



## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ НА ГАЗОАБРАЗИВНУЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННОГО СПЛАВА

А. П. ВОРОНЧУК, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрено влияние концентрации твердых частиц на износостойкость композиционных сплавов. Показана избирательность износа композиционных сплавов. Проведен расчет износостойкости композиционного сплава по правилу аддитивности и получены сравнительные данные этого же сплава опытным путем.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка, наплавочные композиционные сплавы, твердые частицы, износостойкость, концентрация частиц, газоабразивный износ

Влияние концентрации твердых частиц на износостойкость наплавочных композиционных сплавов изучено недостаточно. Получение разной и заданной концентрации твердых частиц в матрице при наплавке композиционных сплавов сопряжено с большими трудностями. Это связано с тем, что твердые частицы, например, карбиды вольфрама, тонут в сварочной ванне и распределяются в ней весьма неравномерно, поэтому за концентрацию частиц релита в композиционном сплаве принята концентрация их в исходной шихте [1]. Для индукционной наплавки такое допущение недопустимо.

В опытах, рассмотренных ниже, изготовили специальные образцы моделей с заранее заданной концентрацией твердых частиц в плоскости изнашивания. В заготовке из стали 45 протачивали углубление, в которое засыпали в один слой спеченные шарики диаметром 1,0 мм из сплава ВК8. В промежутки между шариками засыпали порошок никелевого сплава-связки типа колмоной следующего состава, мас. %: 15 Сг; 4,5 Si; 4,0 Fe; 3,75 В. На рельефной контактной машине МР-8001 между двумя графитовыми электродами образец нагревали до расплавления сплава-связки. Необходимую концентрацию частиц ВК8 в плоскости износа получали путем сошлифовки композиционного слоя на определенную глубину. При этом изменялся диаметр сечения шарика в плоскости изнашивания, однако изменение было небольшим и находилось в диапазоне, в котором износ несущественно зависит от размера частиц [2, 3]. Таким образом получены образцы трех концентраций частиц, об. %: 30...32; 49...53; 73...77. Микротвердость матрицы сплава составляла 4200...5860, а частиц ВК8 — 20780...22140 МПа.

Испытания выполняли на установке ОБ-876 при следующих условиях: угол атаки струи 30°,

© А. П. Ворончук, 2009

абразив — кварцевый песок, избыточное давление перед соплом 0,24 МПа. Износ оценивали потерей массы образцов и построением профилограмм изношенной поверхности. Относительную износостойкость композиционного сплава определяли по отношению к износу низкоуглеродистой отожженной стали. Кинетику износа композиционного сплава можно рассматривать, проводя испытания (при постоянном расходе абразива) в зависимости от времени испытаний, определяемого расходом абразива. При этом возможны два подхода к анализу процесса изнашивания. В первом относительная износостойкость после каждого измерения определяется как

$$\varepsilon = \frac{\Delta m_{\varepsilon}}{\Delta m_{\kappa}}, \quad (1)$$

где  $\Delta m_{\varepsilon}$ ,  $\Delta m_{\kappa}$  — потеря массы эталонного образца и образца испытываемой композиции от начала испытаний до данного измерения.

Относительная износостойкость  $\varepsilon$  определяется на основе суммарных потерь массы образцов за все время испытаний. На рис. 1 приведено изменение относительной износостойкости  $\varepsilon$  в зависимости от расхода абразива для композиций с разной концентрацией частиц ВК8. В начале испытаний наблюдается некоторое снижение  $\varepsilon$ , а затем при увеличении времени испытаний относительная износостойкость достигает некоторого постоянного значения, которое зависит от концентрации износостойкого компонента сплава. Увеличение концентрации износостойкого компонента в сплаве сопровождается возрастанием  $\varepsilon$ . Некоторое снижение  $\varepsilon$  в начальный период испытаний связано, скорее всего, с оголением частиц ВК8 и бомбардировкой их по боковым граням под большим углом атаки, что вызывает ускоренный износ частиц.

