



УДК 621.791.92.04–419

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ГАЗОАБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А. П. ЖУДРА

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Приведены результаты лабораторных исследований износостойкости композиционных сплавов на основе плавленных карбидов вольфрама $WC + W_2C$ (релит) в условиях газоабразивного изнашивания. Дана техническая характеристика лабораторного стенда ОБ-876Ц для испытаний наплавленного металла на газоабразивный износ. Разработана схема испытаний, которая максимально соответствует реальным условиям эксплуатации деталей при воздействии абразивного потока в температурном диапазоне 25...450 °С. Установлено, что износ композиционных сплавов носит избирательный, циклический характер и несущественно зависит от свойств и твердости матрицы при малых углах атаки. Применение карбида вольфрама со сферическими гранулами увеличивает износостойкость композиционного сплава, а повышение температуры до 400 °С существенно ее снижает за счет окисления карбидной составляющей сплавов. При комнатной температуре износостойкость композиционного сплава в 2,7 раза превосходит износостойкость никелькарбидохромового сплава. Библиогр. 9, рис. 3, табл. 3.

Ключевые слова: газоабразивный износ, композиционные сплавы, плавленный карбид вольфрама, сферические гранулы, матрица, микротвердость, плазменно-порошковая наплавка, относительная износостойкость, испытательный стенд

Настоящая работа является продолжением ранее выполненных в ИЭС им. Е. О. Патона исследований по газоабразивному износу различных типов наплавочных сплавов [1–4], среди которых особый интерес представляют композиционные сплавы на базе плавленных карбидов вольфрама $WC + W_2C$ (релит). Эти сплавы отличаются уникальной износостойкостью и широко применяются для наплавки бурового инструмента и ряда ответственных деталей в металлургии и машиностроении. В работе [2] исследования износостойкости таких сплавов в условиях газоабразивного изнашивания проводили на установке ОБ-876 [5] при температуре 400 °С на цилиндрических образцах диаметром 60 мм с разными составами матричных сплавов, армированных плавными карбидами вольфрама грануляцией от 0,18 до 2,0 мм. Образцы изготавливали лабораторным способом в индукционной печи путем засыпки через слой флюса гранул дробленого карбида вольфрама в матричный расплав с последующей вырезкой наиболее армированных участков анодно-механическим способом. Полученные таким способом композиционные слои на образцах существенно отличаются от реальных, наплавленных дуговым или газовым способом. Поэтому представляло интерес исследовать износостойкость композиционных слоев, полученных промышленными традиционными способами наплавки, среди которых наиболее характерным, для получения таких сплавов, является способ

плазменно-порошковой наплавки, получивший за последние годы широкое развитие в мировой практике. Этот способ ограничивает тепловое воздействие дуги на гранулы карбидов при подаче их в сварочную ванну, что существенно уменьшает их растворение в матричном сплаве. При этом концентрация армирующей фазы в наплавленном слое может достигать 50 %.

Для испытаний были подготовлены образцы, наплавленные плазменно-порошковым методом композиционными сплавами в один слой. В качестве армирующей фазы использовали порошки плавных карбидов вольфрама $WC + W_2C$ (релит) с традиционными дроблеными, а также сферическими гранулами. Сферические гранулы, полученные по разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона технологии термоцентробежного распыления слитков плавных карбидов вольфрама [6, 7], отличаются высокой микротвердостью, однородной структурой и по физико-механическим свойствам превосходят аналогичные отечественные и зарубежные материалы, полученные по другим технологиям [8, 9].

Грануляция порошка дробленого и сферического карбидов вольфрама находилась в пределах 50...250 мкм. Усредненный химический состав и микротвердость обоих видов карбидов приведены в табл. 1.

Для матричного сплава использовали порошок на никелевой основе ПГ-СР2 и никель-медной



Таблица 1. Химический состав и твердость карбидов вольфрама со сферическими и дроблеными частицами (вольфрам — основа)

Тип гранул карбида вольфрама	Химический состав, мас. %				Микротвердость HV100
	C _{общ}	C _{св}	Fe	При-меси	
Сферические	3,98	0,05	0,10	0,95	2600...3100
Дробленые	3,89	0,15	0,14	1,45	1900...2200

Таблица 2. Химический состав и твердость сплава матриц (никель — основа)

Тип порошка матричного сплава	Химический состав, мас. %					Твердость HRC
	C	Cr	Si	B	Cu	
ПГ-СР2	0,53	13,82	2,43	2,25	-	58,63
ПР-НД42СР	0,15	-	1,05	1,0	42,5	38,46

основе ПР-НД42СР, усредненный химический состав которых приведен в табл. 2.

