

Если в выражениях (18) и (19) вместо концентрации c_i^* ввести средние по γ -области сферической ячейки концентрации элементов $c_i(x, t)$, то значения радиуса зародыша второй фазы можно рассчитать следующим образом:

$$\frac{dR^2}{dt} = \frac{2[D_{11}(c_1 - c_1^r) + D_{12}(c_2 - c_2^r)]}{a[c_1^I - c_1^r]}; \quad (28)$$

$$\frac{dR^2}{dt} = \frac{2[D_{21}(c_1 - c_1^r) + D_{22}(c_2 - c_2^r)]}{a[c_2^I - c_2^r]}; \quad (29)$$

где $a = \left[1 - \frac{\frac{3}{2}(1 + \frac{R}{R_*}) \frac{R}{R_*}}{1 + \frac{R}{R_*} + (\frac{R}{R_*})^2} \right]$.

Если число частиц второй фазы равно N , то, зная величину R , можно определить стоки элементов Q_1 и Q_2 :

$$Q_1 = 4\pi R [D_{11}(c_1 - c_1^r) + D_{12}(c_2 - c_2^r)] N; \quad (30)$$

$$Q_2 = 4\pi R [D_{21}(c_1 - c_1^r) + D_{22}(c_2 - c_2^r)] N. \quad (31)$$

На основании вышеизложенного была разработана и реализована программа для ЭВМ ЕС-1022. Решение системы уравнений (1)-(2) осуществлялось с помощью конечно-разностной неявной схемы итерационным методом.

Полученные расчетные данные удовлетворительно коррелируют с результатами экспериментов.

УДК 621.785.539:661.65:621.365.5

Г.Г.Панич, канд. техн. наук,
Л.Г.Ворошнин, докт. техн. наук, профессор,
А.Шариф, Ю.Н.Громов, канд. техн. наук (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФфуЗИОННОГО АНИЗОМОРФИЗМА БОРИДОВ

Вопрос о кристаллохимическом изоморфизме соединений, т.е. их способности образовывать сложные взаимные твердые растворы, исследуется достаточно давно. Общие условия их неогра-

ниченной взаимной растворимости (совершенного изоморфизма) сформулированы, например, в известной монографии И.И.Корнилова с сотр. [1]. Многочисленные и важные результаты в этом направлении получены А.Л.Борисовой [2]: показано, что при достаточно высоких температурах взаимная растворимость соединений "металл-неметалл" (прежде всего - "одноименных", т. е. образованных разными металлами и одним ковалентным неметаллом - бором, углеродом, кремнием) является скорее правилом, чем исключением.

Однако применительно к процессам образования диффузионных слоев соединений рассматриваемый вопрос ранее почти не изучался. По-видимому, считалось само собой разумеющимся, что диффузионные процессы при химико-термической обработке весьма активны, и если термодинамическая возможность образования изоморфной смеси существует, - она должна быть реализована. При этом упускалось из виду, что система "активная среда - диффузионный слой - основа" весьма неравновесна, а это делает для нее реальным "обходный путь" - превалирование граничной диффузии над объемной и, следовательно, возникновение не раствора, а смеси фаз даже в случае, если они взаимно растворимы. Иначе говоря, соединения могут быть совершенно изоморфны химически, но анизоморфны диффузионно.

До выполнения настоящей работы нами были получены следующие результаты в этом направлении:

1) установлен факт диффузионного анизоморфизма фаз TiN и TiC при карбонитровании титана при $950^{\circ}C$;

2) установлен факт диффузионного анизоморфизма фаз TiC и NbC при алюминотермическом титанионировании твердых сплавов ВК8, Т15К6 при $1100^{\circ}C$;

3) установлено, что борирование сталей, содержащих от 1 до 5% никеля (электролиз буры, $930^{\circ}C$), приводит к плавному изменению параметра ячейки фазы Fe_2B в слое, т. е. возникновению твердого раствора $(Fe, Ni)_2B$. По толщине слоя объем ячеек соединений при этом не изменяется.

Факт совершенного кристаллохимического изоморфизма фаз Fe_2B и Ni_2B известен [3]. Поэтому интересно было бы выяснить возможность раздельного их образования при борировании сталей. Здесь необходимо отметить практическую важность вопроса: на примере титанионирования было установлено [4], что слои, образованные смесями фаз, отличаются существенно повышенными эксплуатационными свойствами, прежде всего - высоким сопротивлением изнашиванию.

Из сказанного следует, что поиск диффузионного анизоморфизма в сложной системе "металл I – металл II – бор" должен быть связан с выполнением следующих условий:

- 1) температура борирования должна быть не выше 900°C ;
- 2) борированию должны подвергаться слои стали, содержащие (в возрастающем количестве) элемент, который образует борид, кристаллохимически аналогичный фазе Fe_2B ;
- 3) борирование, по возможности, должно быть однофазным.

Диффузионное насыщение сталей 40, 40Н, 40Н2 и 40Н5 производили в расплаве буры при 800, 850 и 900°C , используя в качестве восстановителя силикомарганец СМ17 (состав % по массе: 17 Mn, 65 Si, остальное Fe). Толщина слоев изменялась в пределах от 50 до 120 мкм, что позволило произвести с помощью лазерного микроанализатора усредненный спектральный анализ поверхности слоя и установить факт наличия в слоях как никеля (из основы), так и марганца (из восстановителя). Количество обеих примесей в слое изменялось несколько различно: содержание марганца при 800 и 850°C составляло в среднем около 3% по массе, а при 900°C возрастало соответственно увеличению содержания никеля в основе (от 3% в стали 40Н до 5,5% в 40Н5). В случае никеля корреляция между его содержанием в основе и слоях, естественно, была вполне отчетливой во всех случаях (при 800 и 850°C концентрация никеля в слоях была ниже, а при 900°C выше, чем в основе, на 0,5–1%).

