Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. М. Миронов, Изменение диффузной проницаемости железа и его сплавов при введении в них инертных газов, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2003, выпуск 19, 179–182

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu165>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.237.59.107

26 апреля 2023 г., 14:55:15

величину верхнего предела плотности можно получить, сделав предположение о беспорядочном распределении дислокаций. Для такого распределения дислокаций плотность будет: $\rho = \delta_{\max}^2 / 9b^2$.

Значения плотностей избыточных дислокаций могут быть получены также из других рентгеновских данных, например из данных о размерах блоков $\rho = 3n / D^2$, где n – число дислокаций на поверхности блока.

Значения плотностей дислокаций, полученные по разориентировкам и размерам блоков (например, для деформированных металлов), согласуются достаточно удовлетворительно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Овсиенко Д.Е., Соснина Е.И. Влияние скорости роста монокристаллов на их мозаичную структуру // ФММ. 1986. Т. 3. Вып. 2. С. 374-382.
2. Овсиенко Д.Е., Соснина Е.И. Вопросы физики металлов и металловедения. Киев: АН УССР, 1989. № 9. 185 с.

Поступила 10.02.2003 г.

УДК 539:219.3:53

В.М.Мионов

ИЗМЕНЕНИЕ ДИФфуЗНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ЖЕЛЕЗА И ЕГО СПЛАВОВ ПРИ ВВЕДЕНИИ В НИХ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

Рассматриваются результаты экспериментальных исследований, посвященных изучению влияния присутствия инертного газа в кристаллической решетке металла на диффузионную проницаемость. Твердый раствор возникает в процессе обработки в плазме тлеющего разряда. Показано, что бомбардировка железа ионами инертных газов создает барьерный эффект в приповерхностном слое, что приводит к уменьшению его диффузионной проницаемости как в условиях стационарных изотермических отжигов, так и импульсных воздействий.

Известно, что введение инертных газов в металлы и сплавы сопровождается появлением в приповерхностном слое и объеме сильно неравновесной структуры, которая характеризуется возникновением твердого раствора металл-инертный газ, различных радиационных дефектов и микропузырьков, содержащих инертные газы. Все это сказывается на стабильности материалов в процессе эксплуатации при действии температур и импульсных нагрузений. Данная работа посвящена изучению влияния присутствия инертного газа в кристаллической решетке металла на такой структурно-чувствительный процесс, как диффузия. Так как твердый раствор, возникающий при насыщении в процессе обработки в плазме тлеющего разряда, метастабилен и образуется по типу вычитания, диффузия в нем должна подчиняться несколько иным закономерностям, чем в чистом металле или твердом растворе, полученном в равновесных условиях.

Эксперименты проводились на армко – железе, стали У 8 и сплаве железа с 30 % никеля, из которых изготавливали цилиндрические образцы, которые для одновременной обработки располагали в служащей катодом стальной оправке по окружности симметрично относительно анода. Ионную бомбардировку торцевых поверхностей образцов проводили при давлении $\sim 1,3 \cdot 10^3$ Па в аргоновой плазме тлеющего разряда, содержащей в некоторых случаях небольшое количество (около 0,1 %) радиоактивного изотопа ^{85}Kr . Напряжение между анодом и катодом (образец) составляло 1 кВ, плотность тока – 50 мА/см². Температура поверхности образцов не превышала 473-493 К. Длительность обработки составляла 30 ч. Это позволило ввести в приповерхностный слой металла толщиной 30 – 35 мкм порядка 2 – 3 % инертного газа, распределенного по глубине по экспоненциальному закону от квадрата расстояния от поверхности [1]. Распределение инертного газа по поверхности характеризуется наличием концентрически расположенных внешней и внутренней (содержащей инертный газ [2]) областей (рис. 1, а).

Часть образцов подвергали цементации в среде порошкообразного карбюризатора $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$. Другую часть образцов покрывали радиоактивными железом и никелем. Покрывают наносили электролитическим способом из водных растворов $^{55}\text{FeCl}_3$ и $^{63}\text{NiSO}_4$. Уже при электролитическом нанесении покрытий выявились особенности, характеризующие осаждение радиоактивного железа

Р и с. 1. Макроавтордиограммы поверхности железа, содержащего инертный газ: до (а) и после (б) электролитического нанесения покрытия.

на металл, содержащий инертный газ. В первую очередь, это проявляется в возникновении неоднородного распределения изотопа по поверхности, которое зависит от содержания аргона (криптона) в том или ином месте (рис. 1, б), в то время как различия в концентрации радиоактивного изотопа железа (или никеля) по поверхности исходного армко – железа или его сплавов не превышали 3 %. Кроме того, для получения необходимой активности слоя при нанесении на металл, содержащий аргон, требовались более высокие плотности тока.

Образцы подвергались различным внешним воздействиям, таким, как изотермический отжиг при температурах $973 \div 1173 \text{ K}$ в течение $1 \div 120 \text{ ч}$ и ударное сжатие со скоростями $10^{-1} - 10^4 \text{ с}^{-1}$ в интервале $293 \div 673 \text{ K}$.

Т а б л и ц а 1
Глубины проникновения (X, мкм)
и коэффициенты диффузии железа $^{55,59}\text{Fe}$ в желе-
зе
и твердом растворе Fe - Ar при
изотермических отжигах

$\& \text{с}^{-1}$	$D_{\text{м}}, \text{см}^2/\text{с}$			
	Железо		Железо – аргон	
	$^{55,59}\text{Fe}$	^{85}Kr	$^{55,59}\text{Fe}$	^{85}Kr
0,2	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-9}$	-
50	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$

Проведенные эксперименты показали, что диффузия железа в твердом растворе вычитания Fe – Ar [2] происходит на меньшие глубины и с меньшей скоростью, чем в исходное армко железо (табл. 1), хотя известно, что избыточные структурные вакансии, присутствующие в твердом растворе вычитания, способствуют возрастанию коэффициентов диффузии и самодиффузии, как это показано, например, на системе Fe – Al [3].

