

ющих низкие прочностные и пластические характеристики, нежелательно, так как приводит к сколам слоя в результате механических и термических ударов

Микротвердость зоны алюминидов и зоны столбчатых кристаллов комплексного Al–Mo-покрытия на образцах из стали 12Х18Н10Т соответственно составляет 4350...4450 и 3400...3500 МПа.

С помощью метода симплекс-планирования рассчитаны на ЭВМ и построены диаграммы: состав насыщающей смеси – толщина слоя, фазовый состав покрытий, жаро- и термостойкость диффузионно-обработанных сталей для всех легирующих элементов при двух-, трех- и четырехкомпонентном насыщении. Выбраны оптимальные составы насыщающих смесей, обеспечивающие получение диффузионных слоев с максимальной жаростойкостью.

Сравнительный анализ оптимальных свойств покрытий (табл. 1) показал, что многокомпонентные покрытия по своим защитным свойствам превосходят однокомпонентные алитированные. Максимальной жаро- и термостойкостью обладают комплексные Al–Ta-, Al–Mo-, Al–Cr–Y-, Al–Cr–W-, Al–Cr–Ta- и Al–CrTa–Y-покрытия.

Высокая жаростойкость комплексных покрытий обеспечивается повышенной термостабильностью легированных алюминидов FeAl и Fe<sub>3</sub>Al. Исследование кинетики рассасывания диффузионных слоев при 1100 °С показывает, что за 100 ч выдержки толщина зоны α-твердого раствора при однокомпонентном алитировании увеличилась в 3,3 раза, для Al–Cr-покрытия – в 3,2 раза, Al–Mo – в 2,8, Al–Cr–W – в 2,3, для Al–Cr–Y – в 1,7 раза.

Легирование алитированных покрытий позволяет повысить их жаростойкость в 1,1...1,9 раза, а термостойкость – в 2...10 раз. Разработанные покрытия можно рекомендовать для повышения сопротивления сталей высокотемпературному окислению.

УДК 621

Б.М. ХУСИД, Б.Б. ХИНА,  
В.Н. ГОНЧАРОВ, И.Г. ПТАШИНСКИЙ

### ДИАЛОГОВАЯ ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА "СПЛАВ" ДЛЯ СТУДЕНТОВ-МЕТАЛЛУРГОВ

Одним из направлений интенсификации учебного процесса в технических вузах является широкое применение ЭВМ. Предпочтение отдается диалоговому режиму работы, который не требует знания языков программирования и операционной системы, исключает длительный и трудоемкий процесс отладки программ и позволяет вести профессиональный диалог с ЭВМ, решать конкретные инженерные задачи у дисплея.

Диалоговая обучающая система "Сплав" для студентов специальностей 0404, 0407, 0405, 0414 предназначена для проведения лабораторных работ и практических занятий по курсам "Теория систем и ее приложения в металлургии", "АСУ ТП", "Теория термической обработки" и др. Система "Сплав" функционирует под управлением системы виртуальных машин ЕС ЭВМ и

включена в фонд учебных программ БПИ. Она состоит из комплекса процедур, написанных на языках EХЕС, EХЕС2 подсистемы диалоговой обработки СВМ [1], набора панелей (кадров информации) и пакета прикладных программ (ППП) на языке ФОРТРАН. Диалог студента с компьютером ведется по заранее разработанному сценарию. Сценарии лабораторных работ реализованы в виде наборов кадров — панелей, которые последовательно выводятся на экран дисплея. Панели содержат необходимую информацию: справочные данные, вопросы студенту, указания и рекомендации по дальнейшему ведению диалога, требования ввести ответы на вопросы или числовые значения параметров. На панелях имеются специальные поля для ввода требуемых ответов или чисел. Процедуры на языках EХЕС и EХЕС2 служат для вызова на экран дисплея панелей в необходимой последовательности, считывания введенных студентом ответов и чисел, анализа полученной информации.