После наплавки толщина композиционного слоя на образцах составляла 5,0...5,5 мм. При этом следует отметить, что армирующие гранулы карбида вольфрама вследствие большой массы, как правило, располагаются в нижней части сварочной ванны. Поэтому для получения оптимальной концентрации армирующей фазы на поверхности наплавленного слоя образцы шлифовали, как чисто, на глубину 1,0...1,5 мм. В конечном итоге толщина наплавленного слоя составила приблизительно 4 мм, а концентрация карбидных включений на испытываемые поверхности образцов колебалась в пределах 45...50 %.

Эталоном служили образцы, наплавленные никелькарбидохромовым сплавом порошковой лентой ПЛ АН-111 в три слоя с толщиной наплавки после шлифовки 12 мм. Тип наплавленного металла 500Х40Н40С2ГРЦ. Химический состав эталонов, мас. %: 5,1 С; 34 Cr; 36 Ni; 2,1 Si; 1,2 Mn; 0,3 В; 0,3 Zr, твердость эталонов HRC 52...55.

Во всех случаях наплавку выполняли на пластины из стали марки Ст3 толщиной 20 мм.

В табл. 3 приведены типы образцов наплавленных композиционных сплавов для испытаний на газоабразивный износ при температурах 25 и 400 °С. Каждый тип сплава для получения максимально достоверных данных представлен тремя образцами.

Таблица 3. Типы образцов для испытаний на газоабразивный износ

Маркировка образцов	Состав матрицы	Твердость матрицы HRC	Вид армирующей фазы	Твердость армирующей фазы HV100
КН-1	Ni-Cr-Si-B	58...63	50 % дробленые 50 % сферические	1800...2200 2800...2930
КН-2	Ni-Cr-Si-B	58...64	100 % сферические	2650...2880
КН-3	Ni-Cr-Si-B	54...59	«-»	2730...3000
КМ-4	Ni-Cu-Si-B	38...46	«-»	2750...3050
КМ-5	Ni-Cu-Si-B	39...49	«-»	2800...2980
Эталон	C-Cr-Ni-Si-Mn	55...62	-	-



Рис. 1. Общий вид стенда ОБ-876Ц

Испытания износостойкости композиционных сплавов, наплавленных плазменно-порошковым способом, проводили в условиях моделирования газоабразивного изнашивания на модернизированном стенде ОБ-876Ц. Стенд позволяет осуществлять изнашивание образцов воздушно-абразивным потоком по определенной схеме.

Разгон абразивных частиц осуществляется центробежным ускорителем в виде диска-ротора, в центре которого в приемное отверстие самотеком подается абразив — кварцевый песок, грануляцией 0,05...0,5 мм.

Частицы песка разгоняются по четырем внутренним каналам до скорости 200 м/с. Достигнув наружного диаметра ротора, абразивный поток преодолевает воздушный промежуток длиной 25 мм и ударами частиц абразива изнашивает одновременно рабочие поверхности шести образцов размером 170×70×19 мм. При этом угол атаки абразива по отношению к поверхности образцов составляет 15°. Кассета с образцами расположена в камере, температура в которой может регулироваться в пределах 25...450 °С. Внешний вид стенда ОБ-876Ц и кассета с образцами показаны на рис. 1 и 2, а его основные технические характеристики представлены ниже.

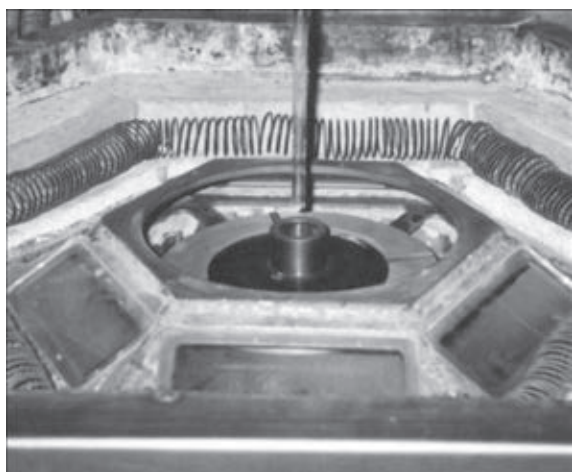


Рис. 2. Кассета с образцами в камере нагрева

Технические характеристики стенда ОБ-876Ц

Диаметр ротора, мм	220
Число оборотов ротора, об/мин	6000
Угол атаки абразивного потока, град	5...70
Температура нагрева образцов, °С	до 450
Продолжительность нагрева образцов до 400 °С, ч	3,5
Расход абразива, см ³ /с.....	0,5...0,3
Мощность электродвигателя привода ротора, кВт	0,75
Количество испытуемых образцов, шт.	6

