

В. И. АРХАРОВ, К. А. ЕФРЕМОВА, С. И. ИВАНОВСКАЯ, А. К. ШТОЛЬЦ
и Б. А. ЮНИКОВ

К ВОПРОСУ О ФРОНТАЛЬНОЙ ДИФФУЗИИ В ТЕХНИЧЕСКОМ ЖЕЛЕЗЕ

(Представлено академиком И. П. Бардиным 12 I 1953)

При наличии в поликристаллическом твердом растворе поверхностно-активной (горофильной) примеси, в концентрации, существенно меньшей предела ее растворимости, пограничные межкристаллитные зоны обогащаются этой примесью до высокой концентрации, определяемой растворимостью. При диффузии третьего элемента извне (фронтально) в такой материал скорость диффузии в толще кристаллитов и в пограничных зонах может оказаться резко различной. Если повышение концентрации горофильного компонента в твердом растворе ускоряет диффузию третьего элемента, то фронт диффузии будет заходить клиньями или выступами в глубь насыщаемого сплава вдоль межкристаллитных границ, что наблюдалось уже ранее (1). Возможно также образование выступов диффузионного фронта, когда насыщаемый металл не содержит горофильных примесей, но диффундирующий металл сам по себе сильно горофилен относительно насыщаемого металла (2, 3). В этом случае диффундирующий металл в самом процессе диффузии будет в первую очередь входить в состав пограничных зон и поэтому предпочтительно диффундировать по ним.

Нами была исследована диффузия ряда элементов (Ni, Pd, Cu, Cr и др.) в техническое железо с применением ранее описанной методики (4). При этом наблюдалась различная форма диффузионного фронта. В случае диффузии хрома или алюминия наблюдалась одинаковая по ширине сплошная диффузионная зона с ровным фронтом; это свидетельствует об одинаковой скорости диффузии данного элемента как в толще зерна, так и в пограничных зонах кристаллитов. При диффузии же никеля, палладия и меди диффузионный фронт имеет выступы вдоль межкристаллитных границ, аналогично тому, как это было обнаружено ранее при изучении диффузии серебра в поликристаллическую медь с примесью сурьмы (1); это свидетельствует о предпочтительной диффузии элемента вдоль границ, где скорость диффузии в этих случаях превышает скорость диффузии через толщу кристаллитов. На рис. 1 а представлена картина такого типа, полученная нами при диффузии никеля в железо. Предпочтительная диффузия никеля вдоль межкристаллитных границ в железе приводит к образованию разветвленных узких и длинных выступов, которые, разрастаясь вдоль границ, окаймляют кристаллы и создают на микрошлифе замкнутые петли сетки. В дальнейшем каждая такая петля заполняется диффундирующим никелем не только со стороны основного фронта диффузии, но и из межкристаллитных зон со всех остальных сторон петли.

Такой характер диффузии проявляется в меньшей степени, если железо содержит в себе малые примеси титана (0,2%), ниобия (0,12%) и особенно молибдена (0,2—0,37%) и бора (0,004% по расчету). Эти при-

меси как бы парализуют образование выступов фронта диффузии по межкристаллитным границам. При наличии в железе примеси молибдена межкристаллитные выступы фронта диффузии никеля становятся мелкими и короткими (рис. 1 б) или же совсем отсутствуют.

Аналогичная картина получается и при диффузии никеля в железо, содержащее малую добавку бора, а также в случае одновременного присутствия в железе молибдена и бора. Эти результаты можно объяснить тем, что Ti, Nb, Mo и В являются для железа горофильными и в то же время тормозят диффузию в него никеля. Иначе говоря, их влияние на диффузию никеля в железо аналогично влиянию бериллия на диффузию серебра в медь (1).

Предпочтительная диффузия никеля в железо вдоль межкристаллитных границ резко выражена при 1100°, чем при более высоких температурах; различие в скоростях диффузии в пограничной зоне и в толще кристаллита сглаживается с ростом температуры. Явление, аналогичное диффузии никеля в железо, наблюдалось при диффузии в железо палладия. Палладий при фронтальной диффузии его в железо также диффундирует предпочтительно вдоль межкристаллитных границ, образуя неровный диффузионный фронт с широкими выступами.

Интересные результаты получены также в опытах по диффузии серебра в сплав железа с палладием. Как известно, серебро с железом взаимно нерастворимы при любых температурах, вследствие чего диффузия серебра в чистое железо при отсутствии других элементов невозможна. При диффузии же серебра в сплавы железа с палладием (0,2—1,0%) при температуре 940° с выдержками порядка 200 час. наблюдается ярко выраженная диффузия. В области, прилегающей к границе раздела серебра с железом, наблюдается тонкая светло травящаяся сетка. Эта сетка не совпадает с видимыми границами зерен α -железа и фиксирует зерна γ -железа, существовавшие при температуре диффузии, межкристаллитные границы которых были насыщены палладием (рис. 1 в).

Сходные результаты были получены при исследовании диффузии меди в техническое железо. В этом случае также наблюдался неравномерный диффузионный фронт в виде длинных и широких выступов вдоль межкристаллитных границ (рис. 1 г). Однако в опытах по диффузии серебра в сталь, легированную медью, горофильность меди не подтвердилась, так как не было обнаружено предпочтительной диффузии серебра вдоль границ поликристаллического сплава. В данном случае наблюдалась сплошная диффузионная зона, свидетельствующая о растворимости серебра в твердом растворе Cu—Fe. Можно предполагать, что наблюдаемое явление предпочтительной диффузии меди вдоль межкристаллитных границ технического железа вызвано ускоряющим влиянием на диффузию меди горофильной примеси, содержащейся в техническом железе, не учитываемой химическим анализом.

Изложенные в настоящей статье экспериментальные данные расширяют круг двойных и тройных металлических систем, где проявляется межкристаллитная внутренняя адсорбция поверхностно-активных (горофильных) элементов. Факты предпочтительной диффузии некоторых элементов по межкристаллитным границам были отмечены в недавних иностранных работах (4-6), появившихся после опубликования предыдущих работ нашей лаборатории.

Институт физики металлов
Уральского филиала Академии наук СССР

Поступило
12 I 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. И. Архаров, Т. Ю. Гольдштейн, ДАН, 66, 1113 (1949) ² В. И. Архаров, Тр. ИФМ УФАН, в. 8, 54 (1946); в. 12, 94 (1951). ³ В. И. Архаров, Доклад на конф. по металловед. в Свердловске, 1950. ⁴ R. S. Barnes, Nature, 166, № 4233 (1950). ⁵ M. R. Achter, R. Smoluchowski, J. Appl. Phys., 22, No. 10 (1951). ⁶ R. Flanagan, a. R. Smoluchowski, ibid., 23, № 7 (1952).