



ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА WC-W₂C, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

А. И. БЕЛЫЙ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты исследований износостойкости и прочности частиц плавящихся карбидов вольфрама WC-W₂C, полученных различными способами: механическим дроблением слитков, термоцентробежным распылением и сфероидизацией порошков с использованием индукционно-плазменной технологии.

Ключевые слова: наплавка, наплавочные материалы, карбиды вольфрама (релита), термоцентробежное распыление, прочность, износостойкость, наплавочные композиционные сплавы

Наплавочные композиционные сплавы, состоящие из армирующих частиц (плавящихся карбидов вольфрама) и матрицы, отличаются наивысшей износостойкостью в условиях абразивного, газоабразивного и некоторых других видов износа. Характерной особенностью процесса износа таких сплавов является поэтапный износ отдельных компонентов композиции. При этом наблюдается так называемый теневой эффект, когда более износостойкие армирующие частицы берут на себя основную нагрузку от разрушающих сил, предохраняя матрицу сплава от износа.

Таким образом, при равной износостойкости матрицы работоспособность композиционных сплавов определяется их химическим составом, концентрацией, износостойкостью и прочностью армирующих частиц. В данной работе приведены результаты исследований износостойкости и прочности частиц плавящихся карбидов вольфрама WC-W₂C, полученных различными способами — механическим дроблением слитков, термоцентробежным распылением слитков, сфероидизацией порошков с использованием индукционно-плазменной технологии и др. [1–4].

Известно, что концентрация армирующих частиц в композиционном сплаве определяется их формой. Оптимальной является сферическая форма частиц, которая обеспечивает максимальную концентрацию износостойкой фазы, хорошую их сыпучесть и, как следствие, стабильную работу дозирующих устройств наплавочных установок [5, 6]. На рис. 1 приведены данные о насыпной плотности, а на рис. 2 — о сыпучести плавящихся карбидов вольфрама (релита) со сферической и остроугольной формой частиц, полученных по общепринятой методике [6], которые свидетельствуют о преимуществе сферической формы частиц, особенно в плане их сыпучести. Дробленые час-

тицы карбидов вольфрама через воронку диаметром 2,5 мм вообще не просыпаются.

Сделанный вывод также подтверждается значениями коэффициента заполнения K_3 ленточного релита в зависимости от фракционного состава и формы армирующих частиц (рис. 3). Максимальное значение коэффициента заполнения имеет присадочный материал на основе сферических частиц релита размером 0,28...0,45 мм, минимальное — на основе дробленых частиц карбидов размером 0,63...0,90 мм, что обусловлено их соответствующей формой. Опыты проводили при свободной засыпке армирующих частиц с помощью ленточного дозатора в желобок, сформированный холоднокатаной лентой толщиной 0,3 мм и шириной 18 мм [7].

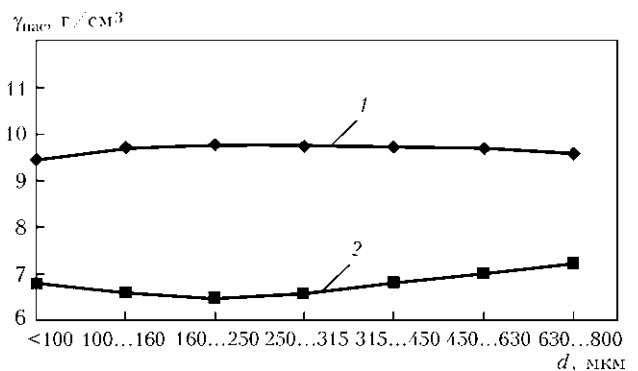


Рис. 1. Насыпная плотность $\gamma_{\text{нас}}$ сферических (1) и дробленых (2) частиц карбидов вольфрама различных размеров d

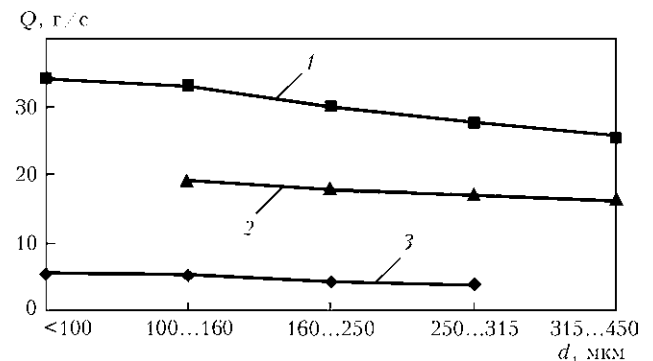


Рис. 2. Сыпучесть Q сферических $d = 5,0$ (1) и $2,5$ мм (3) и дробленых $d = 5,0$ мм (2) частиц карбидов вольфрама

