

Толщина диффузионного слоя и его зон определяется температурно-временным режимом насыщения, составом насыщающих смесей и маркой стали.

При хромировании однофазных боридных слоев бориды хрома не образуются вследствие недостатка бора. При этом происходит лишь легирование хромом борида железа. Диффузионные слои такого состава уступают по свойствам слоям на основе боридов хрома.

Лабораторные испытания свойств разработанных покрытий показали, что диффузионные слои на основе боридов хрома по износостойкости в условиях трения без смазочного материала превосходят борированные в 1,5–2 раза, по жаростойкости – в 10–12 раз, а их коррозионная стойкость в ряде агрессивных сред та же, что и хромоникелевой нержавеющей стали.

Производственные испытания борохромированных деталей машин и технологической оснастки в условиях коррозионно-абразивного изнашивания свидетельствуют о повышении эксплуатационной стойкости упрочненных деталей в 2–5 раз.

*УДК 621.785.539*

**В.Ф.ПРОТАСЕВИЧ, канд.техн.наук,  
Г.В.ВОРОНОВИЧ, Ж.Б.САВИЦКАЯ (БПИ)**

### **ДИФфуЗИОННОЕ ХРОМИРОВАНИЕ В ПОРОШКОВЫХ СРЕДАХ**

Одним из наиболее эффективных способов интенсификации диффузионных процессов является введение в насыщающую среду веществ с низкой температурой плавления. Имеется ряд работ, в которых показано действие таких добавок, как сурьма, хлористый цинк, цинк. В работе представлены результаты исследований свойств и структур диффузионных слоев на стали У8 после насыщения в порошковых средах, содержащих добавки Sn и Cu.

Насыщение проводили при 1000 °С в течение 4 ч. Для сокращения продолжительности эксперимента использовали один из методов математического планирования – метод Бокса–Уилсона. В качестве плана эксперимента была взята дробная реплика  $2^{4-1}$ , причем факторами являлись компоненты среды. Это позволило исследовать насыщающую способность хромирующей среды в зависимости от содержания компонентов, входящих в состав порошковой смеси: оксида хрома, алюминия, оксида алюминия, олова и меди. Составы насыщающих сред и толщина диффузионных слоев представлены в табл. 1.

Анализ структур диффузионных слоев на стали У8 показал, что возможно образование трех типов покрытий.

Первый тип – сплошные карбидные хромированные слои толщиной до 15 мкм, состоящие из карбидов хрома  $Cr_{23}C_6$  и  $Cr_7C_3$  и образующиеся при насыщении из сред № 4, 8–11.

Второй тип – алитированные слои (опыты 1, 2, 5 и 6), которые формируются в средах, содержащих порошок алюминия на верхнем уровне (15 %). Толщина слоев при данных условиях насыщения составляет от 60 до 190 мкм (табл. 1).

номер пыта	Состав среды (массовая доля, %)				Толщина слоя, мкм
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al	Sn	Cu	
1	30	15	30	20	60
2	10	15	30	10	160
3	30	5	30	10	70
4	10	5	30	20	10
5	30	15	20	10	190
6	10	15	20	20	190
7	30	5	20	20	50
8	10	5	20	10	15
9, 10, 11	20	10	25	15	15

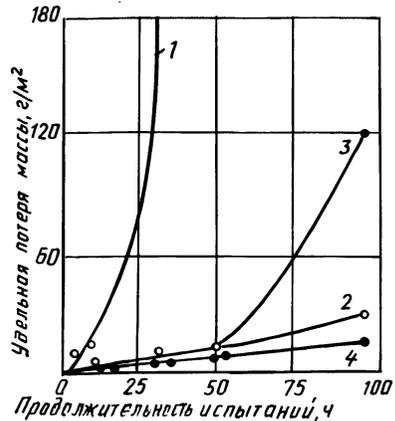


Рис. 1. Коррозионная стойкость карбидных хромированных слоев:  
 3, 4 — 10%-ный р-р H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 1, 2 — 10%-ный р-р HNO<sub>3</sub>; 1, 3 — (53 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 17 % Al + 30 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) + NH<sub>4</sub>Cl; 2, 4 — (30 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 5 % Al + 30 % Sn + 10 % Cu + 25 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) + 1 % NH<sub>4</sub>Cl

Насыщение из сред № 3 и 7 приводит к формированию карбидного хромированного слоя, который в верхней части имеет плотное строение, а затем разветвляется и проникает вглубь до 70 мкм ( $t = 1000^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 4$  ч). В этом случае формируется карбид Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>.

