

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ФАЗЫ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бирюков В.П.¹, Принц А.Н.¹, Вараксин А.В.²

¹*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва;*

²*Институт металлургии Уральского отделения РАН, Екатеринбург*

Ключевые слова: микротвёрдость, момент трения, интенсивность изнашивания.

Аннотация. В работе приведены результаты металлографии и испытаний на трение и износ порошковых композиционных материалов, содержащих никель, бор, кремний, железо с добавками микро и нано карбидов металлов. Показано, что износостойкость полученных новых композиционных материалов выше сплавов, выпускаемых в серийном производстве.

INFLUENCE OF THE CONTENT OF THE HARDENING PHASE ON THE TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF SINTERED MATERIALS

Biryukov V.P.¹, Prints A.N.¹, Varaksin A.V.²

¹*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow;*

²*Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg*

Keywords: microhardness, moment of friction, wear intensity.

Abstract. The paper presents the results of metallography and friction and wear tests of powder composite materials containing nickel, boron, silicon, iron with additives of micro and nano metal carbides. It is shown that the wear resistance of the new composite materials obtained is higher than alloys produced in mass production.

Введение. Получение заготовок и готовых деталей из порошковых материалов в последние десятилетия достигло промышленных масштабов. Однако отработка технологических процессов получения спеченных композиционных материалов приобретает все большие масштабы. Размеры порошков кобальта, хрома, молибдена и серебра составляли около 55, 72, 75 и 60 мкм соответственно [1]. Порошок, кобальта легированный 21 мас.% Cr, был спечен в вакуумной печи и измельчен с помощью высокоэнергетической мельницы до среднего размера 45 мкм. Затем порошки смешивали и измельчали с использованием высокоэнергетической шаровой мельницы в течение 4,5 ч. Смешанные порошки помещали в графитовую форму и спекали в печи горячего прессования при температуре 1150°C. Давление уплотнения 30 МПа поддерживали в течение 30 мин. Испытания проводили с помощью высокотемпературного триботестера по схеме "шар (Si₃N₄, диаметром 6 мм)-диск (образец из композиционного материала)". Температуры испытаний составляли 22, 200, 400, 600, 800 и 1000°C. Нормальная нагрузка и скорость скольжения составляли 10 Н и 0,19 м/с соответственно. Время испытания составляло 20 мин, а радиус скольжения 5 мм. Удельные скорости износа образцов уменьшаются с добавлением Mo и Ag. При температуре выше 600 °C,

образец Co-Cr-8 %Mo показывает более низкий коэффициент трения, чем у образца Co-Cr из-за смазывающего действия оксидов металлов. Наилучшие триботехнические показатели получены у образца Co-Cr-8 %Mo-9%Ag.

Проведены исследования композиционных материалов на основе железа [2], армированных частицами TiC. Образцы были получены путем механического легирования и вакуумным горячим прессованием с использованием порошков титана (99,9%, 75 мкм), графита (>99,9%, 10 мкм) и серого чугуна (>99,5%, 25мкм) в качестве исходных материалов. Композит с содержанием TiC 40% (TiC40/Fe) обладал наилучшими комплексными характеристиками в сравнении с остальными композитами TiC/Fe. Его относительная плотность и твердость составляли 94% и 34 HRC (без термической обработки) соответственно. А свойства композита TiC40/Fe при сжатии по результатам испытаний показали наиболее положительные результаты в сравнении с остальными материалами. Модуль упругости, предел текучести, максимальная прочность на сжатие и деформация разрушения составляли 19,6, 420, 605 МПа и 6,1% соответственно. Композит TiC40 / Fe обладает большей износостойкостью, особенно при нагрузке 1,5 кг, его относительная износостойкость в 2,67 раза выше, чем у чистого серого чугуна. Результаты подтвердили, что композиционные материалы на основе железа, армированные частицами TiC, содержат фазы TiC и α -Fe только при спекании в 1200°C в течение 60 минут при давлении 70 МПа.

