

тей диффузии, фазового превращения и перехода атомов через границу фаз, выделяются четыре участка: инкубационный и начальный периоды — здесь лимитирующей стадией является переход атомов через границу фаз; линейный период, когда лимитирующей стадией является фазовое превращение; и участок экспоненциального приближения границы фаз к равновесному положению. На кривой 2 (рис. 2) видны также четыре участка: начальный период; короткий линейный участок; параболический участок, когда лимитирующей стадией движения границы является диффузионный подвод атомов; и экспоненциальное приближение к равновесию. Для кривой 3 (рис. 2), когда скорость процессов на межфазных границах значительно превосходит скорость диффузии, участок линейной зависимости смещения границы от времени быстро сменяется параболическим.

Результаты расчетов качественно согласуются с экспериментальными данными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гегузин Я.Е. Диффузионная зона. — М.: Наука, 1979. — 344 с. 2. Жуховицкий А.А., Нечаев Ю.С., Шехтер Л.Н. Диффузия в многофазных системах. — Изв. АН ССР. Металлы, 1976, № 2, с. 109–112. 3. Ворошнин Л.Г., Хусид Б.М., Хина Б.Б. Кинетика образования поверхностных слоев интерметаллидов при диффузионном насыщении. — В кн.: Восьмое Всесоюз. совещание по кинетике и механизму химических реакций в твердом теле. Черногловка: ИХФ АН СССР, 1982, с. 197–199. 4. Кристьян Дж. Теория превращений в металлах и сплавах. — М.: Мир, 1978. — 808 с.

УДК 621.785.5:519.28

Г.Ф. ПРОТАСЕВИЧ, канд.техн.наук,
В.Я. ЧЕЛЬЦОВ, В.А. БАРАБАСЬ,
Е.Х. БАРАБАСЬ (БПИ)

ЖИДКОСТНОЕ БОРИРОВАНИЕ ЧУГУНОВ

В настоящей работе жидкостному борированию в расплаве "бура + карбид бора" и в расплаве буры с наложением тока электролиза подвергали 3 вида чугунов: серый, ковкий, высокопрочный — перлитно-ферритного класса. На I этапе было решено построить модели описания процесса формирования борированного слоя на всех указанных видах чугунов с помощью методов полного и дробного факторного экспериментов.

При реализации данной части эксперимента технологические факторы меняли в следующих интервалах:

— электролизное борирование: температура борирования (X_1) — 850–950 °С, время процесса (X_2) — 150–250 мин, плотность тока электролиза (X_3) — 0,2–0,4 А/см²;

— безэлектролизное: температура (X_1) — 900–1000 °С, время (X_2) — 150–300 мин, количество В₄С в расплаве (X_3) — 25–40 %, размер частиц В₄С (X_4) — 6–10 номера согласно ГОСТ.

Таким образом, для электролизного борирования применяли полный факторный эксперимент, для безэлектролизного реализовывали полуреплику: I, ab, ac, ad, bc, bd, cd, abcd.

Т а б л и ц а 1. Расчетные значения полной толщины боридного слоя

Параметры процесса		Электролизное борирование			Жидкостное безэлектролизное борирование		
t, °C	τ, ч	чугуны					
		СЧ	КЧ	ВЧ	СЧ	КЧ	ВЧ
900	3	110	105	100	60	65	60
	4	155	150	135	90	80	70
	5	200	200	160	115	120	85
950	3	135	130	115	110	115	120
	4	180	175	150	140	130	135
	5	225	225	185	170	150	150

П р и м е ч а н и е. Остальные факторы взяты на основном уровне матриц планирования.

Реализация планов эксперимента позволила получить модели, дающие зависимость полной толщины боридного слоя (Y) от вышеуказанных технологических факторов:

Электролизное борирование:

$$\text{СЧ} - Y_1 = 144 + 24X_1 + 56X_2 + 26X_3 + 14X_1X_2 - 16X_1X_3;$$

$$\text{КЧ} - Y_2 = 142 + 23X_1 + 58X_2 + 16X_1X_3 + 17X_2X_3 + X_1X_2X_3;$$

$$\text{ВЧ} - Y_3 = 126 + 16X_1 + 42X_2 + 9X_3 + 11X_1X_3 - 14X_1X_2X_3.$$

Безэлектролизное борирование:

$$\text{СЧ} - Y_4 = 132 + 52X_1 + 34X_2 + 17X_3;$$

$$\text{КЧ} - Y_5 = 126 + 49X_1 + 20X_2 + 23X_3;$$

$$\text{ВЧ} - Y_6 = 130 + 63X_1 + 15X_2 + 14X_3.$$

П р и м е ч а н и е. СЧ, КЧ, ВЧ – соответственно серый, ковкий и высокопрочный чугуны.

