

Я. Е. ГЕГУЗИН

О ФОРМЕ ПОР, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ВЗАИМНОЙ ДИФфуЗИИ МЕТАЛЛОВ

(Представлено академиком Н. В. Беловым 7 VII 1954)

1. В предыдущих работах (^{1, 2}), посвященных изучению взаимосвязи между явлениями самодиффузии и взаимной диффузии в неоднородных пористых телах, было показано, что диффузия носит униполярный характер и осуществляется по преимуществу из металла, обладающего меньшей скрытой теплотой испарения. В связи с униполярностью процесса диффузии металл, из которого ушло большое количество атомов, обогащается вакансиями, концентрация которых существенно превосходит равновесную при данной температуре, определяемую, согласно Я. И. Френкелю (³), соотношением $c = e^{-u/kT}$, где u — энергия активации процесса дыркообразования. Образующаяся при этом система может рассматриваться как пересыщенный раствор вакансий в металле, из которого должна выпадать фаза, отвечающая вакансиям, т. е. поры, что и наблюдалось при металлографическом изучении взаимной диффузии в нескольких системах (^{1, 2}).

Продолжая далее аналогию системы металл — неравновесное (повышенное) количество вакансий с пересыщенным раствором, естественно предположить, что выкристаллизовывающаяся из раствора фаза, т. е. поры, должны иметь форму, определяемую в соответствии с правилом Кюри — Вульфа анизотропией коэффициента межфазного поверхностного натяжения на границе выпадающая фаза — раствор. Так как в рассматриваемом случае межфазное поверхностное натяжение совпадает с поверхностным натяжением на границе металл — вакуум, то форма пор должна совпадать с формой кристалликов металла, в котором поры возникают, т. е. можно ожидать появления отрицательных кристаллов.

Целью данной работы являлась экспериментальная проверка изложенных выше соображений о форме пор, возникающих при взаимной диффузии металлов.

2. Основная серия опытов была произведена над образцами системы α -латунь — медь (α -латунь содержала 30% цинка). Данная система была избрана в связи с существенным превосходством коэффициента диффузии цинка в медь над коэффициентом диффузии меди в α -латунь (⁵), благодаря чему обеспечивается униполярность процесса диффузии. Важными при выборе системы явились также соображения о сравнительно легкой полируемости латуни, что существенно при выявлении формы пор.

Образцы, состоящие из трех слоев (медь — латунь — медь) после полировки всех контактирующих поверхностей сжимались под прессом. Сжатый образец помещался в свинчивающуюся трубку и подвергался предварительному отжигу ($T = 750^\circ$, $t = 2$ часа) для обеспечения надежного контактирования. Основной диффузионный отжиг проводился в атмосфере проточного водорода по режиму $T = 850^\circ$, $t = 10$ час. Для

избежания испарения цинка из боковой поверхности образца последний гальванически покрывался медью.

Исследовались сечения образцов, перпендикулярные плоскости контактирующих поверхностей. Шлифы тщательно полировались на фетровой шайбе и протравливались аммиаком и перекисью водорода (1 : 1). На основании просмотра шлифов можно сделать следующие наблюдения: а) образовавшиеся в латуни поры имеют огранку, отличную от сферической (рис. 1а); б) в плоскости шлифа встречаются сечения пор, имеющих форму треугольников, прямоугольников, пятиугольников и шестиугольников; в) в пределах данного зерна в плоскости шлифа сечения пор имеют почти одинаковую форму и одинаково ориентированы (рис. 1б и в).

Совокупность описанных наблюдений дает основание полагать, что поры, образовавшиеся в α -латуни в связи с диффузией цинка в медь, имеют форму кубиков. То обстоятельство, что форма сечения пор в пределах одного зерна практически постоянна и меняется при переходе от зерна к зерну (см. рис. 1б и в), естественно объясняется различиями в ориентировках отдельных зерен по отношению к плоскости шлифа. К примеру, зерно, изображенное на рис. 1б, расположено так, что плоскость (100) образует малый угол с плоскостью шлифа; плоскость (111) зерна, изображенного на рис. 1в, образует малый угол с плоскостью шлифа.

3. С целью проследить объемную огранку пор было проведено послойное сошлифовывание определенного зерна, чередующееся с просмотром и фотографированием шлифов. Для того чтобы можно было оценить толщину сошлифованного слоя, с двух сторон исследовавшегося зерна при помощи индентора прибора для определения микротвердости (ПМТ-3) наносились канавки, ширина которых в связи с большой величиной угла раствора при вершине ($\cong 139^\circ$) весьма чувствительна к толщине сошлифованного слоя. Некоторые из полученных фотографий изображены на рис. 2. На этих фотографиях может быть прослежено изменение формы сечения отдельных пор, согласующееся со сделанным предположением об их объемной огранке. Можно также проследить за исчезновением и появлением некоторых пор.

4. Из соображений, изложенных в (1), следует, что пористость должна появляться в тех местах системы, где в силу униполярности процесса диффузии будет иметь место наибольшее пересыщение вакансиями. Основательность этого предположения может быть подтверждена следующим опытом. В медную пластинку впрессовывалась тонкая вольфрамовая проволока, после чего пластинки полировались. После полировки вольфрам и медь находились строго в одной плоскости, являвшейся плоскостью контактирования с латунью. Вольфрамовые проволоочки являлись, таким образом, реперными метками, свидетельствовавшими об исходном положении плоскости контакта латуни — медь*. Как это можно было усмотреть на протравленном шлифе, в связи с процессом диффузии область латуни распространилась в глубь меди, при этом, однако, пористость расположена за плоскостью исходного контакта, т. е. в той части латуни, которая явилась источником атомов цинка, диффундирующих в медь.

