ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИЯ, УПРАВЛЕНИЕ

УДК 62-2

А. С. Кузнецов, Ю. А. Пахалин

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ СМАЗКИ

Аннотация. Приведены результаты сравнения состава твердого сплава, на основе которого создается композиционный материал. Объектом исследования являлись составы твердого сплава, их характеристики и свойства. Предложен новый состав композиционного материала, который должен соответствовать всем основным техническим параметрам. Рассматриваются результаты испытания подшипниковых втулок и уплотнительных колец, изготовленных из нового композиционного материала ЮКМ-2, на высокопроизводительном стенде очистки жидкостей.

Ключевые слова: твердый сплав, графит, связка, свойства, смеси, спекание, вольфрам, образцы, прочность, твердость.

К материалам для производства подшипниковых узлов для различных машин и механизмов предъявляются требования по высокой коррозионной, абразивной стойкости, прочности и твердости в сочетании со значительным сопротивлением износу. Таким требованиям соответствуют твердые сплавы. На сегодняшний день их выпускается огромное количество.

Твердые сплавы состоят из твердых, тугоплавких материалов часто в соединении с более легкоплавкими металлами, называющимися «цементирующими» («связующими»). Требуемые характеристики и составы этих соединений достигаются при условии, что подготовленные тугоплавкие компоненты карбидов тантала, вольфрама и титана необходимого состава в результате изготовления сплава не расплавляются. В процессе спекания порошкообразных смесей порошки цементирующих металлов с тугоплавкими компонентами первые расплавляются, растворяя иногда малую долю тугоплавких соединений (перекристаллизация тугоплавких соединений через жидкую фазу связующего металла).

Твердые вещества, представляющие основу сегодняшних спеченных твердых сплавов, состоят из соединений углерода, бора и азота с переходными элементами периодической системы химических элементов: титаном, цирконием, гафнием, ванадием, ниобием, танталом, хромом, молибденом и вольфрамом. У карбидов, нитридов и боридов перечисленных выше тугоплавких металлов большая температура плавления (от 2000 до 4000 ^{o}C), твердость, значения модуля упругости. Они химически и эрозионоустойчивы против щелочей, кислот; обладают характерными металлическими свойствами, высокой тепловодностью и электропроводностью. В большинстве случаев они имеют кристаллическое строение, соответствующее для так называемых фаз внедрения.

Из перечисленных твердых соединений обширное фактическое применение нашли только карбиды – в основном монокарбид тантала (TaC), карбид вольфрама (WC), карбид титана (TiC). Свойства карбидов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства карбидов

	WC	TiC	TaC	NbC	VC	MO_3C_2
Микротвердость, кг/мм²	1930–2400	2800–3200	1550–1800	1950–2400	2800	1510
Плотность, г/см³	15,6	4,9	14,3	7,6	5,4	9,2
Температура плавления, °С	2785	3150	3880	3480	2810	2690
Температура начала активного окисления, °С	500–800	1100–1400	1100–1400	1100–1400	800–1100	500–800
Теплопроводность, Вт/мк	65–80	17–20	20–25	18–23	–	–

Кобальт – основная цементирующая фаза при производстве твердых сплавов. Однако его высокая стоимость наталкивает производителей на мысли об использовании заменителей, близких по свойствам, в частности никеля [1].

Итоги сравнительных экспериментов сплавов WC с никелем и WC с кобальтом выявляют превосходство WC-Co по твердости, износостойкости и прочности; сплавы с никелевой связкой находят свое применение в определенных областях, использующих их специфические свойства. Согласно этим данным появляется возможность использования никеля как цементирующего металла в сплавах на базе WC-Co и выяснения отличий в основных характеристиках.

При создании нового композиционного материала основной задачей ставится уменьшение коэффициента трения в соединениях при плохой подаче смазки. Для выполнения данной задачи в сплавы на основе карбида вольфрама с никелевой связкой необходимо добавлять графит в виде порошка – он будет являться присадкой, играющей роль твердой смазки. Данный материал будет обладать повышенной абразивной износостойкостью и уникальными антифрикционными свойствами.