Система "Сплав" реагирует на следующие ошибки: 1) ответ не соответствует предложенным вариантам; 2) числовые значения параметров не попадают в требуемые пределы; 3) в числовой информации имеются символы, отличающиеся от цифр, знака "-" и точки; 4) в вещественных числах отсутствует точка или использован символ, отличный от точки. При обнаружении ошибки система "Сплав" выдает сообщение об этом и предлагает студенту исправить введенные данные. На основании ответа студента высвечивается очередная панель либо выполняется расчет по необходимой программе. Числовая информация заносится в файл исходных данных. В память ЭВМ загружается требуемая программа. После этого программа считывает исходные данные из файла, выполняет расчеты по тем или иным формулам и выводит результаты на экран дисплея. На основании расчетных данных студент должен принять конкретное инженерное решение, например, изменить значения входных параметров и повторить расчет, выбрать иное технологическое решение и соответственно другую программу и т. п. При достижении оптимального результата студент может прекратить расчеты и завершить работу с системой. При этом на печатающее устройство выводится протокол лабораторной работы и инструкции по оформлению отчета и обработке полученных результатов.

Диалоговая система "Сплав" вызывается по имени головной процедуры ALLOY. Указав свое имя, студент получает доступ к перечню лабораторных работ. В настоящее время в систему "Сплав" включены 7 работ: 1) расчет диаграммы состояния бинарной металлической системы в приложении идеальных растворов; 2) определение режима термической обработки конструкционной дозвлектоидной низколегированной стали; 3) расчет охлаждения цилиндрической отливки в окрашенном изнутри тонкостенном кокиле; 4) разработка технологии горячей объемной штамповки детали; 5) выбор способа литья и расчет свойств чугуновой отливки; 6) проектирование эксцентрикового вала кривошипного пресса; 7) разработка марганцовистой стали с оптимальным сочетанием противоположных механических свойств с помощью метода симплекс-планирования эксперимента.

Перед тем как приступить к лабораторной работе студент может вывести на экран дисплея краткую инструкцию по ее выполнению. Введя соответствующий код (L1–L7), он начинает выполнять лабораторную работу, а указав команду END, выходит из системы "Сплав". Студент не имеет возможности прервать лабораторную работу и обязан довести ее до конца. В работе № 1 сту-

дент указывает названия химических элементов, для которых выполняется расчет, и вводит термодинамические параметры. Программа рассчитывает равновесные составы фаз при указанных температурах. Студент должен повторить расчет для всех возможных в данной системе фазовых равновесий (стабильных и метастабильных) [2]. На основании полученных результатов по окончании работы он строит равновесную диаграмму состояния. В работе № 2 студент вводит марку стали и ее химический состав. Программа рассчитывает значения критических точек  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ . В ней имеются ограничения на содержание некоторых химических элементов, поэтому необходимо корректировать состав стали. Получив значения критических точек, студент определяет возможные виды термообработки для данной стали и их температурные режимы и отвечает на вопросы системы. В работе № 3 студент, проводя пробные расчеты по формулам [3], подбирает такие значения толщины кокиля и слоя краски, чтобы конечная температура кокиля не превышала заданную. В работе № 4 на экран дисплея выводится текстовая информация о последовательности проектирования технологического процесса горячей объемной штамповки детали на кривошипном горячештамповочном прессе. Студент выполняет расчет штамповочных уклонов, заусеничной канавки и других параметров детали, выбирает температурный режим процесса. При выполнении работы № 5 на выбор предлагаются три способа литья: в песчаную форму, в двухслойную форму и в кокиль. Для каждого способа расчет выполняется по отдельной программе. Варьируя технологические параметры литейной формы и изменяя способ литья, студент подбирает условия охлаждения отливки, обеспечивающие получение заданных ее свойств. В работе № 6 на экране дисплея высвечивается информация о методике проектирования и расчета эксцентрикового вала кривошипного пресса и выполняется расчет допускаемых усилий и диаметров опорных шеек вала для трех марок стали. Студент должен выбрать оптимальную сталь и указать ее механические свойства. После окончания работы необходимо сделать чертеж эксцентрикового вала и построить график зависимости усилия от угла поворота вала. В работе № 7 студент исследует свойства марганцовистой стали с помощью метода симплекс-планирования эксперимента. Программы имитируют выполнение эксперимента, рассчитывают функцию отклика. Студент проверяет адекватность выбранной симплекс-модели. Если она адекватна, студент по функции отклика, представленной в виде цифровых рисунков, выбирает состав стали с оптимальным сочетанием противоположных свойств – прочности и пластичности. Если же модель неадекватна, студент выбирает другую модель и опять проводит "эксперимент". В программах использованы формулы [4], описывающие зависимость механических свойств марганцовистых сталей от их состава.

