

УДК 669.046:620.22

В.А. Скачков, докт.техн.наук, доц., О.Р. Бережная, канд., техн. наук, доц., А.В. Карпенко, канд., техн. наук, С.С.Сергиенко, Р.В.Гнатишак
Запорізький національний університет, Україна

УГЛЕРОД-АЛЮМИНИЕВЫЕ КОМПОЗИТЫ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

V.A. Skachkov, Dr., Assoc., O.R. Berezhnaya, Ph.D., Assoc., A.V. Karpenko, Ph.D., S.S. Sergienko, R.V. Gnatishak

CARBON-ALUMINUM TRIBOTECHNICAL COMPOSITES

Углерод-алюминиевые композиционные материалы (УАКМ) обладают высокой теплопроводностью, низкой плотностью, высокой прочностью и износостойкостью. Такой набор характеристик обуславливает применение данных композитов в качестве функциональных элементов узлов трения высокоэнергетических устройств. Получение вышеуказанных материалов возможно как методом жидкофазного совмещения алюминиевой матрицы и углеродного волокнистого наполнителя, так и путем совместного горячего прессования углеродных волокон и алюминиевого порошка.

Применение метода горячего прессования обеспечивает целостность углеродных волокон в процессе приложения давления прессования за счет снижения твердости и повышения пластичности частиц алюминиевого порошка. Углеродные волокна имеют низкую поверхностную энергию, вследствие этого адгезионная связь в УАКМ материалах на границе волокно-матрица недостаточно прочная. Повышение адгезионной прочности достигается нанесением на углеродные волокна высокотемпературных защитных покрытий на основе меди, никеля, хрома и др.

Экспериментальные исследования процессов электролитического омеднения, хромирования и никелирования проводили на углеродных волокнах УКН-6000, представленных в виде жгута, состоящего из комплекса элементарных волокон.

Процессы нанесения защитных покрытий на углеродных волокнах реализованы при температуре 20...30 °С, плотности тока 0,15 – 1,27 А/дм², напряжении электролиза 0,6 – 18 В и длительности процесса 30 – 360 с.

Важнейшим показателем формирования защитных покрытий на жгуте углеродных волокон является однородность толщины покрытия на элементарных волокнах, находящихся в центре и на внешней стороне жгута.

Измеренная величина коэффициента однородности составила 0,50 – 0,98. Коэффициент однородности увеличивается со снижением плотности катодного тока и сокращением длительности процесса.

Для оценки влияния защитных покрытий проведено определение разрывной нагрузки углеродных волокон с покрытием и без него. Разрывную нагрузку углеродных волокон определяли на машине МР-30. Оценка математического ожидания распределения разрывной нагрузки для волокон без покрытия составляет 35,3 Н, волокон с покрытием – 44,7 Н, дисперсия распределения составляет соответственно 35,3 и 16,6. Из анализа экспериментальных данных установлено, что наиболее полно требованиям по защите углеродных волокон удовлетворяют никелевые покрытия, полученные при величине катодного тока 0,25 А/дм², напряжении электролиза 10 В и длительности процесса 120 с.

Для оценки скорости нарастания электролитического покрытия на углеродных волокнах используется уравнение:

$$\frac{dm}{dt} = S \cdot k \cdot j,$$

где m - масса электролитического осадка на единице длины волокна; S - площадь поверхности осаждения; k - константа скорости осаждения; j - плотность катодного электрического тока на единицу длины волокна; t - длительность процесса.

В результате статистической обработки результатов экспериментов установлено, что константа скорости для процессов нанесения медных покрытий составляет $k = 1,02 \cdot 10^{-7}$ г/(А·см с), хромовых покрытий $k = 0,07 \cdot 10^{-7}$ г/(А·см с) и никелевых покрытий $k = 10,90 \cdot 10^{-7}$ г/(А·см с).

Для горячего прессования углерод-алюминиевых композитов на основе алюминиевого порошка ПА-0 и алюминиевой пудры ПАП было выбрано углеродное волокно с никелевым покрытием. Данное покрытие обладает наибольшей однородностью и хорошей проницаемостью.

Для более лучшего совмещения углеродных волокон и алюминиевого порошка/пудры использовалось жидкое связующее вещество в составе 15% канифоли и 85% скипидара.

Горячее прессование производилось по методу двухстороннего прессования с двустадийным нагревом. Для удаления связки образцы предварительно нагревались без приложения давления. При 100 °С активно начинается испарение связующего вещества и длится примерно 30 минут. После подсушки устанавливалось предварительное давление 40 МПа. В течении 10 минут образец нагревался до 450 °С, при этой температуре усилие прессования поднималось до 60 МПа и выдерживалось в течении 5 минут. Свойства УАКМ представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Свойства углерод-алюминиевых композитов

Состав углерод-алюминиевых композитов, %			Плотность прессовки, г/см ³	Твердость прессовки, Н/мм ²	Коэффициент трения, $k_{тр}$
Углеродное волокно	ПА-0	ПАП			
10	45	45	2,18	570	0,82
15	42	43	2,10	500	0,71
30	40	30	2,07	310	0,49
40	40	20	2,06	240	0,39
60	28	12	1,46	270	0,15

Плотность прессовок УАКМ определялась методом гидростатического взвешивания по стандартной технологии. Твердость определялась по методу Бринелля на твердомере типа ТШ-2М с использованием стального шарика диаметром 6 мм при величине нагрузки 1840 Н. Время приложения нагрузки – 30 с.

На твердость прессовки существенное влияние оказывает содержание углеродных волокон. С увеличением содержания углеродных волокон до 40...50% твердость прессовки снижается на 60%. При дальнейшем увеличении содержания углеродных волокон до 60% твердость прессовки возрастает на 16% относительно ее максимального значения. Коэффициенты трения определялись на машине трения СМТ-1 по системе «диск-колодка». Диск выполнялся из серого чугуна диаметром 60 мм, образец углерод-алюминиевого композита – в виде колодки с размерами 16 x 11 x 10 мм. Сторону 16 x 10 мм предварительно притирали по рабочей поверхности диска. Удельное давление составляло 16 кг/см², скорость относительного скольжения – 3,0 м/с. Температура в процессе исследования составляла 100 ± 10 °С.

Из анализа данных табл. 1 следует, что коэффициенты трения углерод-алюминиевых композитов изменяются в широких пределах. В зависимости от содержания углеродных волокон данные композиты могут применяться как в качестве фрикционных, так и антифрикционных материалов.