При проверке адекватности моделей выявилось существенное влияние эффектов взаимодействий при электролизном борировании. Это влияние, как видно из приведенных моделей, в некоторых случаях сильнее, чем влияние отдельных факторов в чистом виде.

Сопоставление результатов борирования, проведенное для аналогичных температурно-временных режимов, дало следующие результаты (табл. 1). Анализ показывает, что скорость формирования диффузионного слоя при электролизном борировании для низких температур примерно вдвое выше. Повышение температуры борирования уменьшает эту разницу.

Характер строения борированного слоя похож на его строение на углеродистых сталях. Отличия заключаются в том, что в слое боридов располагаются графитные включения.

Одновременно под слоем боридов развивается процесс графитизации. При формировании борированного слоя на сером и высокопрочном чугуне графитовые включения укрупняются, сливаются, а на ковком чугуне происходит и сфероидизация графита, при этом графитовые включения приобретают форму глобулей, характерных для высокопрочного чугуна.

Графитизация протекает более интенсивно с повышением температуры и увеличением времени процесса при безэлектролизном борировании, а при электролизном борировании и повышении плотности тока электролиза. Чрезмерное укрупнение и сфероидизация графита в борированном слое чугуна приводит к его скалыванию, а для высокопрочного чугуна – полному отслаиванию слоя в процессе охлаждения образцов на воздухе.

УДК 621.785.5

Б.С. КУХАРЕВ, канд.техн.наук,
Л.Г. ВОРОШНИН, д-р техн.наук,
С.Е. ВАЩЕВ (БПИ)

ОДНОФАЗНОЕ БОРИРОВАНИЕ СТАЛЕЙ В ПОРОШКОВЫХ СРЕДАХ

Борирование сталей проводят с целью повышения их поверхностной твердости, износостойкости и коррозионной стойкости в агрессивных средах. Во многих работах отмечают определенные преимущества однофазных боридных покрытий по сравнению с двухфазными. Имея несколько меньшую толщину и микротвердость диффузионного слоя, эти покрытия менее склонны к хрупкому разрушению, к образованию дефектов в процессе последующей термообработки, характеризуются повышенной коррозионной стойкостью в различных агрессивных средах [1].

Процесс однофазного борирования металлов и сплавов в расплаве боратов с карбидом кремния был разработан на кафедре "Металловедение и термическая обработка металлов" Белорусского политехнического института, а позднее в Японии и Италии. Ему присущи следующие основные недостатки: повышенная вязкость расплава, что приводит к заметным потерям его при выгрузке обработанных деталей; необходимость очистки борированных изделий от остатков расплава; расслоение расплава и, как следствие, неравномерность толщины слоя в случае обработки длиномерных изделий. В настоящее время все большее промышленное применение получает процесс борирования в порошковых средах. Однако применение известных порошковых сред для однофазного борирования ограничено ввиду чувствительности процесса к его температурно-временным параметрам. Так, повышение температуры или увеличение длительности термообработки (свыше 1000 °С, 1 ч [2], при 950 °С, 4 ч [3]) приводит к формированию высокобористой фазы в боридном слое.

Целью настоящей работы являлась разработка насыщающих сред для однофазного борирования углеродистых и низколегированных сталей.

Нами предложен ряд составов, обработка в которых позволяет получать однофазные боридные слои на сталях в интервале температур 800–1100 °С при неограниченной длительности процесса. Кинетические особенности формирования однофазных боридных слоев аналогичны кинетике роста двухфазных боридных слоев. Отличительной чертой разработанных сред является высокая технологичность и доступность используемых для их изготовления компонентов. Кратность использования с периодической регенерацией насыщающей смеси достигает 10 раз. Операция регенерации заключается во введении (после