В работе [3] путём высокоэнергетического шарового измельчения в сочетании со спеканием горячим прессом был получен сплав на основе высокохромистого железа, армированный наночастицами WC. Шихта представляла собой смесь распыленного водой порошка железа, электролитических порошков Cr, Cu, Ni, Mo, порошок коллоидного графита и порошок WC. Исходные порошки смешивали со следующими химическими составами (Fe-10Cr-1Cu-1Ni-1Mo-2C) + 0, 3, 5, 8% WC для получения однородной смеси. После предварительного перемешивания в течение 48 часов при помощи шаровой мельницы QM-2SP20-CL выполняли высокоэнергетическое шаровое измельчение в атмосфере аргона с шариками из карбида вольфрама. 20 г порошковой смеси помещали в графитовую форму с внутренним диаметром 20мм, а затем спекали в печи горячего прессования HP-12. Испытания на износ были проведены при помощи испытательной машины M-2000 в условиях сухого трения. Схема трения плоский образец (композиционный материал 10×10×6 мм) - ролик GCr15 (ШХ15) с наружным диаметром 46 мм, толщиной 10 мм. Испытания проводили при нагрузке 200 Н, частоте вращения 200 мин⁻¹ и времени испытания 1000 с. Результаты показали, что коэффициент трения изменялся от времени испытания, а абразивный и адгезионный износ являлись основными механизмами изнашивания. Образец, спеченный при 1050°C, имел наименьший коэффициент трения. По мере повышения температуры спекания объем, и скорость износа материала сначала уменьшались, а затем увеличивались. Поскольку объем и скорость износа материала при 1050°C минимальны, сплав, спеченный при этой температуре, обладал наилучшей износостойкостью. Повышение содержания упрочненной фазы WC до 5% увеличивало износостойкость, при дальнейшем росте концентрации WC она уменьшалась, при этом материал, содержащий 5мас.% WC, обладал наилучшей износостойкостью.

Цель работы – отработка технологии получения спеченных композиционных сплавов из порошков Ni-B-Si-Fe с добавками микро и нано карбидов металлов и определение их триботехнических характеристик.

Материалы и методы исследований. Для проведения исследования были приняты порошковые материалы PG 6503 (Ni-B-Si-Fe +60% WC, с размером частиц 40-150 мкм) и PG 6503 + 10% нано порошка TaC (40-100 нм). Образцы получены методом спекания в защитной среде аргона при температуре 1460°C в течение 20 мин. Диаметр полученных образцов составлял 21 мм, толщина 4 мм. Для сравнительных испытаний на трение и износ в качестве эталона выбран сплав ХН77ТЮР. Образцы заливали эпоксидной смолой в стальные втулки. После выдержки в течение суток при комнатной температуре образцы обрабатывали на шлифовальном станке. В качестве контробразца применяли закаленную втулку из стали 40Х (49-52 HRC). Испытания выполняли по схеме «плоский образец – торец втулки (контробразец)» в масляной ванне. Скорость скольжения и давление на образец изменялись ступенчато в интервале от 0,23 до 3,45 м/с и от 1,0 до 6,5 МПа соответственно. Для смазки применялось гидравлическое масло МГЕ-10А. Металлографические исследования образцов выполняли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 0,98 Н.

Результаты и обсуждение. Микротвёрдость образцов PG 6503, PG 6503 + TaC и стали ХН77ТЮР составляла 544, 590 и 328 HV соответственно. На рисунке 1 приведены закономерности изменения моментов трения от давления.

С увеличением давления с 0,5 до 5,6 МПа момент трения для образца стали PG 6503 увеличивался с 0,056 до 0,116, для образца PG 6503 + 10%TaC увеличивался с 0,062 до 0,130, тогда как для эталонного образца стали ХН77ТЮР момент трения увеличивался с 0,086 до 0,208. Момент трения стабильно увеличивался при увеличении нагрузки.