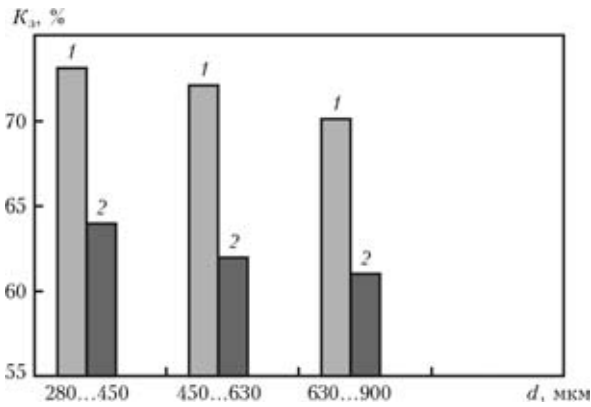


Рис. 3. Зависимость коэффициента заполнения K_3 ленточного релита от фракционного состава и формы армирующих частиц сферической (1) и дробленой (2)

Таким образом, сферическая форма армирующих частиц композиционных сплавов является наиболее оптимальной для получения требуемой концентрации износостойкой фазы в наплавочном материале и износостойком слое, а также стабильной работы наплавочного технологического оборудования.

Частицы плавящихся карбидов вольфрама как дробленой, так и сферической формы имеют примерно одинаковый химический состав, а следовательно, их износостойкость будет зависеть от прочности и структуры. Необходимо отметить, что процесс термоцентробежного распыления вследствие повышенной скорости охлаждения сферических частиц положительно влияет на формирование структуры плавящихся карбидов вольфрама [8].

Абразивную износостойкость композиционных сплавов исследовали на машине НК-М [9, 10]. Абразивом служил кварцевый песок грануляции 0,05...0,50 мм. В качестве образцов использовали цилиндры диаметром 10 мм, которые изготавливали следующим образом. В графитовую форму диаметром 10 мм свободно засыпали ар-

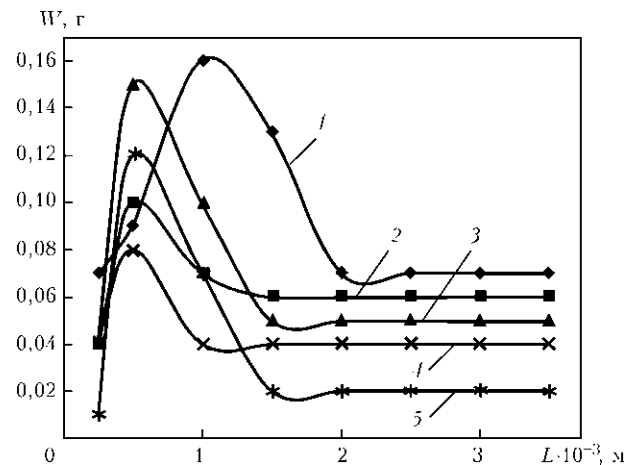


Рис. 4. Зависимость износостойкости W композиционного сплава с армирующими дроблеными частицами плавящихся карбидов вольфрама различного гранулометрического состава от пути трения L : 1 — $d < 180$; 2 — 180...250; 3 — 250...450; 4 — 450...630; 5 — 630...900 мм

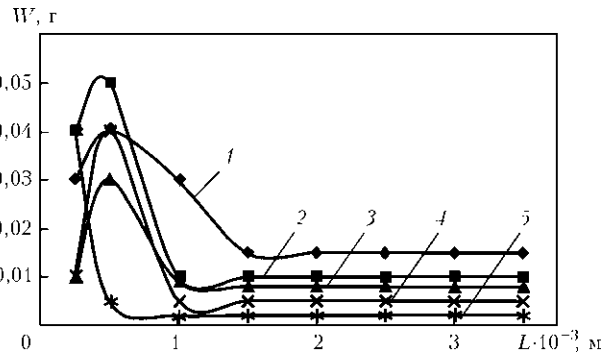


Рис. 5. Зависимость износостойкости W композиционного сплава с армирующими сферическими частицами плавящихся карбидов вольфрама различного гранулометрического состава, полученных термоцентробежным распылением, от пути трения L : 1–5 — см. рис. 4

