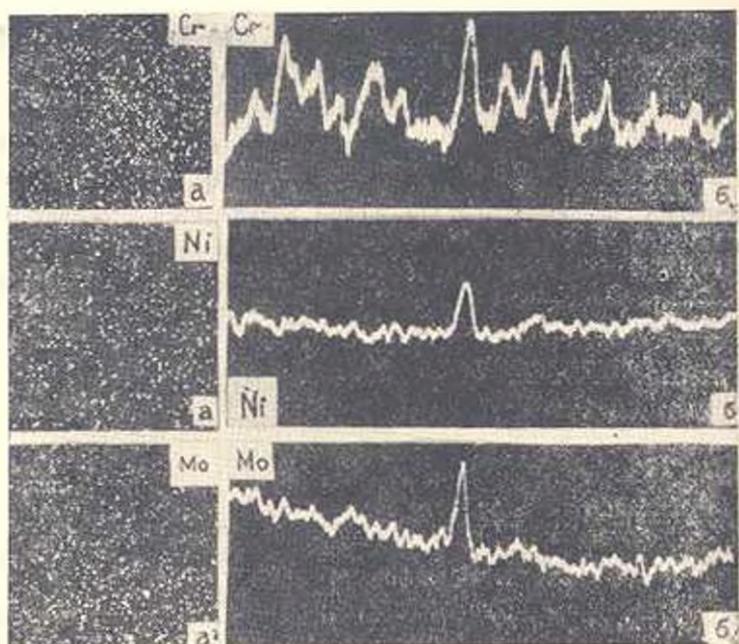


Рис. 1. Распределение легирующих элементов: а) в глубине образца; б) на поверхности (профильные линии)

Технологические свойства нового материала — гранулометрический состав, насыпная плотность ( $2,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ), текучесть (32 с/0,05 кг), масса утряски ( $2,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ) легированного восстановленного порошка соответствуют требованиям стандарта на железные порошки. Содержание нерастворимого остатка — 0,28%, кислорода — 0,36%. Уплотняемость при  $P = 600 - 800 \text{ МПа}$  составляет  $(6,65 - 6,83) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , а нижний предел формустойкости —  $(4,7 - 5,55) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Легированный порошок науглероживали по технологии, описанной в [5]. В результате был получен стальной легированный порошок с содержанием углерода (0,48—0,95) %.

Полученные стальные порошки условно обозначены ПС50Х2Н2М2 (ПС1) и ПС80Х2Н2М2 (ПС2) и содержат соответственно 0,5 и 0,8% углерода. Для их компактирования была выбрана технология получения материалов горячим выдавливанием (экструзией), обеспечивающая получение изделий с максимальной плотностью (практически беспористых) и комплексом высоких физико-механических свойств. Экструдирование осуществлялось при следующих оптимальных режимах:

$T_c = 1050-1100^\circ\text{C}$ , а степень обжатия  $\lambda = 4$ . Предел прочности экструдированных материалов составлял 900—1100 МПа при растяжении и (1200—1500) МПа при изгибе, ударная вязкость — (0,27—0,39) МДж/м<sup>2</sup>, твердость — (210—230) НВ, относительные удлинение и сужение соответственно (13,5—15,5)% и (18—20)%.

Для снижения коэффициента трения разработанных износостойких материалов вводилась твердая смазка — дисульфид молибдена. Принятая технология (экструзия) позволяет вводить  $\text{MoS}_2$  непосредственно в шихту и минимизировать процесс спекания, при котором происходит термическая диссоциация  $\text{MoS}_2 \rightarrow \text{Mo} + \text{S}$ .

Лабораторные испытания проводились на испытательных машинах СМЦ-2, УСИН-2 и на установке УИИ-1В. Испытанию подвергались термообработанные образцы твердостью HRC 55—58. Практические значения нормальных давлений при трении материалов определялись после приработки при постоянных значениях скорости скольжения и нагрузках. Математически спланированным экспериментом выбран интервал содержания углерода (0,4—0,8)% и твердой смазки ( $\text{MoS}_2$ ) — (3—6)%.

Таблица 1

Влияние углерода и твердой смазки на коэффициент трения и износ при граничном трении ( $P=5 \text{ МПа}$ ,  $V=1 \text{ м/с}$ ) и сухом трении ( $P=1,5 \text{ МПа}$ ,  $V=1 \text{ м/с}$ )

Содержание $\text{C}$ , $\text{MoS}_2$ , % (масс.)	Вид трения			
	граничное		сухое	
	Коэффициент трения	Износ, $10^{-4} \text{ м}^3$	Коэффициент трения	Износ, $10^{-4} \text{ м}^3$
0,4, 4	0,0052	0,45	0,44	32
0,5, 4	0,0062	0,44	0,35	30
0,6, 4	0,0068	0,4	0,33	26
0,7, 4	0,008	0,37	0,32	22
0,8, 4	0,0055	0,35	0,34	22
0,5, 3	0,0063	0,45		
0,5, 4	0,0062	0,45		
0,5, 5	0,0062	0,5		
0,5, 6	0,0061	0,64		
0,8, 3			0,39	25
0,8, 4			0,33—0,34	22
0,8, 5			0,33—0,34	20
0,8, 6			0,36	23

Для нахождения состава материалов, успешно работающих в режимах граничного трения и трения без смазки, исследовалось влияние оптимальных количеств углерода (при усредненном содержании  $\text{MoS}_2 = 4\%$ ) на коэффициент трения и износ. Затем, основываясь на по-

лученных результатах, изучалось влияние  $MoS_2$  на коэффициент трения и износ (табл. 1).