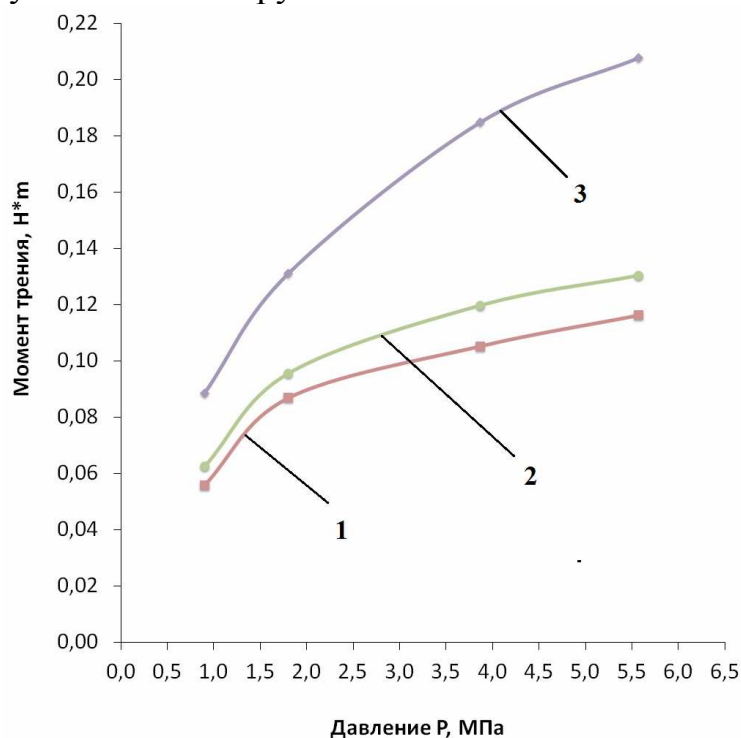


Рис. 1. Зависимость моментов трения от давления: 1 - PG 6503, 2 - PG 6503 + TaC, 3 - ХН77ТЮР

В таблице 1 показаны интенсивности изнашивания образцов в паре трения со сталью 40Х. Образцы PG 6503 и PG 6503 +10% TaC показали износостойкость в 1,64 и 1.81 раза выше, чем эталонный сплав соответственно.

Табл. 1. Результаты анализа интенсивности изнашивания

№ п/п	Порошковые материалы, полученные методом горячего спекания	Интенсивность изнашивания образца I_{cp1} и контрообразца I_{cp2}	
		$I_{cp1} \times 10^{-9}$	$I_{cp2} \times 10^{-9}$
1	PG 6503	0,950	0,997
2	PG 6503 + 10%TaC	0,861	1,207
3	XH77ТЮР	1,564	1,222

Испытания на трение и износ спечённых материалов показывают, что наилучший результат показали образцы содержание в шихте 60% карбида вольфрама и 10% нано порошка карбида титана. Жаропрочный сплав XH77ТЮР и имел большие моменты трения во всём диапазоне исследуемых нагрузок, и меньшую стойкость к изнашиванию.

Выводы. Содержание карбида вольфрама, в составе исследуемых порошковых материалов, благоприятно влияет на триботехнические свойства. Интенсивность изнашивания снижается благодаря увеличению твёрдости образцов PG 6503 и PG 6503 + 10%TaC по сравнению со сплавом XH77ТЮР в 1,64 и 1,81 раза соответственно. Моменты трения исследуемых материалов значительно ниже во всём диапазоне исследуемых нагрузок по сравнению с эталонным сплавом.

Благодарность. Авторы выражают глубокую благодарность к.ф.-м.н. Костылеву Виктору Алексеевичу, директору ООО НПП «Наука», г.Екатеринбург за предоставленные порошковые материалы и образцы.

Список литературы

1. Cui G. et al. High-temperature wear behavior of self-lubricating Co matrix alloys prepared by P/M // Wear. – 2016. – Vol. 346–347. – P. 116-123.
2. Hulin D., Haiping B., Jianhong P. Effect of TiC Contents on Mechanical Properties and Wear Resistance of Iron-Based Composites // Acta Metallurgica Sinica. – 2019. – Vol. 8. – P. 1048-1057.
3. Wie T., Ma M., Li Z., Qin S., Wang C. Li X. Study on Friction Properties of WC Particle-Reinforced High-Chromium Iron-Based Powder Metallurgy Materials // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol.569. – P. 022029.

Сведения об авторах:

Бирюков Владимир Павлович – к.т.н., ведущий научный сотрудник;

Принц Антон Николаевич – младший научный сотрудник;

Вараксин Александр Владимирович – младший научный сотрудник.