мирующие дробленые или сферические частицы карбидов вольфрама, полученные различными способами (марки СФ-1, СФ-2, СФ-3 — сфероидизацией оплавлением порошка в различных мировых фирмах; марка ИЭС — термоцентробежным распылением в ИЭС им. Е. О. Патона). Сверху на частицы укладывали порцию матричного сплава из медно-никель-марганцевого мельхиора МНМц 60-20-20. Форму закрывали графитовой крышкой и интенсивно нагревали плазменной дугой, при этом матричный сплав пропитывал армирующие частицы. После остывания форму механически обрабатывали по диаметру и высоте. Каждый из пяти образцов имел следующие размеры частиц релита, мкм: менее 180; 180...250; 250...450; 450...630; 630...900. Износ образцов оценивали по потере их массы. Удельная нагрузка на образец составляла 0,5 Па, скорость трения 0,58 м/с, путь трения $L = 3,5 \cdot 10^3$ м.

Исследованиями установлена зависимость износостойкости композиционного сплава с армирующими дроблеными (рис. 4) и сферическими частицами (рис. 5 и 6), полученными различными способами, от пути трения. Представленные данные свидетельствуют о том, что износостойкость композиционного сплава со сферическими частицами одинакового гранулометрического состава больше, чем у дробленого релита в три и более раз (рис. 4 и 5).

В композиционных сплавах с армирующими сферическими частицами, полученными различными способами, наименьший износ отмечен у сплава с армирующими сферическими частицами карбидов вольфрама, полученными термоцентробежным распылением (рис. 6).

Установлено также, что в начальный период испытаний идет приработка изнашиваемой поверхности образцов, которая у композиционного сплава со сферическими частицами происходит на пути трения по абразиву $L \approx 1 \cdot 10^3$ м, а композиционного сплава с дроблеными частицами при $L \approx 2 \cdot 10^3$ м. Это можно объяснить неправильной формой и

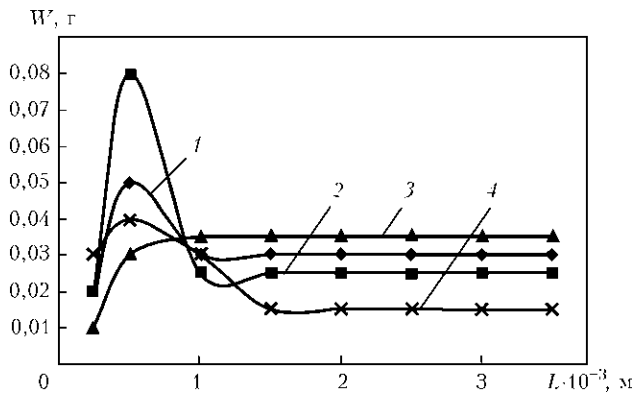


Рис. 6. Зависимость износостойкости W композиционного сплава с армирующими сферическими частицами плавленных карбидов вольфрама, полученных сфероидизацией оплавлением (1 — СФ-1; 2 — СФ-2; 3 — СФ-3) и термоцентробежным распылением (4 — ИЭС), от пути трения

прочностью частиц дробленого релита, у которых их износ, разрушение и выкрашивание острых углов происходит в больший период приработки образцов.

Характерной особенностью процесса износа композиционных сплавов является стабилизация износа образцов после приработки. При этом износ образцов с дроблеными частицами релита менее стабилен. Определено, что износостойкость композиционных сплавов уменьшается с увеличением размера частиц (рис. 7), что, по-видимому, подтверждает наличие теневого эффекта.

Как указывалось выше, процесс термоцентробежного распыления повышает однородность структуры частиц плавленных карбидов вольфрама, что положительно сказывается на их прочности. Усилие, необходимое для их разрушения, определяли на специальном устройстве. Частицы помещали между двумя шлифовальными пластинками и статически нагружали. Испытаниям подвергали 40 частиц каждой фракции ($d < 180$; 180...250; 250...450; 450...630; 630...900 мкм). Для дробленых зерен фракции менее 180 мкм провести измерения прочности не удалось в связи с их малым размером и сложностью определения нагрузки.