Износ образцов оценивали по уменьшению объема в см³, который определяли методом гидростатического взвешивания. Также определяли интенсивность изнашивания в см³ при расходе каждых 100 кг абразива и относительную износостойкость к эталону, наплавленному никель-карбидохромовым сплавом. Усредненные данные исследований трех образцов каждого типа композиционного сплава приведены на рис. 3.

Как и ожидалось, общей закономерностью износа композиционных сплавов при газоабразивном изнашивании является его избирательность и цикличность, т. е. изменение износостойкости во времени. Первоначально интенсивно изнашивается матрица, оголяя карбиды, которые за счет теневого эффекта защищают матрицу и существенно замедляют износ сплава. После износа матрицы и вымывания карбидов цикл повторяется. Полученные результаты хорошо коррелируют с данными исследований, описанных в работе [2].

При угле атаки абразива 15° состав матрицы и ее твердость практически не влияет на износостойкость композиционного сплава.

В условиях комнатной температуры наибольшую износостойкость имеют композиционные сплавы КН-2, КН-3, состоящие из сферических гранул карбида вольфрама и матрицы типа Ni-Cr-Si-W. Их износостойкость ориентировочно превосходит в 2,7 раза износостойкость эталона из никелькарбидохромового сплава. Сплав КН-1 с аналогичной матрицей, но содержащий смесь сферических и дробленых гранул карбида вольфрама имеет износостойкость приблизительно на

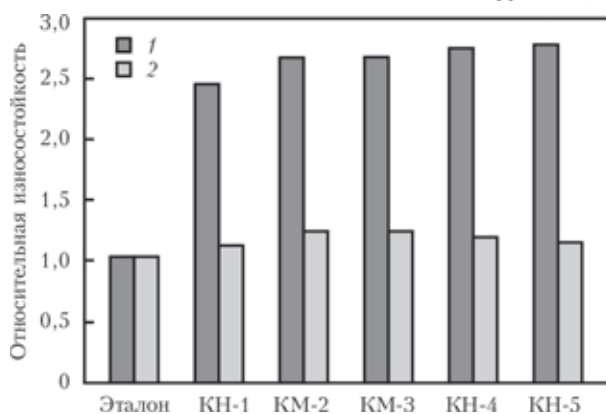


Рис. 3. Относительная износостойкость образцов композиционных сплавов при температурах 25 (1) и 400 (2) °С

10...12 % ниже, что соответствует более низким прочностным характеристикам дробленых частиц по сравнению со сферическими.

При температуре 400 °С износостойкость композиционных сплавов существенно снизилась, хотя тенденция повышенной стойкости композиций со сферическими гранулами карбидов по сравнению со смесью сохранилась. Увеличение износа при повышенных температурах прежде всего связано с окислительными процессами карбидной составляющей сплавов. Износ карбидов вольфрама происходит не только за счет воздействия абразивного потока, но и за счет их окисления. Этот фактор следует учитывать при упрочнении композиционными сплавами на базе карбидов вольфрама деталей, работающих при высоких температурах в окислительной среде. В восстановительной или инертных средах температура практически не влияет на износостойкость композиционных сплавов. На практике это прослеживается при эксплуатации засыпных аппаратов доменных печей, наплавленных композиционными сплавами на основе релита, которые эксплуатируются в восстановительной газовой среде. Такие аппараты трудоемкие в изготовлении, однако их стойкость в несколько раз превышает аппараты, наплавленные карбидохромовыми сплавами.

Выводы

1. Износ композиционных сплавов на базе плавляемых карбидов вольфрама в условиях воздействия газоабразивного потока носит избирательный, циклический характер и несущественно зависит от свойств и твердости матрицы при угле атаки 15°.

2. Даже частичное использование сферических гранул карбидов вольфрама в качестве армирующей фазы взамен дробленых увеличивает износостойкость композиционного сплава на 10...12 %.

