

растает. Наиболее характерной формой, которую частицы приобретают в высокотемпературном потоке, является форма, близкая в сечении к эллипсу (рис. 2, в).

Как показывает статистический анализ, на долю частиц несферической формы приходится до 25–30% от общего их количества, причем значительное количество частиц образуется за счет коагуляции. На графике (рис. 1, б) показан характер сваривания крупной и мелкой фракции частиц в процессе коагуляции. Значительное количество частиц исходных порошков имеет внутреннюю полость (рис. 2, г).

Таким образом, для исследованных порошковых сплавов и выбранных режимов напыления наиболее эффективно напыляются частицы диаметром 75–80 мкм и менее эффективно – диаметром 115–125 мкм. С наименьшей эффективностью напыляются частицы малого диаметра, порядка 20–25 мкм.

#### Л и т е р а т у р а

1. Краснов А.И., Шаривкер С.Ю. Плазменные покрытия. – В сб.: Высокотемпературные покрытия. Л., 1967, с. 161–173.

УДК 621.793.7:621.78

В.С.Ивашко, канд. техн. наук,  
А.С.Никитина (БПИ)

#### РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЧНОГО ОПЛАВЛЕНИЯ НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Для получения покрытия, обладающего высокой износостойкостью и одновременно хорошими механическими свойствами, можно применить способ оплавления нанесенного слоя, заключающийся в чередовании оплавленных и неоплавленных участков покрытия. Оплавленные участки обеспечивают прочность слоя, неоплавленные повышают износостойкость покрытия вследствие большей маслоудерживающей способности. Поры являются как бы резервуарами смазки, которая равномерно распределяется по всей трущейся поверхности.

Определим минимальную ширину неоплавленных участков покрытия, исходя из равнопрочности наплавленной зоны во всех направлениях (рис. 1):  $b$  – ширина неоплавленного участка;  $B$  – ширина оплавленного участка;  $h$  – толщина покрытия.

Тогда можно записать  $P_1 + P_2 = P_3 + P_4$ , (1)  
где  $P_1 = \sigma_1 b l$  – необходимое усилие для отрыва напыленного слоя от основы детали;  $P_2 = 2\sigma_2 l h$  – необходимое усилие сдвига неоплавленного участка по отношению к оплавленным;

$P_3 = \sigma_3 lh$  - необходимое усилие для отрыва неоплавленного участка от оплавленного;  $P_4 = \sigma_4 bl$  - необходимое усилие для сдвига неоплавленного участка относительно основы детали;  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  - соответственно коэффициент сцепления покрытия с основой детали, коэффициент сдвига напыленного покрытия по отношению к оплавленному, коэффициент сцепления неоплавленного покрытия с оплавленным, коэффициент сдвига напыленного слоя относительно основы детали.

Между коэффициентами  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  существуют примерно следующие соотношения:  $2,5\sigma_1 = \sigma_2$ ;  $2\sigma_1 = \sigma_3$ ;  $1,5\sigma_1 = \sigma_4$ .

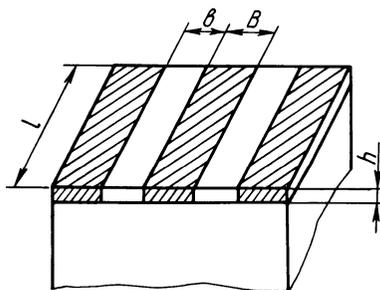


Рис. 1. Схема определения оптимального соотношения оплавленных и неоплавленных участков покрытия.

Подставим в уравнение (1) значения  $P_1, P_2, P_3$  и  $P_4$ , преобразуем его и получим соотношение  $b = 6h$ .

Соотношение ширины неоплавленного участка покрытия и оплавленного определим из условия создания равномерной пленки смазки на всей поверхности покрытия за счет дополнительной смазки в порах. В качестве смазывающей жидкости применяется нефть.

В процессе трения одной поверхности материала о другую в зоне трения возникает повышенная температура, которая вызывает изменение площади поверхности трущихся материалов и объема смазки.

Значение выделившейся энергии на участке оплавленной и неоплавленной зоны  $(b + B)$  при условии, что вся работа трения переходит в тепло, определим по выражению

$$w = Pf [1(b + B)] (b + B),$$

где  $P$  - давление в месте контакта двух трущихся тел;  $f$  - коэффициент трения.

Выделившаяся энергия в процессе трения расходуется на нагрев поверхностных слоев трущейся пары. Тогда

$$\left\{ [lhb\gamma_{\text{п}}(1 - \delta) + lhB\gamma_{\text{п}}]C_{\text{п}} + V_0\gamma_{\text{с}}C_{\text{с}} + lh(b + B) \times \gamma_{\text{м}}C_{\text{м}} \right\} \Delta T = w,$$

где  $\gamma_{\text{п}}, C_{\text{п}}$  - плотность и удельная теплоемкость материала по-

крытия;  $\gamma_M^*$ ,  $C_M$  - плотность и удельная теплоемкость контртела;  $\gamma_C^*$ ,  $C_C$  - плотность и удельная теплоемкость смазки;  $\delta$  - пористость неоплавленного участка покрытия;  $V_O$  - объем смазки;  $\Delta T$  - изменение температуры поверхностных участков пары трения.