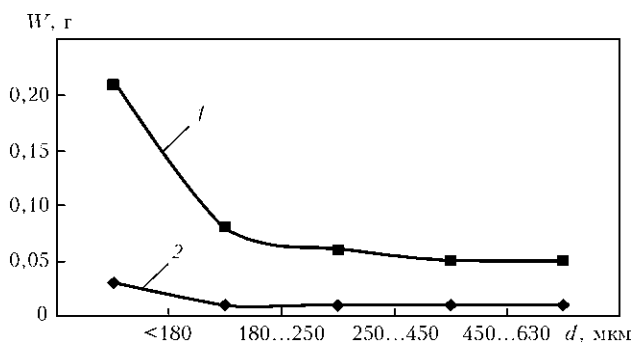


Рис. 7. Зависимость износостойкости W плавленных карбидов вольфрама от размера d армирующих дробленых (1) и сферических (2) частиц при $L = 2 \cdot 10^3$ м

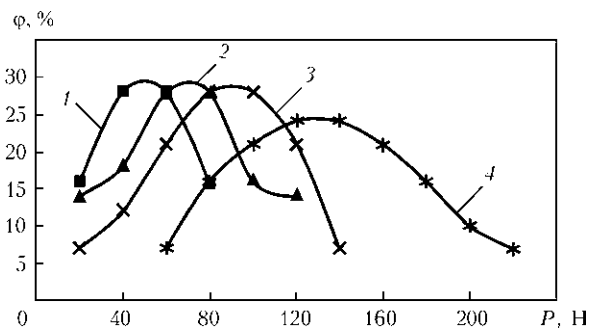


Рис. 8. Прочность ϕ частиц дробленого релита различного гранулометрического состава (ϕ — частота повторения; P — нагрузка): 1 — $d = 180 \dots 250$; 2 — 250...450; 3 — 450...630; 4 — 630...900 мкм

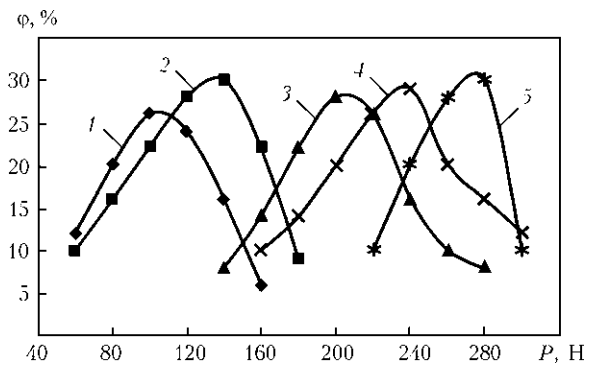


Рис. 9. Прочность ϕ сферических частиц релита различного гранулометрического состава, полученного термоцентробежным распылением: 1 — $d < 180$; 2 — 180...250; 3 — 250...450; 4 — 450...630; 5 — 630...900 мкм

На рис. 8 и 9 показано распределение прочности дробленых и сферических частиц релита разного гранулометрического состава, полученного термоцентробежным распылением. Сравнивали также прочность сферических частиц релита размером $d < 180$ мкм, полученного различными способами (рис. 10). Как видно из рисунка, самой высокой прочностью отличаются сферические частицы марки ИЭС, полученные в ИЭС им. Е. О. Патона способом термоцентробежного распыления.

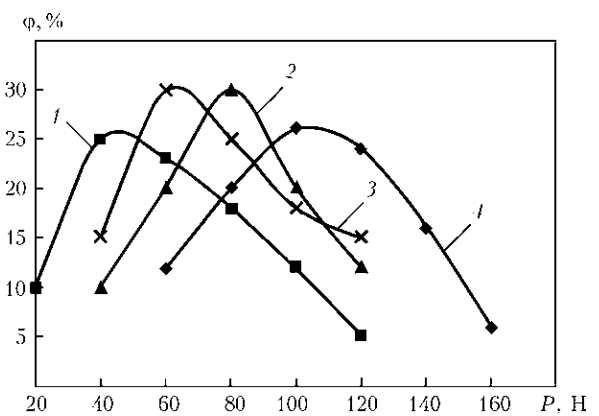


Рис. 10. Прочность ϕ сферических частиц релита, полученных сфероидизацией оплавлением (1 — СФ-1; 2 — СФ-2; 3 — СФ-3) и термоцентробежным распылением (4 — ИЭС)



Выводы

1. Сферическая форма армирующих частиц композиционных сплавов является оптимальной для достижения высокой концентрации износостойкой фазы в наплавочных материалах и износостойком слое, а также обеспечения стабильной работы технологического наплавочного оборудования.

