

*Л.Г.Ворошнин, П.А.Витязь, А.Х.Насыбулин,
Н.П.Гребнев, Б.М.Хусид*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОМОГЕНИЗАЦИИ И ХИМИКО–ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Анализируя структуры спеченных материалов, можно заметить, что они даже в пределах одного материала в различных областях отличаются количеством частиц той или иной составляющей, их расположением и т.д. Поэтому они являются структурами хаотическими [1]. Проводить расчеты диффузионного перераспределения элементов в системах с хаотическими структурами сложно, а порой и невозможно. Сделав расчеты процессов диффузии в какой-то одной области, нельзя утверждать, что точно также происходят они в другой части хаотической системы. Абсолютно точное исследование диффузионного массопереноса можно провести, зная достоверно структуру и концентрационное распределение элементов всего изделия. Задача определения этих величин для всей системы сама по себе является сложной и, кроме того, она становится в подавляющем большинстве случаев неразрешимой даже для ЭВМ. В то же время металлографические и физические исследования многих систем показывают, что помимо различия, в хаотических структурах имеется и много общего. Например, изотропность систем, устойчивость и сохранение формы частиц [1], одинаковое среднее количество частиц одного состава в различных областях. Это дает основания использовать при теоретических исследованиях диффузионного массопереноса какую-то среднюю элементарную ячейку – модель системы, диффузионные процессы в которой дают представление о диффузионном перераспределении элементов во всем материале в целом. Следует отметить, что модель должна отражать геометрические и физические свойства реальной системы и соответствовать описанным в данной работе структурам. Полученная с помощью модели теоретическая структура называется упорядоченной [1]. Разработка моделей в большой степени является субъективной [1]. Для одной и той же системы можно предложить несколько моделей [2]. Хотя эти модели визуально резко отличаются, но качественные и даже количественные результаты расчетов по ним различаются незначительно.

При моделировании многокомпонентной системы рассмотрим простейший случай, когда она получена прессованием смеси двух порошков различного химического и гранулометрического состава и является либо структурой с включениями, либо структурой с взаимопроникающими компонентами. Предполагаем, как и в [2], система после прессования без-

пористая или по крайней мере процент пористости низок. Обозначим* порошки состава \vec{c}_1 , образующие основу через А, а порошки "бедной" [2] составляющей (т.е. той, которой в смеси меньше) состава \vec{c}_2 через В. Если включения В имеют форму, близкую к сферической, и располагаются в матрице основы в виде гранецентрированной кубической решетки, то модель будет иметь вид, как на рис. 1.

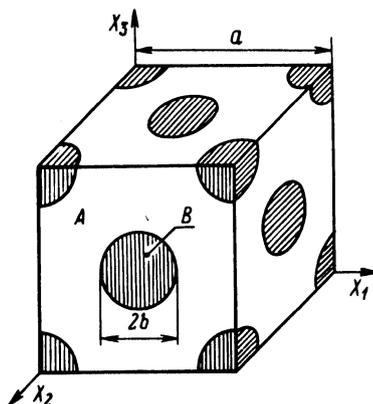


Рис. 1. Элементарная ячейка в виде гранецентрированной решетки со сферическими включениями.

В этой модели возможно использовать и другие правильные формы частиц. В случае сферических включений обеспечивается возможность исследовать на одной модели смеси концентрацию включений от 0 до 73,79% по объему. Такая ячейка дает возможность решать как задачи гомогенизации, так и задачи химико-термической обработки (ХТО). Например, если насыщение одним или несколькими элементами происходит с поверхности $x_1 = 0$ (рис. 1), то среднюю элементарную "ячейку" для такой задачи можно выбрать в виде полубесконечного параллелепипеда, достраивая первый куб аналогичными в сторону увеличения x_1 . Определяя экспериментально b — средний радиус частиц порошка сорта В, имеющего сферическую форму и являющуюся включением, а также его объемное содержание в прессовке f , можно легко определить размер a элементарного куба следующим образом. В кубе содержится 4 полных шара и их объем $v = \frac{16}{3} \pi b^3$. Объем всей элементарной ячейки a^3 . Поэтому доля порошка

$fa^3 = \frac{16}{3} \pi b^3$, откуда $a = 2b \sqrt[3]{\frac{2\pi}{3f}}$. ХТО подвергают как непосредственно

спрессованные изделия, так и прошедшие предварительное спекание или горячее прессование, а также другие виды обработки. При повышенных

* i — компонента вектора относится к i — компоненту системы.

температурах происходит перераспределение элементов, и в системе не будет резких перепадов концентраций составляющих ее компонент, как в прессовках, не подвергнутых отжигу. Достоинством применения разностных схем является возможность по единой программе проводить расчеты диффузионного массопереноса для всего технологического цикла.