Технологический процесс производства заготовок из спеченных твердых сплавов начинается с операции приготовления смеси. Однако не все марки порошковых смесей, необходимые для различных изделий, выпускаются серийно на крупных предприятиях твердосплавной промышленности. Поэтому возникает необходимость проводить соответствующие расчеты для получения композиционного материала требуемого состава из имеющихся отдельных компонентов или изменения имеющийся в наличии смеси ее дошихтовкой. Например, при составлении одной смеси из двух различных следует рассчитать общую массу смеси (кг):

$$G = G_1 + G_2 \quad (1)$$

и суммарное содержание в ней кобальта или никеля (кг)

$$G = 2\frac{P}{100} = G_1\frac{P_1}{100} + G_2\frac{P_2}{100}, \quad (2)$$

где G_1, G_2 – масса смеси соответственно первого и второго состава, кг; P_1, P_2 – содержание никеля в смеси первого и второго составов, %; P – содержание никеля в конечной смеси, %.

Если известна масса смеси одного состава, а также заданное и практическое содержание связующего металла в смесях, навески рассчитываются по следующей формуле:

$$G = \frac{G_1\left(P_2 - P_1\right)}{P_2 - P}. \quad (3)$$

В процессе получения образцов композиционный материал замешивается в различных пропорциях для получения оптимального результата. Также мы добавляем пластификатор для лучшей прессуемости образцов.

После того, как необходимое количество порошка подготовлено, происходит прессование заготовок-образцов для дальнейшего спекания и исследования. Спекание в технологии производства композиционного материала считается важной операцией – благодаря ней высокопористая заготовка преобразуется в почти беспористое изделие с требуемым составом физико-механических свойств. В процессе нагрева заготовок появляется жидкая фаза за счет расплавления эвтектики и перекристаллизации через нее некоторой доли карбидной основы композиционного материала, что влияет на окончательную микроструктуру готового изделия.

Несмотря на состав композиционного материала, при нагреве сначала испаряется пластификатор и возобновляются оксиды в связки; после этого за счет диффузии формируются межчастичные связи, создается твердый раствор карбидов в никеле и совершается уплотнение, которое достигает своего максимума при возникновении жидкой фазы. В процессе охлаждения заготовок заканчивается создание структуры прежде всего с точки зрения приобретения карбидными зернами окончательной формы и размера.

Спекание может быть организованно по-разному: двустадийное (сначала предварительное низко-, а затем окончательное высокотемпературное) или прямое одностадийное.

Испытания подшипниковых втулок и уплотнительных колец из композиционного материала ЮКМ-2 производства ООО «Инструментальное предприятие ЮРПАХ» проводились на высокопроизводительном стенде очистки жидкостей СОГ 950 КТ в два этапа.

Этап первый:

1. Цель испытаний – определение мощности, коэффициента трения, а также несущей способности втулок и уплотнительных колец из композиционного материала ЮКМ-2.

2. Предмет испытаний – испытывалась опытная партия двух комплектов подшипниковых втулок и уплотнительных колец производства ООО «Инструментальное предприятие ЮРПАХ»:

– втулка 77509.960.01.009;
– втулка 77509.924.01.006;
– втулка Э04.01.253;
– втулка Э04.01.254;
– кольцо 77509.960.07.001;
– кольцо 77509.960.07.002;
– подпятник Э04.01.252.

3. Проведение испытаний. Определение коэффициента трения и несущей способности подшипниковых втулок и уплотнительных колец проводилось по утвержденной методике в лаборатории триботехнологии на высокопроизводительном стенде очистки жидкостей СОГ 950 КТ.

Режим испытаний:

– частота вращения – 3000 об/мин;

– создание нагрузки – ступенчатое, от 100 до 1200 Н на один комплект (через каждые 100 Н);

– среда испытания – проточная вода;

– приработка подшипниковых втулок и уплотнительных колец при нагрузке 100 Н в течение 30 мин, время работы на каждой нагрузке 5 мин.

4. Результаты испытаний приведены в табл. 2. Данные величин нагрузки *P*, мощности *N*, крутящего момента $М_{крут}$ и коэффициента трения $f_{тр}$ в табл. 2 приведены на один комплект подшипниковых пар и уплотнительных колец.