Объем смазки в порах неоплавленного участка покрытия и углублениях шероховатости трущихся поверхностей можно записать в виде

$$V_O = V_{\Pi O} + V_{HO} + V_{KO},$$

где  $V_{\Pi O} = bh\delta$  - объем смазки в порах неоплавленных участков покрытий;  $V_{HO} = \frac{bIRz}{2}$  - объем смазки в неровностях оплавленных участков покрытий;  $V_{KO} = (b + B)\frac{IRz}{2}$  - объем смазки в неровностях контртела.

Изменение температуры поверхностного слоя за счет сил трения можно вычислить следующим образом:

$$\Delta T = \frac{Pf(b + B)}{[hb(1 - \delta) + hB]\gamma_{\Pi}^*C_{\Pi} + h(b + B)\gamma_M^*C_M + [bh\delta + \frac{bRz}{2} + (b + B)\frac{Rz}{2}]\gamma_C^*C_C}.$$

Тогда объем смазки увеличится на величину  $\Delta V = V_T - V_O$ , где  $V_T = V_O(1 + \beta_C \Delta T)$ ,  $\beta_C$  - коэффициент объемного расширения смазки.

Локальный нагрев неоплавленной зоны ведет к уменьшению объема пор. Уменьшение объема определим следующим образом:

$$\Delta V_{\Pi} = -3\alpha_{\Pi} \Delta T V_O,$$

где  $\alpha_{\Pi}$  - коэффициент линейного расширения материала покрытия.

Изменением объема углублений шероховатости трущихся поверхностей можно пренебречь. Тогда увеличение объема смазки от действия локальной температуры, возникающей в процессе трения за счет расширения смазки и уменьшения размера пор, можно записать:

$$\Delta V_C = \Delta V - \Delta V_{\Pi},$$

а толщину масляной пленки между трущимися поверхностями -

$$t_1 = \Delta V_C / [(B + b)\downarrow]$$

После подстановки соответствующих значений и преобразований получим

$$t_1 = \frac{[bh\delta + B\frac{Rz}{2} + (b + B)\frac{Rz}{2}](\beta_C + 3\alpha_{\Pi})\Delta T}{B + b}. \quad (2)$$

При трении двух поверхностей происходит постепенный разогрев поверхностей трения, и смазка, находящаяся в порах, образует пленку, толщина которой определяется по выражению (2).

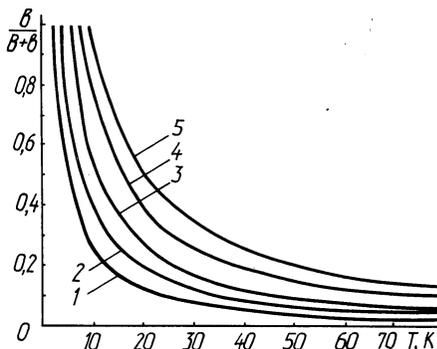
Преобразовывая его, запишем

$$\frac{b}{B + b} = \frac{t_1}{h\delta(\beta_0 + 3\alpha_{II})\Delta T}$$

Подставляя значения температуры и принимая, что  $t_1 = R_z$ , построим зависимость  $b/(b + B)$  от температуры нагрева узла трения.

Рис. 2. Зависимость соотношения оплавленных и неоплавленных участков покрытия от увеличения температуры нагрева узла трения (для всех случаев  $\delta = 0,2$ ):

- 1 -  $t_1 = R_z = 1$  мкм;  $h = 2,0$  мм;
- 2 -  $t_1 = R_z = 1$  мкм;  $h = 1,5$  мм;
- 3 -  $t_1 = R_z = 1$  мкм;  $h = 1,0$  мм;
- 4 -  $t_1 = R_z = 2$  мкм;  $h = 1,5$  мм;
- 5 -  $t_1 = R_z = 2$  мкм;  $h = 1,0$  мм.



Задаваясь отношением  $b/(b + B)$  и  $b = 6h$ , для каждого конкретного узла трения можно определить ширину оплавленной зоны. Эта зависимость представлена на рис. 2.

УДК 621.793

Е.А.Бондарев, Е.Д.Манойло,  
В.А.Лубочкин (БПИ)

### К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В данной статье описаны два устройства, с помощью которых решаются задачи, возникающие при напылении внутренних поверхностей.

Напыление внутренних поверхностей порошковыми материалами производится с помощью удлинителя, который присоединяется к газопламенной горелке (рис. 1). Конструкция удлинителя позволяет производить напыление под определенным углом к напыляемой поверхности. Однако имеется ряд деталей со сложным профилем внутренней поверхности.

Для обеспечения возможности напыления таких деталей поверхность корпуса головки, к которой примыкает сопловой наконечник, выполняют под углом  $45^\circ$ ,  $30^\circ$  и т. д. к продольной оси. Это требует дополнительных затрат на изготовление набора удлинителей с различными угловыми головками, а отсутствие