2. Результатами исследований абразивной износостойкости композиционного сплава медно-никель-марганцевый мельхиор МНМц 60-20-20 + + релит, полученного различными способами, установлено, что наименьший износ наблюдался у сплава со сферическими частицами карбида вольфрама марки ИЭС, полученными термоцентробежным распылением слитков по технологии ИЭС им. Е. О. Патона. При этом увеличение размеров армирующих частиц повышает износостойкость композиционного сплава.

3. Исследования прочности частиц карбида вольфрама, полученных различными способами, показали, что наибольшую прочность имеют частицы, полученные термоцентробежным распылением в ИЭС им. Е. О. Патона.

1. *Состояние и перспективы развития производства релита для наплавки буровых долот / В. В. Паренчук, А. И. Белый, А. П. Жудра, В. И. Дзыкович // Цвет. металлы. — 2001. — № 1. — С. 92–93.*
2. *Меерсон Г. А., Зеликман А. Н. Металлургия редких металлов. — М.: Metallurgy, 1973. — 608 с.*
3. *Dignard N. M., Boulos M. I. Ceramic and metallic powder spheroidization using induction plasma technology // Materials of the united thermal spray conf., 15–19 Sept., 1997, Indianapolis. — Indianapolis: CRTP, 1997. — P. 29–31.*
4. *Pawlovski L. The science and engineering of thermal spray coatings. — Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1995.*
5. *Гладкий П. В. Исследование и разработка технологии плазменно-порошковой наплавки: Дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1972. — 233 с.*
6. *Федорченко И. М., Андриевский Р. А. Основы порошковой металлургии. — Киев: Изд-во АН УССР, 1963. — 420 с.*
7. *Жудра А. П. Исследование и разработка материалов для наплавки композиционных сплавов, стойких в условиях интенсивного абразивного износа: Дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1980. — 210 с.*
8. *Сферический релит. Способ получения и свойства / Ю. А. Юзвенко, Е. И. Фрумин, М. А. Пашенко и др. // Порош. металлургия. — 1975. — № 7. — С. 1–5.*
9. *Юзвенко Ю. А. Исследование и разработка материалов и технологии механизированной наплавки открытой дугой: Дис. ... д-ра техн. наук. — Киев, 1978. — 507 с.*
10. *Юзвенко Ю. А., Жудра А. П., Фрумин Е. И. Абразивный износ композиционных сплавов // Автомат. сварка. — 1973. — № 7. — С. 62–63.*

Investigation results are given on wear resistance and strength of fused tungsten carbide particles WC–W₂C produced by different methods: mechanical crushing of ingots, centrifugal thermal spraying and spheroidization of powders by using the induction plasma technology.

Поступила в редакцию 04.06.2010

ПЕТЕРБУРГСКАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ЯРМАРКА

15–17 марта 2011, Санкт-Петербург

- ▲ ВЫСТАВОЧНЫЕ ЭКСПОЗИЦИИ
- ▲ ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНГРЕСС
- ▲ БИРЖА ДЕЛОВЫХ КОНТАКТОВ
- ▲ КОНКУРСНАЯ ПРОГРАММА

Специализированные выставки:

- Металлургия. Литейное дело • Машиностроение
- Обработка металлов • Современное промышленное предприятие • Автопром / ICTA • Высокие технологии. Инновации. Инвестиции (Hi-Tech)

Специальные экспозиции:

- Коллективная экспозиция «Санкт-Петербург – регионы России» • Экспозиция субъектов малого предпринимательства Санкт-Петербурга

Совместно с Петербургской технической ярмаркой пройдут:

- II Международная специализированная выставка BLECH Russia
- V Петербургский Партнериат

Тел./факс: (812) 320-9676, 320-8092
E-mail: autopr@restec.ru

www.ptfair.ru