5. Кубическая огранка пор была нами также наблюдаена на образцах медь — никель, составленных из одной проволоочки никеля, расположенной в центре, и 6 проволоочек меди, расположенных вокруг никелевой проволоочки (1).

Опыты с образцом медь — никель были предприняты с целью показать, что явления, наблюдавшиеся в системе α -латунь — медь, не являются особенностью случая, когда осуществляется униполярная диффу-

* Описанный прием заимствован из работы (4).

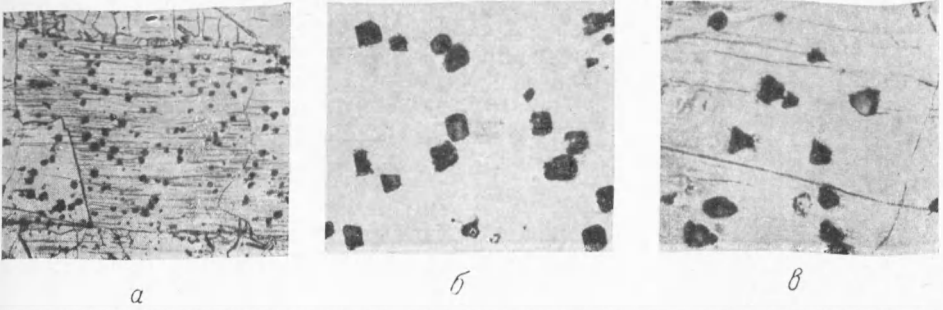


Рис. 1. *a* — образец медь — α -латунь — медь. $T = 850^\circ$, $t = 10$ час., $\times 200$; *b* и *v* — отдельные участки образца, $\times 500$

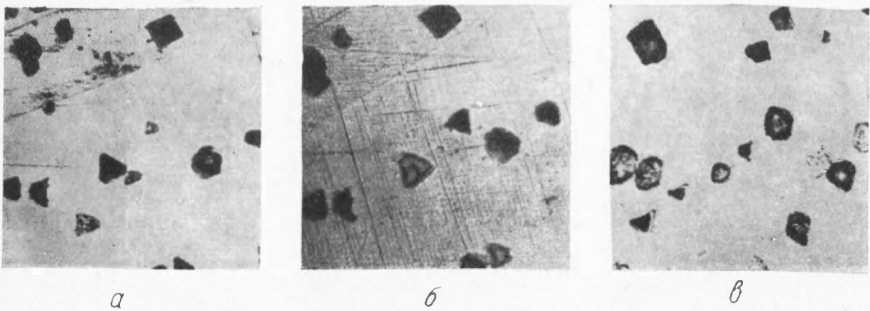


Рис. 2. Глубинные сечения одного и того же места на α -латуни (см. рис. 1). *a* — $h = 0$; *b* — $h = 3 \mu$; *v* — $h = 10 \mu$

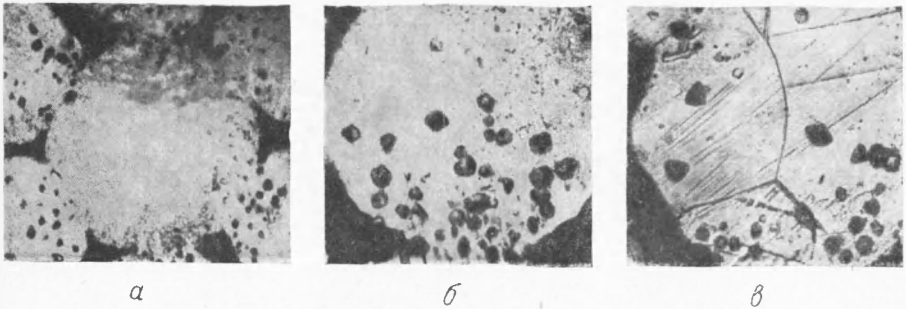


Рис. 3. *a* — образец медь — никель. $T = 950^\circ$, $t = 19$ час., $\times 130$; *b* и *v* — участки меди, $\times 260$



Рис. 1

зия из раствора в чистый металл, а имеет место и в случае взаимной диффузии чистых металлов.

Исследовавшийся образец отжигался в вакууме при $T = 950^\circ$, $t = 19$ час. Приводимые фотографии (см. рис. 3) свидетельствуют о том, что и в случае системы медь — никель наблюдаются те же явления, что и в системе α -латунь — медь.

Выражаю искреннюю благодарность Н. Н. Овчаренко, оказавшей помощь в проведении опытов.

Харьковский государственный университет
им. А. М. Горького

Поступило
14 IV 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Б. Я. Пинес, Я. Е. Гегузин, ЖТФ, **23**, в. 9 (1953). ² Я. Е. Гегузин, Пэк-Ен-Гин, ЖТФ, **24**, в. 9 (1954). ³ Я. И. Френкель, Введение в теорию металлов, 1952. ⁴ A. D. Smigelkas, E. O. Kirkendal, Metals Technology, T. R. 2071, 1946. ⁵ L. S. Darken, *ibid.*, T. R. 2311, 1948.