Кинетику износа композиции можно рассматривать и дискретно на отдельно взятых промежутках времени. В этом случае относительная из-

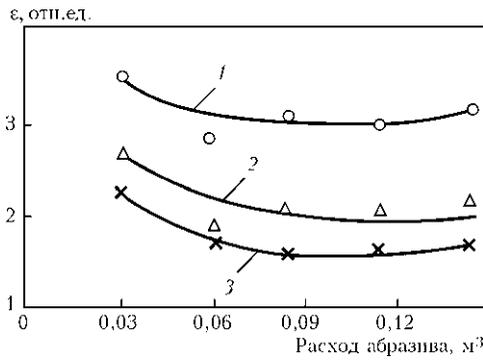


Рис. 1. Зависимость суммарной относительной износостойкости  $\epsilon$  от расхода абразива при разной концентрации частиц в композиции: 1 — 75; 2 — 52; 3 — 30 %

носостойкость  $\epsilon^1$  определяется следующим образом:

$$\epsilon^1 = \frac{m_{n-1, \text{э}} - m_{n, \text{э}}}{m_{n-1, \text{к}} - m_{n, \text{к}}}, \quad (2)$$

где  $m_{n-1, \text{к}}$ ,  $m_{n-1, \text{э}}$  — соответственно массы образцов композиции и эталона при предыдущем взвешивании;  $m_{n, \text{к}}$ ,  $m_{n, \text{э}}$  — то же при последующем взвешивании.

Изменение  $\epsilon^1$  во времени имеет циклический характер (рис. 2). Такой характер изменения  $\epsilon^1$  следует объяснить избирательностью износа композиции. Рассмотрим один цикл. Первоначально изнашивается сравнительно менее износостойкая матрица и  $\epsilon^1$  композиции уменьшается, затем выступающие армирующие частицы предохраняют матрицу от дальнейшего разрушения и начинается преимущественно их износ. При этом значение  $\epsilon^1$  возрастает. Постепенно, по мере износа армирующих частиц, благоприятный для матрицы теневой эффект ослабевает и вновь начинается интенсивный износ матрицы, цикл повторяется. Характер цикла (отклонение  $\epsilon^1$  от среднего значения, длительность цикла и т. п.) зависит от концентрации армирующих частиц, разницы в физико-механических свойствах матрицы, а также от раз-

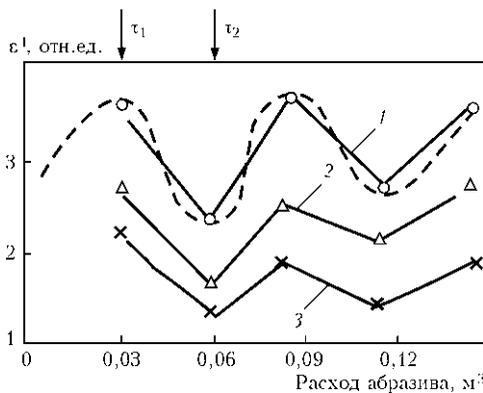


Рис. 2. Зависимость дискретной относительной износостойкости  $\epsilon^1$  композиционного сплава от расхода абразива при разной концентрации частиц ВК8: 1 — 75; 2 — 52; 3 — 30 %, штриховая кривая — теоретическая

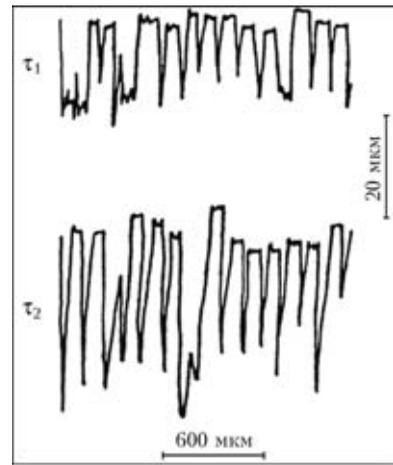


Рис. 3. Профилограммы изношенной поверхности композиционного сплава с концентрацией твердых частиц 75 об. % ( $\tau_1$ ,  $\tau_2$  — см. рис. 2)

ной способности компонентов композиции сопротивляться износу при изменяющихся в процессе испытаний углах атаки. О том, что интенсивность износа матрицы в промежутке времени (рис. 2) возрастает, свидетельствуют и профилограммы изношенной поверхности, приведенные на рис. 3. Впадины на профилограмме соответствуют глубине износа матрицы композиции. Чем меньше концентрация армирующих частиц, тем больше глубина впадин. Так, после расхода абразива 0,06 м³ средняя глубина впадин для образцов с концентрациями частиц ВК8 75, 52 и 30 % составила соответственно 21,2, 30,9 и 35,4 мкм.