Таблица 2

Результаты испытаний подшипниковых втулок и уплотнительных колец из композиционного материала ЮКМ-2

Нагрузка на пару трения Р, Н	Мощность трения *N*, ВТ	Температура, °С		$М_{крут}$, Нм	Коэффициент трения, $f_{тр}$	Примечание
		Эл. двигателя	Воды			
10	0,00	17,5	17,1	0,00	-	Пуск
138	10,00	31,6	18,1	0,03	0,016	Приработка 30 мин
215	14,25	32,6	18,3	0,05	0,015	Испытание
350	14,50	33,4	18,4	0,05	0,009	
413	14,50	33,8	18,2	0,05	0,008	
503	16,00	34,4	18,0	0,05	0,007	
604	14,50	34,9	18,1	0,05	0,005	
731	17,00	35,4	18,1	0,05	0,005	
790	22,50	35,9	18,2	0,07	0,006	
897	23,75	36,2	18,2	0,08	0,006	
983	26,50	36,5	18,2	0,08	0,006	
1096	26,25	36,7	18,4	0,08	0,005	
1211	32,00	37,5	18,2	0,10	0,006	
Останов установки						Завершение

Этап второй:

1. Цель испытаний – определение износостойкости подшипниковых втулок и уплотнительных колец из композиционного материала ЮКМ-2.

2. Предмет испытаний – испытывалась опытная партия двух комплектов подшипниковых втулок и уплотнительных колец производства ООО «Инструментальное предприятие ЮРПАХ»:

– втулка 77509.960.01.009;
– втулка 77509.924.01.006;
– втулка Э04.01.253;
– втулка Э04.01.254;
– кольцо 77509.960.07.001;
– кольцо 77509.960.07.002;
– подпятник Э04.01.252.

3. Проведение испытаний. Определение износостойкости подшипниковых втулок и уплотнительных колец проводились в лаборатории триботехнологии на высокопроизводительном стенде очистки жидкостей СОГ 950 КТ по утвержденной методике «ЦРКФ.47.008.00.00.000» при удельном радиальном давлении 100 Н/см² и частоте вращения 3000 об/мин в три этапа:

1) в растворе (30 % СОЖ + 70 % воды) + 10 г/л AL_2O_3 с подачей сжатого воздуха, время испытания 6 ч;

2) в воде, время испытания 2 ч;

3) в водо-воздушной среде, время испытания 1 ч:

– перед испытанием, а также после его окончания проводились измерения наружных и внутренних диаметров подшипниковых втулок и высоты уплотнительных колец с точностью до 0,01 мм;

– в процессе испытания производился контроль температуры нагрева в зоне трения с помощью термопары.

4. Результаты испытаний:

– максимальная температура в зоне трения на 1 этапе составила 29 °С, на 2 и 3 этапах – 25 и 21 °С соответственно;

– подшипниковые втулки и уплотнительные кольца из композиционного материала ЮКМ-2 выдержали испытания на всех трех этапах. После каждого этапа испытаний износ втулок и колец отсутствует.

Выводы:

– подшипниковые втулки и уплотнительные кольца выдержали испытания на высокопроизводительном стенде очистки жидкостей СОГ 950 КТ по вышеприведенному режиму;

– подшипниковые втулки и уплотнительные кольца имеют несущую способность 1,2 кН в водной среде;

– коэффициент трения при максимальной нагрузке 1,2 кН в водной среде составил 0,006;

– опытная партия подшипниковых втулок и уплотнительных колец из композиционного материала ЮКМ-2 испытания на износостойкость по принятой методике «ЦРКФ.47.008.00.00.000» полностью выдержала. Износ изделий после трех испытаний отсутствует.

Результаты испытаний показали, что подшипниковые втулки и уплотнительные кольца из композиционного материала ЮКМ-2 могут заменить использующиеся в настоящее время втулки из твердого сплава в высокоскоростных центрифугах для очистки жидкостей от механических загрязнений.

Библиографический список

1. Панов, В. С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них / В. С. Панов. – М. : Мисис, 2001. – 428 с.

2. Твердые сплавы / Р. Киффер, Ф. Бенезовский ; под ред. В. И. Третьякова. – М. : Металлургия, 1971. – 392 с.

3. Брейтуэйт, Е. Р. Твердые смазочные материалы и антифрикционные покрытия / Е. Р. Брейтуэйт ; пер. с англ. ; под ред. В. В. Синицына. – М. : Мир, 1967. – 320 с.

Кузнецов Андрей Сергеевич
главный инженер,
ООО «Инструментальное предприятие ЮРПАХ»
E-mail: akelo86@mail.ru

Пахалин Юрий Алексеевич
доктор технических наук, директор,
ООО «Инструментальное предприятие ЮРПАХ»
E-mail: akelo86@mail.ru

УДК 62-2

Кузнецов, А. С.

Разработка и исследование композиционного материала для изготовления деталей узлов трения различных машин и механизмов, работающих в условиях ограниченной смазки / А. С. Кузнецов, Ю. А. Пахалин // Вестник Пензенского государственного университета. – 2017. – № 2 (17). – С. 100–104.