

Как видно из рис. 1...3, круги из карбида кремния зеленого более работоспособны, чем круги из электрокорунда белого. Для кругов 63С40СМ1К с увеличением поперечной подачи происходит возрастание удельной производительности обработки, тогда как для кругов 24А40СМ1К наблюдается, наоборот, ее уменьшение.

Шероховатость обработанной поверхности изменяется незначительно. Если учесть, что требуемую шероховатость поверхности относительно легко можно обеспечить введением нескольких проходов выхаживания, то становится ясно, что для обеспечения высокой производительности и повышения удельной производительности шлифование сплава ПГ-СР4 следует вести с высокими подачами. Можно сказать, что наибольший эффект по производительности будет получен на режимах шлифования с высокими  $s_{\text{поп}}$  кругами из карбида кремния зеленого.

УДК 621.81.004.67

Е.Н.Сташевская, М.А.Кардаполова

## МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЙ НА ТРЕНИЕ

Покрытия из различных материалов, полученные плазменным напылением, применяются для увеличения износостойкости деталей машин, работающих в различных условиях. При этом изучение физико-химических и механических процессов, происходящих в поверхностных слоях трущихся пар, представляет собой определенный интерес.

Для определения влияния внешних факторов (температуры окружающей среды, скорости скольжения и удельного давления) на величину износа плазменных покрытий и качественные превращения в них были проведены лабораторные испытания. С помощью модернизированной установки МИ-1М исследовались самофлюсующиеся твердые сплавы на никелевой основе при трении без смазки (интервалы скоростей скольжения 0,5...2,0 м/с, температура окружающей среды 473...873<sup>o</sup>К, удельное давление 0,4...4 МН/м<sup>2</sup>). Исследуемые материалы (сплавы ПГ-СР2 и ПГ-СР4) наносились на чугунную основу методом плазменного напыления с последующим оплавлением газопламенной горелкой. Материал подвижного образца (контртела) - твердый сплав ВК8, наружный диаметр образца 40 мм, высота 5 мм. Размеры исследуемого образца (неподвижного) - 5 x 5 x 15 мм. Из-

нос образцов из исследуемых материалов определялся линейным методом.

При исследовании износостойкости покрытий использовали математическое планирование эксперимента. В результате выведены эмпирические зависимости:

для сплава ПГ-СР4

$$y = 341,096 + 198,693x_1 + 218,074x_2 + 203,462x_3 + \\ + 117,500x_1x_2 + 119,400x_1x_3 + 123,400x_2x_3 + 75,812x_1x_2x_3 + \\ + 102,170x_1^2 - 6,978x_2^2 + 10,377x_3^2 + 32,703x_1^3 - 3,463x_2^3 - \\ - 3,973x_3^3 ;$$

для сплава ПГ-СР2

$$y = 804,75 + 365,75x_1 + 351,75x_2 + 337,25x_3 + 19,75x_1x_2 + \\ + 159,75x_1x_3 + 163,75x_2x_3 ,$$

где  $y$  - износ сплава;  $x_1$  - температура окружающей среды;  $x_2$  - скорость скольжения;  $x_3$  - удельное давление. Факторы  $x_1, x_2, x_3$  в уравнениях представлены в кодированном виде.

Режимы испытаний оказывают влияние на износ покрытий: с увеличением температуры, скорости скольжения и удельного давления износ сплавов возрастает.

Для выявления качественных превращений, происшедших на поверхности в процессе трения, исследовались микротвердость и микроструктура всех испытанных образцов. Анализ структур покрытий, испытанных при различных режимах, производился с учетом исходной структуры сплавов и структуры сплавов, прошедших термическую обработку. Термическая обработка заключалась в нагреве до заданной температуры, выдержке при этой температуре в течение 300 мин, охлаждении на воздухе.

Исследование микротвердости сплавов производилось с помощью прибора ПМТ-3 вдоль поверхности трения на расстоянии 0,05...0,10 мм от края через 0,10 мм и перпендикулярно поверхности трения через 0,05 мм. Нагрузка на индентор составляла 100 Г. Подготовка образцов к металлографическим исследованиям выполнялась по общеизвестной методике.

Расшифровка составляющих структуры самофлюсующихся сплавов по микротвердости очень сложна, так как микротвердость ряда кристаллов незначительной величины измерить труд-

но. Поэтому не удается полностью расшифровать микроструктуру сплавов.

Сплав ПГ-СР4 в исходном состоянии имеет крупнозернистую структуру и состоит из твердого раствора на основе никеля с микротвердостью  $4110...4150 \text{ МН/м}^2$ , сложной эвтектики с микротвердостью  $5400...8500 \text{ МН/м}^2$  и первичных кристаллов с микротвердостью  $16450 \text{ МН/м}^2$ . Поры практически не наблюдаются. Структура и микротвердость сплава, подвергнутого термической обработке (нагрев в печи до температур  $473; 793; 873; 1073 \text{ }^\circ\text{K}$ ), по сравнению с исходной структурой практически не изменяются.