Новые карбидные слои, полученные на стали У8, исследовали на жаро- и коррозионную стойкость. Испытания на коррозионную стойкость проводили в 10 %-ных водных растворах серной и азотной кислот. Легирование диффузионного слоя оловом и медью увеличивает коррозионную стойкость в указанных средах по сравнению со стойкостью традиционных карбидных хромированных слоев (рис. 1).

Жаростойкость диффузионных слоев исследовали гравиметрическим способом с привлечением метода симплексных решеток. При этом изучили среды, в которые входили традиционная смесь для хромирования, смеси, содержащие добавки олова, меди и одновременно олова и меди. По результатам испытаний при  $900^\circ\text{C}$  в течение 50 ч составили уравнение, устанавливающее зависимость удельного прироста массы от состава насыщающей среды. Анализ математической модели показал, что для карбидных хромированных слоев, полученных из традиционного состава и из состава с добавками меди, уровень жаростойкости составляет 4–8 г/м<sup>2</sup>. Введение в порошковую среду для насыщения

комплексной добавки олово-медь резко снижает жаростойкость диффузионного слоя. С увеличением ее содержания в смеси удельный прирост массы возрастает и может достигать  $600 \text{ г/м}^2$ .

УДК 621.785.5

Е.А.КУЛИКОВСКИЙ, канд.техн.наук,  
Е.Ф.КЕРЖЕНЦЕВА, Л.П.БОКОВА,  
Н.И.ИВАНИЦКИЙ, канд.техн.наук (БПИ)

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ ЗАЩИТНЫХ ПРОТИВООКСИДНЫХ ОБМАЗОК

Исследовали составы обмазок, предназначенных для защитных изделий от поверхностного оксидирования при химико-термической обработке. В качестве основных стеклообразователей были выбраны борный ангидрид ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) и оксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ). Установлено, что введение 30–40 % борного ангидрида обеспечивает низкую температуру начала размягчения состава и образование вязкой сплошной корки, предотвращающей поверхностное оксидирование образцов уже при низких температурах (менее  $650^\circ\text{C}$ ) и способствует незначительному изменению вязкости состава при длительном нагреве (до  $900^\circ\text{C}$ ).

Оксид кремния (40–50 %) обеспечивает повышение тугоплавкости покрытия, т. е. препятствует стеканию состава при повышенных температурах (свыше  $700^\circ\text{C}$ ).

Следует рекомендовать введение 10–20 % оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) в боросиликатную смесь для повышения тугоплавкости и снижения химической активности защитных противоксидных обмазок.

Благоприятное влияние на защитные свойства обмазок обнаружено при добавлении 10–20 % легкоплавких оксидов сурьмы ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ) и особенно свинца ( $\text{PbO}$ ), способствующих получению плотных и равномерных покрытий, полностью предохраняющих металл от оксидирования при высоких температурах.

Добавление 10 %  $\text{BaO}$  приводит к образованию на поверхности пенообразной стекломассы с повышенной пористостью, образцы оксидируются даже при низких температурах испытания.

Введение порошков алюминия, кремния и железа (5–10 %) с целью повышения прочности и сцепляемости покрытий положительных результатов не дало.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно рекомендовать следующие составы противоксидных обмазок (массовая доля): 30–40 %  $\text{B}_2\text{O}_3$ ; 40–50 %  $\text{SiO}_2$ ; 10–20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 10–20 %  $\text{PbO}$ .

В качестве связующего использовали гидролизованый этилсиликат.

Пористость защитных противоксидных обмазок определяли гидростатическим методом.