Определим, подчиняется ли износ  $W_k$  композиции «твердая частица–матрица» правилу аддитивности:

$$W_k = W_r C_r + W_m (1 - C_r), \quad (3)$$

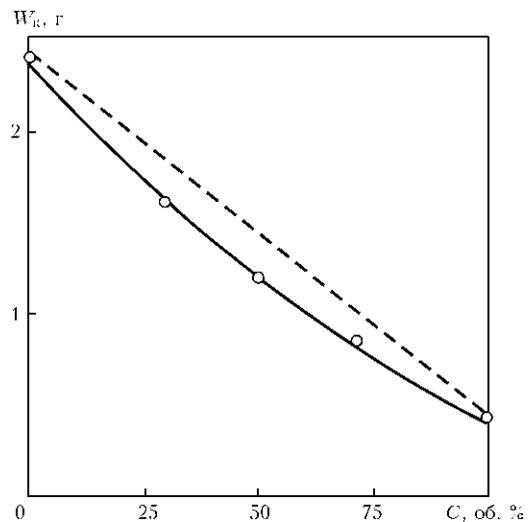


Рис. 4. Влияние концентрации твердых частиц на износ композиционных сплавов: сплошная кривая — опытные данные; штриховая — расчет по уравнению (3)



где  $W_p$ ,  $W_m$  — износ соответственно частиц и матрицы;  $C_p$  — объемная доля частиц в композиции.

Газоабразивному износу при угле атаки  $30^\circ$  подвергались образцы модели — матрица и спеченный сплав ВК8. В качестве абразива использовали кварцевый песок, а эталоном, как и в предыдущих опытах, служила низкоуглеродистая сталь. Результаты испытаний приведены на рис. 4.

По экспериментальным данным износ матрицы (сплава типа колмоной) составлял 2,74 г; твердых частиц ВК8 — 0,46 г. Износ композиционных сплавов с 30 об. % частиц составлял: 1,62 (эксперимент) и 1,916 (расчет); с 52 об. % — 1,24 (1,396); с 75 об. % частиц — 0,91 (0,947).

Effect of concentration of hard particles on wear resistance of composite alloys is considered. Selectivity of wear of composite alloys is shown. Calculation of wear resistance of a composite alloy according to the additivity rule was made, and comparative data on the same alloy were obtained experimentally.

Таким образом, расхождение опытных и расчетных результатов для износа составляет около 12 %. Расчет износа композиционного сплава по правилу аддитивности приводит к значительным ошибкам, обусловленным избирательностью износа компонентов композиции.

1. Клейс И.Р., Ступницкий А. М., Пирогов С. Я. Изнашивание композиционных сплавов на основе релита скользящей струей абразива // Автомат. сварка. — 1977. — № 5. — С. 60–61.
2. Особенности газоабразивного износа композиционных сплавов / Ю. А. Юзвенко, А. П. Жудра, Е. И. Фрумин, В. А. Гавриш // Там же. — 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.

Поступила в редакцию 08.04.2009

## ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СВАРКОЙ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ КРУПНОГАБАРИТНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Цель выполняемых работ — восстановление целостности, геометрических размеров и форм изделий из высокопрочных сталей, включая цельнолитые конструкции с толщиной элементов до 300 мм (при наличии усталостных трещин и выработок)



ГИДРОЦИЛИНДР ПРЕССА (сталь 35Л),  
ЗАО «Сентравис Продакшн Юкрейн»



ОКОМКОВАТЕЛЬ (сталь 50), 30 т  
ОАО «Полтавский ГОК»

Условия выполнения работ — с частичным демонтажом технологического оборудования для обеспечения доступа к месту ремонта.

### Основные положения технологии ремонта:

- контроль качества металла на всех стадиях технологического процесса
- регулирование термического цикла при удалении дефектов и восстановлении сваркой мест ремонта
- снижение сварочных напряжений и деформаций в изделии.

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, Киев-150, ул. Боженко, 11.  
Тел.: 287-43-66; факс: (38044) 528-04-86; E-mail: office@paton.kiev.ua