Полнота данных спектрального анализа недостаточна, так как он оставляет неясным фазовый состав слоев. Поэтому был проведен их рентгеноструктурный анализ на установке УРС-50ИМ со стойкой ССС в хромовом излучении. Производился фазовый и текстурный анализ, а также измерение параметров ячеек фаз на 45 образцах сталей 5 марок. Полученные результаты могут быть суммированы в виде следующих выводов:

- 1) все диффузионные слои "однофазны", т. е. не содержат фазы MeB ;

- 2) параметр C ячейки Fe_2B при повышении содержания никеля в насыщаемой стали плавно уменьшается вследствие его растворения в гемибориде железа;

- 3) все диффузионные слои, полученные при 800 и 850°C , содержат значительные (легко обнаруживаемые фазовым анализом) количества фазы Ni_2B ; эта фаза весьма отчетливо текстурирована, совершенно аналогично фазе Fe_2B (ось текстуры $[001]$), что указывает на аналогичность механизма образования и

роста. "Сдвигание линий" (рис. 1) прослеживается на снимках тем более отчетливо, чем выше концентрация никеля в стали;

4) содержание никеля в слое при насыщении при 800 и 850°C ниже, чем в основе (это различие может достигать 1,5–2,0% по массе); а при 900°C – равно или выше; иначе говоря, при пониженной температуре вследствие торможения объемной диффузии никель образует собственный борид, а при повышенной (начиная с 900°C) – растворяется в бориде железа. Марганец, концентрация которого в слоях имеет тот же порядок величины, что и никеля, значительных количеств собственных боридов не образует.

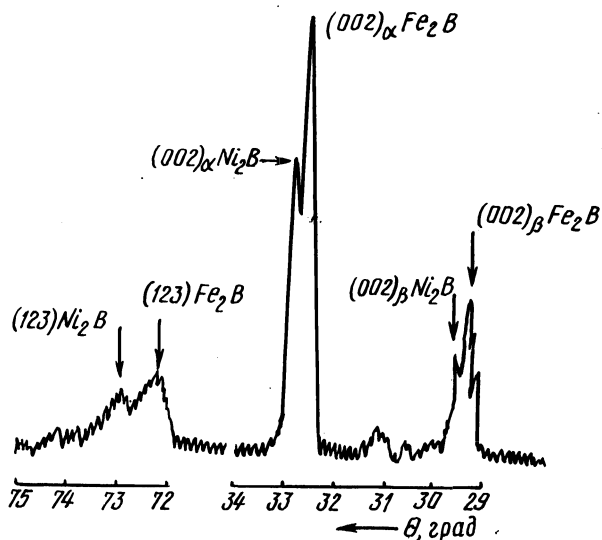


Рис. 1. Пример дублетов Ni_2B-Fe_2B на снимке боридного слоя стали 40Н5. Насыщение при 800°C, 4 ч.

Таким образом, при достаточно низкой температуре насыщения, когда превалирование граничной диффузии становится явным, в боридных слоях может быть выявлен диффузионный анисоморфизм соединений, которые в равновесных условиях кристаллохимически совершенно изоморфны. В настоящее время исследования описанных покрытий продолжаются.

Литература

1. Корнилов Н.Н. Металлохимические свойства элементов периодической системы. – М.: Наука, 1966. 2. Борисова А.И. Взаимодействие тугоплавких соединений с переходными метал-

лами IV-VI групп и графитом: Автореф. дис. докт. техн. наук. - Киев, 1975. - с. 3. Самсонов Г.В., Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Бориды. - М.: Атомиздат, 1975. 4. Борисенок Г.В., Иваницкий Н.И., Громов Ю.Н. Износостойкость твердосплавного режущего инструмента с карбидным покрытием. - В сб.: Металлургия. Минск: Вышэйшая школа, 1979, вып. 13, с. 160-162.

УДК 621.785

Е.Ф.Сильникова, ст. науч. сотр.
(ЛПИ им. М.И.Калинина)

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ-МОДЕЛИ ФЕСТОНИСТОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИСТОВ

В последние годы большое применение при штамповке получил листовой прокат из алюминия технической чистоты. Однако при этом, как правило, наблюдаются фестоны в отштампованных изделиях. В отожженных алюминиевых листах расположение фестонов может быть различным. В зависимости от параметров технологического процесса производства листа и режима отжига они могут при испытании образоваться под углом 45° или под углами 0 и 90° к направлению прокатки в листе. Минимальный абсолютный размер фестонов соответствует случаю, когда при испытании наблюдается восемь фестонов под углами 0 , 45° и 90° .

Исследования, выполненные в работах [1-3], имеют чисто качественный характер, сведения различных авторов основаны на отдельных экспериментах, проведенных в трудносопоставимых условиях, и частично противоречивы. Поэтому построение математических моделей фестонистости алюминиевых листов в зависимости от технологии их производства невозможно без проведения специального исследования.

Исходным материалом для исследования служил алюминий марки А5. Отношение железа к кремнию было принято постоянным и соответствовало двум. Технологические параметры отливки опытных слитков полунепрерывным способом в кристаллизатор скольжения не варьировались. Процесс гомогенизации (480 или 520°C) совмещен с нагревом слитков под прокатку.

Холодная прокатка с толщины 7 мм проводилась за два передела с суммарным обжатием 96% на толщину $0,3$ мм с раз-