

ких свойств, который остается стабильным в течение длительного времени выстаивания, что полностью удовлетворяет требованиям при заливке алюминий-кремниевых сплавов в цеховых условиях. Для получения модифицирующего эффекта продолжительностью 4...5 ч содержание стронция в сплаве должно быть в пределах 0,01...0,03 %, 2...3 ч — 0,005...0,01 %. При концентрации стронция менее 0,005 % длительный эффект модифицирования не проявляется. Однако образующаяся при обработке сплава стронцийсодержащими лигатурами рассеянная микропористость позволяет применять сплав только для производства машиностроительных отливок, к которым не предъявляются повышенные требования по герметичности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Luis-Martin L., Ferriera-Rodriguez S. Modification permanent def allages Al—Si eutectiques et voisins de l'eutectique. Перманентное модифицирование сплавов алюминий—кремний эвтектических и близких к эвтектическим // Fonderie. — 1977. — N 372.
2. Hess P.D., Blackman E.V. Strontium as a modifying agent for hypoeutectic aluminum — silicon alloys. Модифицирование доэвтектических силуминов стронцием // Transactions. — 1975. — S. 87—90.
3. Модифицирование силуминов стронцием / И.Н. Ганиев, П.А. Пархутик, А.В. Ваховов, И.Ю. Куприянова. — Минск, 1985. — 141 с.
4. Алюминиевые сплавы / Под ред. И.Н. Фридляндера. — М., 1979. — 296 с.

УДК 621.785.539:661.65

С.А. ИСАКОВ, канд.техн.наук,  
Н.А. МЕШОЧКИН (ММИ)

### БОРИРОВАНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОБРАЗЦАХ ИЗ СТАЛИ

Одним из способов ремонта изношенных деталей машин является "твердое" электролитическое железнение [1], позволяющее повторно использовать значительное количество изношенных деталей. Однако высокие напряжения растяжения в износостойких твердых железных покрытиях отрицательно сказываются на сопротивлении усталости обрабатываемых деталей, сцепляемости покрытий с основой, приводят к образованию трещин в осадке [2, 3]. Широкие возможности для получения покрытий с качественно новыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами открывает химико-термическая обработка гальванических железных осадков. Особый интерес представляет процесс борирования железных металлов и сплавов [4].

В работе приведены результаты исследования процесса борирования электролитического железа на образцах из стали 45. При выборе типа электролита, способов, а также режимов железнения прежде всего учитывалось качество покрытия (сплошность, сцепление с основой). Была исследована возможность получения осадков путем применения нестационарных режимов электролиза. В результате установлено, что наиболее полно указанным требованиям удовлетворяет процесс железнения в сульфатном электролите, разработанный Н.Т. Кудрявцевым и Л.А. Яковлевой [5], с использованием двухфазного однополупериодно выпрямленного тока с регулируемым по време-

ни и амплитуде обратным импульсом, получаемым от третьей фазы трехфазного тока (периодический ток с обратным регулируемым импульсом). Характерной особенностью электролиза с использованием периодического тока является возможность в широких пределах воздействовать на процесс формирования покрытий и получать различную структуру и свойства осадков без изменения температуры, кислотности и состава электролита.

Железнение проводили при комнатной температуре электролита и плотности прямого тока  $1000 \text{ А/м}^2$  ( $\text{pH} = 2$ ). Толщина осадков железа составляла от 50 до 500 мкм.

Микроструктура электролитического слоя железа характеризуется волокнистостью, мелкокристалличностью, высокой сплошностью и хорошим сцеплением с основой. Микротвердость покрытия составляет  $H_{\square} = 2000 \dots 2500$ . Тонкая структура железа отличается мелкоблочностью (0,053...0,071 мкм), значительными микроискажениями решетки ( $0,48 \cdot 10^{-3} \dots 0,79 \cdot 10^{-3}$ ), высокой плотностью дислокаций ( $\rho = 0,71 \cdot 10^{11} \dots 1,03 \cdot 10^{11} \text{ см/см}^3$ ).