Как видно из табл. 1, оптимальными составами являются: при граничном трении  $C = 0,5\%$ ,  $MoS_2 = 3\%$ ; при сухом трении  $C = 0,8\%$ ,  $MoS_2 = 5\%$ .

Интервалу нормального режима работы при граничном трении материала  $ПС1MoS_2,3$  и скорости скольжения  $1 \text{ м/с}$  (рис. 2) соответствует диапазон нагрузок  $5-17,5 \text{ МПа}$ . В этом интервале наблюдается снижение коэффициента трения и при  $P = (12,5-17,5) \text{ МПа}$  его стабилизация. Интенсификация износа совпадает с повышением коэффициента трения, что можно объяснить ростом температуры в зоне трения при увеличении нагрузки от  $17,5$  до  $22,5 \text{ МПа}$ .

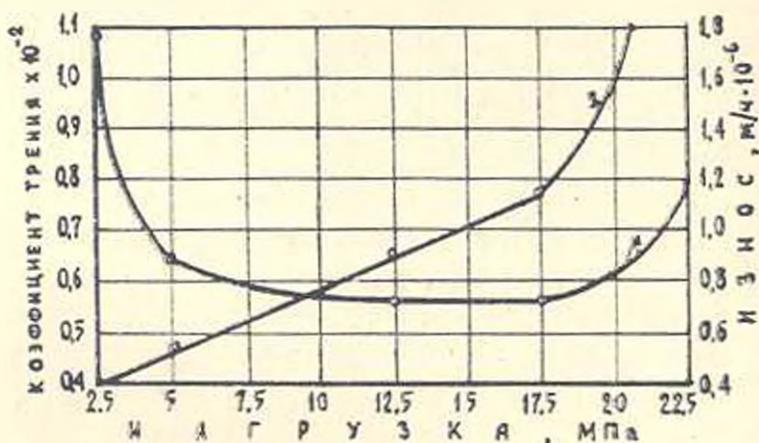


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения и износа в условиях граничного трения от нагрузки.

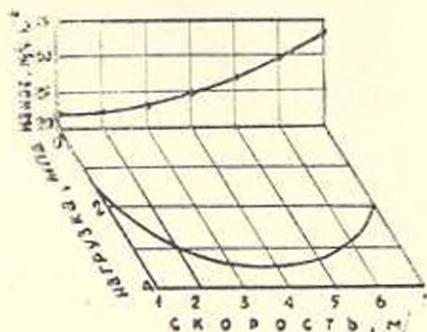


Рис. 3. Значения  $PV$  в условиях сухого трения.

Для материала  $ПС2 MoS_2,5$  интервал произведения нагрузки на скорость ( $PV$ ) составляет  $(2-18) \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$  (рис. 3). Видно, что с увеличением скорости до  $6 \text{ м/с}$  возрастают и значения  $PV$ . При скорости скольжения  $2-5 \text{ м/с}$  —  $PV = 6-15 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$ , что соответствует оптимальным значениям. Коэффициент трения в этом случае составляет  $0,23-0,32$ .

Испытания на трение и износ в условиях сухого трения дали возможность определить работоспособность материала  $PC2 MoS_2$  в вакууме: суммарный износ (кольца и индентора) —  $(18-20 \cdot 10^{-8} \text{ кг/км})$  пути при нормальной нагрузке 25 Н, а коэффициент трения — 0,2—0,25. Уменьшение коэффициента трения материала в вакууме по сравнению с режимами сухого трения можно объяснить присутствием на трущихся поверхностях вторичных структур, образующихся за счет твердой смазки  $MoS_2$ .

По результатам исследования разработан порошковый железо-хромийхельмолибденовый сплав, полученный методом синтеза оксидов, на основе которого разработаны материалы  $PC1 MoS_2,3$  и  $PC2 MoS_2,5$ , обладающие повышенной износостойкостью и относительно низким коэффициентом трения. Разработанные сплавы могут быть использованы в узлах трения механизмов в вакууме, а также в трущихся узлах деталей широкого профиля.

Ն. Ը. ԱՎԳՈՎ. Մ. Գ. ԲԱՅԱՆՆ

ՄԱՇԻՆԱՅՈՒՆ ՓՈՇԵՂԱՄԱՁՈՒՂԱՊԵՐԻ ԻՏԱՅՄԱՆ  
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆ ԵՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Համաստմանաիրման արդյունքների մշակվել է Լրիաթարրոմնիկնիմոյիր-դննային փոշեհամաձուլվածք. որը ստացվել է օքսիդների սինթեզման և վերահանգնման մեթոդով: Դրա հիման վրա մշակվել են  $PC1 MoS_2,3$  և  $PC2 MoS_2,5$  նյութերը, որանք օժտված են ազելի բարձր մաշակայունութլամբ և համեմատարար ցածր շփման գործակցով:

ЛИТЕРАТУРА

1. Федорченко И. М., Пузина Л. И. Комозиционные спеченные антифрикционные материалы.— Киев: Наукова думка, 1980 — 404 с.
2. Радомицкий И. Д., Холодный И. П. Спеченные легированные конструкционные стали.— Порошковая металлургия, 1975, № 6, с. 59—71.
3. Камиди Тэруро. Износостойкие стали.— Токутико Spec. Steel, 1964, 33, № 6, с. 16—19.
4. Исследование процесса синтеза сложных оксидов / И. В. Манукян, А. Е. Саркисян, С. А. Мнацаканян и др.— 1-й Всесоюзный научный съезд конф. по металл. мат. и изд., Ереван, 1973, с. 206—210.
5. Исследования и разработка биметаллического материала экструзией / И. Д. Радомицкий, А. Л. Кемурджян, И. В. Манукян и др.— Порошковая металлургия, 1983, № 7, с. 47—50.