

УДК 621.785.539

Л.С. ЛЯХОВИЧ, д-р техн.наук,  
Б.С. КУХАРЕВ, канд.техн.наук,  
И.А. КОФАНОВА (БПИ)

### ЖАРОСТОЙКОСТЬ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ С ДИФфуЗИОННЫМ ПОКРЫТИЕМ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Al-Si

Во многих случаях надежность и долговечность изделий, эксплуатирующихся при повышенных температурах, определяется жаростойкостью материалов, используемых для их изготовления. Из известных методов повышения сопротивления металла протеканию процессов газовой высокотемпературной коррозии часто одним из эффективнейших является химико-термическая обработка (ХТО).

При этом, как правило, используются процессы термодиффузионной обработки, обеспечивающие формирование на защищаемой поверхности диффузионных слоев на основе алюминия и кремния [1]. Дополнительное легирование этих покрытий, в частности редкоземельными элементами [2], позволяет значительно улучшить их защитные свойства.

Цель настоящей работы — исследование возможности получения алюмокремниевых диффузионных слоев на углеродистой стали 45, изучение кинетики их формирования, влияния состава насыщающей среды и условий обработки на жаростойкость алюмосилицированной стали 45.

Образцы из стали 45 подвергали термодиффузионной обработке в порошковых средах на основе окиси алюминия, алюминия и кремнийсодержащего вещества (лигатура Сцемиш-2, которая содержит в процентах по массе: РЗМ — 30; Al — 8,0; Si — 55,0; ост. — Fe и примеси). В качестве активатора использовался борфтористый калий. Процесс насыщения осуществляли в контейнерах с плавкими затворами при температурах 850–1000 °С в течение 2–8 ч.

Испытания на жаростойкость проводили в окислительной атмосфере при температуре 900 °С в течение 100 ч. Исследование показало, что изменение состава насыщающей среды не оказывает существенного влияния на толщину получаемого диффузионного слоя. При обработке стали 45 в смесях с повышенным содержанием алюминия ее жаростойкость возрастает. Так, при обработке в среде, содержащей:  $69\text{Al}_2\text{O}_3 + 24\text{Сцемиш-2} + 6\text{Al} + 1\text{KBF}_4$ , при температуре 900 °С и времени 4 ч, значение жаростойкости соответствует  $\Delta m = 190 \text{ г/м}^2$ , а при обработке в смеси  $69\text{Al}_2\text{O}_3 + 18\text{Сцемиш-2} + 12\text{Al} + 1\text{KBF}_4$  —  $\Delta m = 80 \text{ г/м}^2$ . Тем не менее увеличить содержание алюминия свыше 12 % не представляется возможным ввиду ухудшения качества поверхности изделия.

Повышение температуры и увеличение длительности процесса насыщения приводит к увеличению толщины слоя, что благоприятно сказывается на его работоспособности. Это объясняется повышенной легированностью покрытия, представляющего собой  $\alpha$ -твердый раствор алюминия, кремния и церия в же-

лезе и, как следствие, заторможенностью процесса его рассасывания при повышенных температурах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коломыцев П.Т. Жаростойкие диффузионные покрытия. – М.: Металлургия, 1979. – 272 с. 2. Влияние редкоземельных металлов и магния на жаростойкость сплава Х20Н80/С.Н. Гражданкин, З.М. Калинина, З.Ф. Гусева и др. – В сб.: Редкоземельные металлы и сплавы. М.: Наука, 1971. – 113 с.

УДК 536.219.3

Б.Б. ХИНА, Г.М. ЛЕВЧЕНКО, канд.техн.наук,  
А.В. НИКОНЧИК (БПИ)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМНОЙ ДИФФУЗИИ В МНОГОФАЗНЫХ СИСТЕМАХ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ\*

Для анализа основных закономерностей процессов химико-термической обработки и создания АСУТП необходимы математические модели, описывающие формирование фаз при диффузионном насыщении металлов и сплавов. Целью настоящей работы является исследование закономерностей роста сплошного слоя интерметаллидной фазы, образующегося при взаимной диффузии в бинарной системе. Сложность анализа процессов формирования многофазных диффузионных слоев обусловлена, во-первых, экспериментально наблюдаемым отклонением концентраций элементов на границе раздела фаз от равновесных значений; во-вторых, несоответствием фазового состава диффузионного слоя изотермическому сечению диаграммы фазового равновесия данной металлической системы [1] и, в-третьих, наличием в ряде случаев параболического закона утолщения фазы. Подобные факты говорят о необходимости учета не только диффузионного переноса атомов, но и кинетики процессов на межфазных границах. При постановке диффузионной задачи Стефана, описывающей изменение концентраций атомов в каждой из фаз и движение границ раздела фаз, предполагается, что лимитирующей стадией роста является диффузионный массоперенос. Этот случай соответствует плоским границам фаз, равновесным значениям концентраций на границах и параболическому закону роста фаз. В работах [1,2] баланс диффузионных потоков на плоской межфазной границе выражается через отклонения граничных концентраций от равновесных значений. Для общего случая, когда фазовый состав диффузионного слоя может отклоняться от равновесной диаграммы состояния, рассматривается образование новой фазы – интерметаллида 2 на границе раздела исходных фаз 1 и 3, имеющей произвольную форму [3]. На границах фаз имеют место следующие процессы: переход атомов из одной фазы в другую со скоростью  $s_{ij}$ ,  $i \neq j$ ; кооперированный переход атомов, т.е. перестройка кристаллической решетки одной фазы в другую [4], происходящий со скоростью  $p_{ij}$ ;

\* Работа выполнена под руководством д-ра техн.наук Л.Г. Ворошнина и канд.физ.-мат. наук Б.М. Хусида.