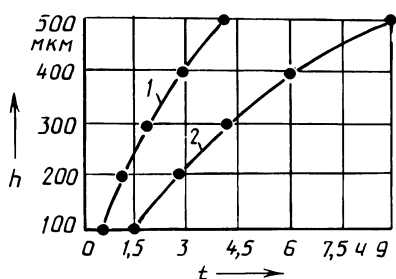


Рис. 1. Сравнительная кинетика борирования образцов из стали 45 с железным покрытием (1) и без покрытия (2); активатор —  $\text{KBF}_4$ , температура борирования —  $950^\circ\text{C}$

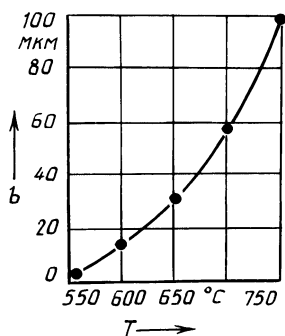


Рис. 2. Кинетика низкотемпературного борирования образцов из железистой стали 45, активатор —  $\text{KBF}_4$ , толщина слоя железа — 50 мкм

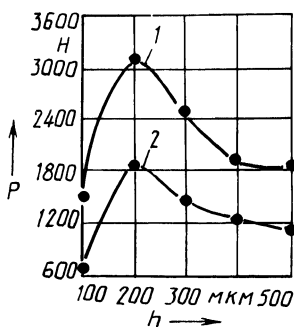


Рис. 3. Хрупкость боридных слоев одинаковой толщины на образцах из стали 45 с гальваническим покрытием (1) и без покрытия (2)

Борирование железистых образцов производили в пастах на основе аморфного бора в среде водорода. В качестве активаторов применяли водную буру ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), борфторид калия ( $\text{KBF}_4$ ). В зависимости от процентного содержания активатора получали одно- и двухфазные слои. Борид-

ный слой на гальваническом железном покрытии имеет характерное игольчатое строение и обладает повышенной сплошностью. При формировании диффузионного слоя (рис. 1) реализуется высокая скорость борирования при всех режимах обработки ( $h$  — толщина боридного слоя). Появляется возможность значительно понизить температуру борирования  $T$  и тем самым устранить ее отрицательное воздействие на изделия. Кинетика низкотемпературного борирования с использованием борфторида калия показана на рис. 2 ( $b$  — толщина слоя).

Спецификой борирования железных поверхностей в пастах с применением активаторов является получение двухфазных диффузионных слоев, в которых процент высокобористой фазы достаточно велик. Так, при использовании активатора  $KBF_4$  содержание FeB в диффузионном слое превышает 50 % (табл. 1), что удается лишь при электролизном борировании [6, 7].

При восстановлении изношенных деталей часто используют гальваническое железнение с толщиной покрытия 0,5...1 мм. Совмещение железнения и борирования определяет необходимость обоснования допустимой толщины боридного слоя на восстановленных деталях, так как известно, что хрупкость слоя резко возрастает с увеличением его толщины [7]. С этой целью проведены испытания боридных слоев на хрупкость методом вдавливания в борированную поверхность стального шарика. Количественным показателем оценки хрупкости являлась нагрузка  $P$  на шарик, при которой на поверхности появились трещины. Получены сравнительные данные по хрупкости для диффузионных слоев равной толщины на стали с гальваническим покрытием и без покрытия (рис. 3). Более низкая хрупкость боридного слоя на образцах из железистой стали фиксируется только в том случае, если борирование произведено на всю толщину гальванического покрытия.