Информацию о начальном распределении концентраций компонент в последнем случае дают металлографические исследования, проводимые с помощью микроанализатора "Сатеса". Согласно принципу Кавальери-Аккера [3], доля структурной составляющей в объеме сплава, на площади его сечения и на линии, проходящей через сплав, одинакова. Аналогичное утверждение справедливо и для концентрационного распределения компоненты. Если проводить микроанализ по элементам, первоначально содержащихся в частицах В, то пики на распределении дадут концентрации в центрах сфер (рис. 1). Концентрации легирующих элементов будут плавно снижаться к областям, не содержащим первоначально частицы В. Метод определения величины a прежний, т.е. эта величина рассчитывается исходя из объемного соотношения в смеси порошков и среднего размера включений, вычисленного по экспериментально наблюдаемому распределению легирующих элементов. Если какой-либо элемент из порошка В в процессе обра-

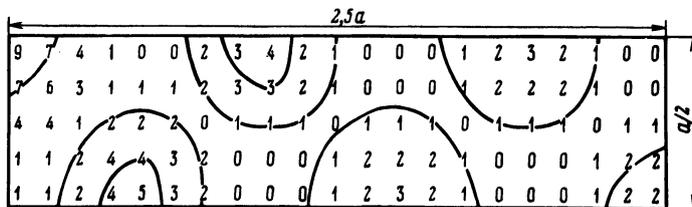


Рис. 2. Распределение углерода в системе Fe—Cr—C после 0,5 ч отжига при 1020°С. Символ "0" соответствует значению 0,47 ат.%, символ "9" — 4,9 ат. %. Остальные символы присвоены значениям, лежащим между этими экстремумами. Показано сечение параллелепипеда элементарной "ячейки" плоскостью $x_3 = 200$ мкм.

ботки, проводимой перед ХТО, успел продиффундировать по всему объему, то в местах, первоначально не содержащих частицы В, он будет образовывать какой-то переменный "фон". Для задачи, описанной вначале, средний размер частиц порошка ХЗО был $b=100$ мкм. Расчеты показали, что величина $a=400$ мкм. Величина среднего "фона" хрома в системе перед цементацией оказалась 3% (по массе), а средняя величина пика в центрах порошинок 12% (по массе). Были проведены расчеты цементации этой системы с ис-

пользованием элементарной "ячейки" в виде полубесконечного параллелепипеда, построенного с помощью куба с гранецентрированным расположением центров областей повышенного содержания хрома (рис. 2). Результаты расчетов вполне удовлетворительно согласуются с экспериментом.

Л и т е р а т у р а

1. Ду ль н е в Г.Н., З а р и ч н я к Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. — Л., 1974. 2. Р а й ч е н к о А.И. Диффузионные расчеты для порошковых смесей. — Киев, 1969. 3. Ч е р н я в с к и й К.С. Стереология в металловедении. — М., 1977.

УДК 669.781

Е.Ф.Керженцева

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДИФфуЗИОННО—УПРОЧНЕННЫХ В ПАСТАХ СТАЛЕЙ*

Исследована износостойкость в условиях сухого трения скольжения боридных, бороалюминиевых, хромовых, хромкремниевых и хромтитановых слоев, полученных в пастах.

В состав паст входили наполнитель: насыщающая смесь и связующее вещество. Хромовые, хромкремниевые и хромтитановые слои были получены в алюмотермических насыщающих смесях. Боридные и бороалюминиевые слои были получены в насыщающих смесях на основе борного ангидрида и карбида бора.

Некоторые составы применяемых насыщающих смесей: хромирование (100% [30% Al_2O_3 + 70% (70% Cr_2O_3 + 30% Al) + 5% NH_4Cl]); хромсилицирование (100% { 30% Al_2O_3 + 70% [30% Al + 70%(75% Cr_2O_3 + 25% SiO_2)] } + 5% NH_4Cl); борирование (80% B_4C + 20% Na_3AlF_6); бороалитирование (80% [90% B_4C + 10%Al] + 20% Na_3AlF_6).

В качестве связующего вещества был использован гидролизированный этилсиликат и смесь ацетона с клеями на основе фенолоформальдегидных смол, модифицированных поливинилбутиралем.

Испытания на изнашивание проводили на машине типа МИ. Образец (10 x 10 x 15 мм) с притертыми торцами подвергали диффузионному упрочнению. Затем, закрепив неподвижно, его изнашивали в паре с образцом из стали P18 (наружный диаметр 40 мм, толщина 10 мм, HRC 60–62). Пара-

*Работа выполнена под руководством докт.техн.наук Л.Г.Ворошнича.