3. Износостойкость композиционных сплавов в условиях газоабразивного износа при комнатной



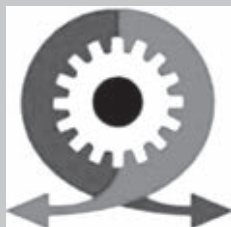
температуре ориентировочно в 2,7 раза превосходит износостойкость никелькарбидохромового сплава, а при температуре 400 °С существенно снижается за счет окисления карбидной составляющей сплава.

1. Терещенко Н. Ф., Гавриш В. А. Стойкость сплавов при газоабразивном изнашивании // Физ.-хим. механика материалов. – 1971. – № 4. – С. 18–21.
2. Особенности газоабразивного износа композиционных сплавов / Ю. А. Юзвенко, А. П. Жудра, Е. И. Фрумин, В. А. Гавриш // Автомат. сварка. – 1972. – № 8. – С. 35–38.
3. Юзвенко Ю. А., Жудра А. П., Фрумин Е. И. Абразивный износ композиционных сплавов // Там же. – 1973. – № 7. – С. 62–63.
4. Юзвенко Ю. А. Исследование и разработка материалов и технологий механизированной наплавки открытой ду-

гой: Дис. ... д-ра техн. наук. – Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1978. – С. 80–137.

5. Юзвенко Ю. А., Гавриш В. А. Установка для оценки износостойкости наплавленного металла при газоабразивной эрозии // Автомат. сварка. – 1972. – № 6. – С. 73–74.
6. Литвиненко А. И., Жудра А. П., Белый А. И. Анализ и кинетика процесса термоцентробежного распыления слитков из плавящихся карбидов вольфрама // Современ. электротехнология. – 2013. – № 2. – С. 29–36.
7. Дзыкович В. И. Влияние процесса термоцентробежного распыления на свойства сферических частиц карбида вольфрама // Автомат. сварка. – 2009. – № 4. – С. 52–55.
8. Дзыкович В. И., Жудра А. П., Белый А. И. Свойства порошков карбида вольфрама, полученных по различным технологиям // Там же. – 2010. – № 4. – С. 28–31.
9. Белый А. И. Износостойкость и прочность карбида вольфрама WC+W₂C, полученных различными способами // Там же. – 2010. – № 12. – С. 20–24.

Поступила в редакцию 01.10.2014



УКРАИНА на 56-й МЕЖДУНАРОДНОЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ВЫСТАВКЕ «MSV 2014» в г. БРНО (ЧЕХИЯ)

С 29 сентября по 3 октября 2014 г. в Брно прошла 56-я Международная выставка «Машиностроение». Она проходит ежегодно, начиная с 1958 г., и является крупнейшей в Центральной и Восточной Европе; на ней традиционно представлены все ключевые направления машиностроительной и электротехнической отраслей: горнодобывающее, металлургическое, литейное, материалы и компоненты для машиностроения, приводы, гидравлическое и пневматическое оборудование, техника кондиционирования воздуха, пластмассы, резиновая промышленность и химия, металлообработка, энергетика и электротехника, электроника, автоматизация, измерительная техника, экологическая техника.

В этом году выставочный комплекс включал 14 павильонов, общая площадь выставочных площадей — 667 квадратных метров. Ее главной тематикой стала «Промышленная автоматизация».

В этом году выставка объединила 1600 участников из 32 стран. Украину представила делегация Запорожской Торгово-Промышленной Палаты с коллективной экспозицией предприятий Запорожского региона, работающих в сфере машиностроения и металлургии.

В составе делегации — ООО «Триада ЛТД Ко» (интегратор промышленных роботизированных сварочных комплексов, специализированный поставщик сварочных материалов и оборудования), ООО «Таврическая литейная компания «ТАЛКО» (отливки из алюминиевых сплавов), ООО «Корундкерамика плюс» (керамические изделия для металлургической, электротехнической и других отраслей промышленности) и другие компании. Кроме того, компания «Триада ЛТД Ко» на выставке представила свою новую разработку по производству защитных сварочных шторок WELD-ZAKHYST — это современные мобильные конструкции, предназначенные для защиты людей и окружающего пространства от сварочных брызг.

В рамках выставки представители Украины приняли участие в контактной бирже «Kontakt — Kontrakt». Насыщенная программа выставки способствовала профессиональному общению, обмену опытом, установлению новых деловых связей.