Табл. 1. Фазовый состав и микротвердость боридных слоев

Толщина слоя железа, мкм	Режим борирования		Фазовый состав слоя, %		Микротвердость, МПа	
	Температура, °C	Время, ч	FeB	Fe <sub>2</sub> B	FeB	Fe <sub>2</sub> B
50	700	6	50	50	16200	12000
	700	8	51	49	15 730	11 500
	700	10	51	49	15 650	11 880
50	750	6	58	42	15 750	11 400
	750	8	59	41	14 900	12 650
	750	10	52	48	15 750	12 600
100	900	1	50	50	15 700	12 550
	900	3	54	46	15 800	12 750
100	950	1	54	46	15 600	12 900
	950	3	55	45	15 720	12 850
100	1000	1	53	47	15 850	12 800
	1000	3	56	44	15 900	12 750

Таким образом, на образцах из гальванически железненной стали реализуется более высокая скорость борирования, формируется слой повышенной сплошности. Такие слои обладают меньшей хрупкостью, что позволяет рекомендовать борирование для обработки восстановленных железнением деталей с получением износостойких покрытий повышенной толщины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М е л к о в Н.П. Твердое осталивание автотракторных деталей. — М., 1962. — 272 с.
2. В а г р а м я н А.Т., П е т р о в а Ю.С. Физико-механические свойства электролитических осадков. — М., 1960. — 156 с.
3. Д у ш е в с к и й И.В. О возникновении внутренних напряжений в электролитических покрытиях (обзор) // Надежность и долговечность деталей машин. — Красноярск, 1975. — С. 30—33.
4. Л я х о в и ч Л.С., Б р а г и л е в с к а я С.С. Формирование боридных покрытий на гальванически железненных металлах и сплавах // МИТОМ. — 1972. — Вып. 6. — С. 49—50.
5. К у д р я в ц е в Н.Т., Я к о в л е в а Л.А. Электролитическое осаждение железа // Труды МХТИ им. Д.И. Менделеева. — 1956. — Вып. 22. — С. 135—136.
6. В о р о ш и н Л.Г., Л я х о в и ч Л.С. Теплофизика в литейном производстве. — Минск, 1967. — 73 с.
7. В о р о ш и н Л.Г., Л я х о в и ч Л.С. Борирование стали. — М., 1978. — 240 с.

УДК 621.785.5

Е.М. ХУСИД (БПИ)

### ЦЕМЕНТАЦИЯ ДО- И ЗАЭВТЕКТОИДНЫХ ХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ В ГАЗОВЫХ АТМОСФЕРАХ И ТВЕРДЫХ КАРБЮРИЗАТОРАХ

Исследования проводили на образцах из сталей 12 марок с содержанием (по массе) хрома от 3,4 до 16,7 %, углерода — 0,24...0,32 % (дозэвтектоидные) и 0,8 % (заэвтектоидные). Газовую цементацию осуществляли в безмуфельном агрегате (БМА) конструкции Волгоградского ВНИИТМАШа с использованием атмосферы чистого эндогаза с добавкой аммиака. Режимы цементации описаны в [1]. На рис. 1 показано влияние содержания хрома в стали на строение цементованного слоя ( $h$  — толщина слоя).

С увеличением содержания хрома толщина окисленного слоя  $h_0$  растет. Причем на заэвтектоидных сталях размер и плотность окисленного слоя больше. В сталях с низким содержанием хрома за окисленным слоем имеются зоны крупных карбидов по границам зерен, мелкодисперсных карбидов и переходная зона, на высокохромистых сталях — зона мелкодисперсных глобулярных карбидов и переходная. С ростом концентрации хрома размеры слоя и карбидной зоны уменьшаются. На заэвтектоидных сталях они примерно в полтора раза меньше, чем на доэвтектоидных. Добавка к эндогазу аммиака способствует значительному снижению окисления стали и увеличению толщины слоя и зоны карбидов. Поверхностная твердость доэвтектоидных сталей с 3,4...9,2 % хрома и заэвтектоидных с 4,4...7 % хрома, цементованных в атмосфере эндогаза с добавкой аммиака, после термообработки составляет 64...66 НРС. Режим закалки высокохромистых сталей не пригоден для сталей 20ХНР, 25ХГТ. Проведенные исследования показывают возможность цемента-