Исследование микроструктуры сплава ПГ-СР4 показало, что с увеличением температуры испытаний при трении структура сплава в основном укрупняется, а микротвердость снижается. Например, при температуре испытаний  $473 \text{ }^\circ\text{K}$  сплав ПГ-СР4 имеет мелкозернистую структуру, микротвердость которой  $5900...7830 \text{ МН/м}^2$ , а при  $873 \text{ }^\circ\text{K}$  структура укрупняется, микротвердость снижается до  $3700...6370 \text{ МН/м}^2$  (испытания проводились при скорости скольжения  $1,25 \text{ м/с}$ , удельном давлении  $2,2 \text{ МН/м}^2$ ). Микроструктура и микротвердость сплава изменяются также с увеличением скорости скольжения и удельного давления. Например, сплав, испытанный при скорости скольжения  $0,5 \text{ м/с}$ , удельном давлении  $2,2 \text{ МН/м}^2$ , температуре  $673 \text{ }^\circ\text{K}$ , имеет мелкозернистую структуру, микротвердость которой  $5400...7330 \text{ МН/м}^2$ , а при скорости  $2,0 \text{ м/с}$  - крупнозернистую структуру с микротвердостью  $3240...6830 \text{ МН/м}^2$ . Сплав, испытанный при удельном давлении  $0,4 \text{ МН/м}^2$ , имеет микротвердость  $3700...7260 \text{ МН/м}^2$ , а при удельном давлении  $4 \text{ МН/м}^2$  -  $5150...6320 \text{ МН/м}^2$  (испытания проводились при температуре  $673 \text{ }^\circ\text{K}$ , скорости скольжения  $1,25 \text{ м/с}$ ).

При рассмотрении структуры сплава ПГ-СР4 в оптический микроскоп ( $\times 450$ ) на поверхности трения пленки окислов не обнаружены.

Структура наплавленного сплава ПГ-СР2 состоит из твердого раствора на основе никеля, микротвердость которого  $2700...3520 \text{ МН/м}^2$ , и сложной эвтектики с микротвердостью  $5400...7500 \text{ МН/м}^2$  [1]. Исследуемый сплав ПГ-СР2 в исходном состоянии имеет мелкозернистую структуру преимущественно без пор с микротвердостью  $5400...7830 \text{ МН/м}^2$ . При термической обработке (нагрев до  $473; 553; 673; 793; 873; 1073 \text{ }^\circ\text{K}$ ) микротвердость и структура сплава не изменяются. Сплав в процессе всех испытаний на трение приобретает крупнозернистую

тую структуру, микротвердость которой 2450...4900 МН/м<sup>2</sup>. В структуре сплава наблюдается большое количество крупных и мелких пор. Пленки окислов на поверхности трения не обнаружены.

В данных условиях в процессе трения трущиеся поверхности испытывают пластические деформации. Температура окружающей среды и температура, возникающая на поверхности трения, также способствуют развитию пластических деформаций, тепловых напряжений. При пластическом деформировании на поверхности трения образуются ювенильные участки сплава, происходит сближение контактирующих поверхностей и возникновение металлических связей. Тепловые напряжения могут появляться из-за различия температурного градиента, а также при нагревании материала, в состав которого входит несколько составляющих с различными коэффициентами термического расширения. В результате в процессе трения покрытия из самофлюсующихся твердых сплавов ПГ-СР4 и ПГ-СР2 испытывают качественные изменения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гладкий П.В., Переплетчиков Е.Ф., Фрумин И.И. Плазменная наплавка хромоникелевых сплавов, легированных кремнием и бором. - Автоматическая сварка, 1968, №9.

УДК 621.793

#### В.С.Ивашко, Н.В.Спирidonов, В.Х.Галюк, Г.М.Яковлев ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ГОРЕЛКИ

Основное влияние на качество напыленного слоя оказывает прочность сцепления напыленных частиц с основой детали. Для увеличения прочности сцепления необходимо, чтобы большее количество частиц приварилось к основе. Согласно [1], размер зоны сплавления частиц за один проход плазменной горелки приблизительно равен  $2\sigma$  ( $\sigma$  - среднее отклонение кривой нормального распределения Гаусса). Следовательно, скорость перемещения горелки должна быть выбрана при условии нанесения равномерного слоя в пределах зоны сплавления.

Рассмотрим более подробно условия нанесения такого слоя. Количество частиц, приварившихся к основе детали

$$n = \frac{Q k t}{\frac{4}{3} \pi r^3 \gamma} \quad (1)$$