Применение системы "Сплав" в учебном процессе позволяет привить студентам металлургических специальностей навыки работы с ЭВМ в режиме диалога, которые необходимы пользователям систем автоматизации проектирования (САПР) на современном производстве.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Система виртуальных машин для ЕС ЭВМ / Под ред. Э.В. Ковалевича. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 360 с. 2. К а у ф м а н Л., Б е р н с т е й н Х. Расчет диаграмм со-

стояния с помощью ЭВМ. – М.: Мир, 1972. – 326 с. 3. Вейник А.И. Тепловые основы теории литья. – М.: Машгиз, 1953. – 383 с. 4. Балычев Ю.М., Каченко Ф.К. Использование метода планирования эксперимента для исследования механических свойств марганцовистых сталей // МиТОМ. – 1984. – № 12. – С. 28–31.

УДК 669.018:66.094.3

Г.М. ЛЕВЧЕНКО, А.В. ЛОМАКО,  
В.Н. СЕНАТОР

## ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ $\text{MoSi}_2\text{--CrB}_2$ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ

Дисилицид молибдена широко применяется в качестве материала, работающего при высоких температурах в окислительной среде. Высокая жаростойкость  $\text{MoSi}_2$  обусловлена наличием на поверхности образцов газонепроницаемой стекловидной пленки на основе оксида кремния, образующейся при температурах выше  $1100^\circ\text{C}$  и препятствующей дальнейшему интенсивному окислению вплоть до температуры  $1700^\circ\text{C}$ .

В процессе высокотемпературного нагрева в материале происходят значительные изменения: стекловидная пленка постепенно коагулирует и затекает в поры, возрастает размер зерна дисилицида [1].

Эффект значительного повышения жаростойкости наблюдается при создании псевдосплавов из силицидов и боридов. Например, композиционный материал состава 50 %  $\text{ZrB}_2$  + 50 %  $\text{CrSi}_2$  (по массе) обладает жаростойкостью, существенно превышающей стойкость исходных компонентов [2]. Сплавы системы  $\text{TiSi}_2\text{--TiB}_2$  окисляются значительно меньше чистых дисилицида титана и диборида хрома. Наибольшим сопротивлением окислению обладает сплав состава  $8\text{TiSi}_2$  +  $2\text{TiB}_2$ , представляющий твердый раствор на основе дисилицида титана [3].

Принцип создания композиций типа "силицид–силицид" и "силицид–борид" дает широкую возможность для поиска многокомпонентных сплавов с более высокими физико-химическими свойствами в сравнении с чистыми дисилицидами и диборидами [4].

Настоящая работа является частью цикла работ по исследованию процесса получения систем  $\text{Me}^{\text{IV-V}}\text{Si}_2\text{--Me}^{\text{IV-V}}\text{B}_2$  и их высокотемпературных свойств.

Тугоплавкие соединения и композиционные материалы получали методом прямого синтеза, а их образцы – методами порошковой металлургии. Фазовый состав определяли металлографическим, микродюрометрическим и рентгеноструктурным анализами. Жаростойкость исследовали в атмосфере воздуха гравиметрическим методом при температурах  $1100, 1200, 1300, 1400^\circ\text{C}$  в течение 50 ч. Взвешивание проводили через каждые 5 ч испытаний.

Экспериментально установлено: максимальная температура синтеза составляет  $1600^\circ\text{C}$ ; высокотемпературное взаимодействие в эквимолекуляр-