Несколько иная картина наблюдается в случае диффузии углерода. Глубина проникновения атомов радиоактивного углерода

^{14}C в железо и сталь, содержащие атомы аргона, увеличивается более чем на порядок по сравнению с глубиной проникновения атомов железа в этот материал. Наличие инертного газа в кристаллической решетке железа проявляется только на глубинах до 200 мкм, где концентрация атомов углерода в Fe - Ar ниже, чем в Fe. То есть не только атомы аргона, расположенные в приповерхностном слое толщиной $\sim 30 \text{ мкм}$, но и имеющиеся на больших глубинах радиационные повреждения кристаллической решетки изменяют проницаемость железа и стали. Однако в целом глубины проникновения атомов ^{14}C в твердом растворе железо-аргон и чистом железе практически совпадают (рис. 2).

Р и с. 2. Концентрационные профили распределения атомов ^{14}C в железе (1) и твердом растворе аргона в железе (2) при отжиге в течение 1 ч при 1073 K : а – железо, б – сталь

При переходе от стационарного термического воздействия на исследуемый металл к импульсному деформированию в отсутствие нагрева также наблюдается влияние инертного газа на диффузию. Для скоростей пластической деформации в интервале от $0,1$ до 10^4 с^{-1} , как и для различных температур отжига, присутствие в металле атомов инертного газа приводит к уменьшению глубины проникновения и скорости миграции атомов в твердом растворе по сравнению с чистым металлом (табл. 2, рис. 3). Однако следует отметить, что из сравнения результатов, представленных в табл. 1 и 2, вытекает, что при миграции атомов в металле, содержащем инертные газы, температура оказывает более слабое влияние на диффузию, чем скорость пластической деформации. Кроме того, в отличие от температуры пластическая деформация с ростом величины $\dot{\epsilon}$ приводит к уменьшению различий в значениях коэффициента массопереноса железа в железе $D_{M(Fe)}^{Fe}$ и твердом растворе инертного газа в металле $D_{M(Fe-Ar)}^{Fe}$. Для изотермического отжига независимо от температуры это различие не превышает $\sim 2,5 - 3$ раз, тогда как с ростом скорости деформации от $0,1$ до 10^4 с^{-1} отношение $D_{M(Fe)}^{Fe} / D_{M(Fe-Ar)}^{Fe}$ уменьшается от 10 до 1,5.

Р и с. 3. Концентрационные профили распределения атомов ^{55}Fe и ^{85}Kr в железе и твердом растворе аргона в железе при импульсном нагружении:

а) 1 - ^{55}Fe в Fe, 2 - ^{55}Fe в Fe - Ar (50 с^{-1} , 293 K); б) 1 - ^{55}Fe в Fe, 2 - ^{55}Fe в Fe - Ar, 3 - ^{85}Kr в Fe, 4 - ^{85}Kr в Fe - Ar ($3 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$, 323 K).

Для миграции атомов в металлах при импульсной обработке характерно, как правило, равномерное распределение по объему зерна [4]. Для выяснения влияния наличия в материале инертного газа на характер проникновения атомов исследовалась миграция атомов никеля в железе. Так, перераспределение атомов ^{63}Ni в насыщенном аргоном железе при многократном деформировании с ультразвуковой частотой ($0,2 \text{ с}^{-1}$, 30 кГц) в интервале температур $305 - 673 \text{ K}$ в течение 1 с происходит также по объему зерен, что подтверждается данными автордиографического анализа (рис. 4, а). Как видно из рис. 4, на глубине $\sim 10 \text{ мкм}$ в плоскости, параллельной поверхности образца, наблюдается преимущественное почернение в объеме зерна, в то время как на границах степень почернения существенно ниже. Причем при деформации в условиях комнатной температуры уменьшение концентрации никеля в границах по сравнению с объемом зерна выражено менее заметно. Эти различия возможно связаны с ростом существующих в насыщенном инертным газом металле газонаполненных пор (особенно в границах зерен), препятствующих миграции атомов никеля. Кроме того, повышенная концентрация точечных дефектов, преимущественно вакансий, возникающих, как известно, в процессе ультразвуковой ударной обработки, также

Т а б л и ц а 2

Влияние скорости пластической деформации на проникновение атомов $^{55,59}\text{Fe}$ и ^{85}Kr в железе и твердом растворе аргона в железе при 300 K ($D_{\text{м}}, \text{см}^2/\text{с}$)

$\dot{\epsilon}, \text{с}^{-1}$	Железо		Железо – аргон	
	$^{55,59}\text{Fe}$	^{85}Kr	$^{55,59}\text{Fe}$	^{85}Kr
0,2	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-9}$	-
50	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$
3000	15,5	3,5	10,0	2,0

а

б

Р и с. 4. Микроавторадиограммы
содержащих аргон железа (а) и сплава
Fe-Ni (б) после проникновения атомов ^{63}Ni
($T = 473 \text{ K}$), $\times 300$.

может оказывать влияние на миграцию атомов при повышенных температурах. Подобным образом мигрируют атомы радиоактивного никеля ^{63}Ni в железо-никелевом сплаве (Fe - 30% Ni, γ -фаза), в приповерхностном слое которого находилось до $\sim 2\%$ аргона, в процессе импульсного деформирования ударом со скоростью 20 c^{-1} . Из приповерхностного слоя протяженностью около $0,5 \text{ мкм}$ атомы никеля проникают на глубину до 30 мкм . Причем даже при увеличении скорости деформации на два порядка проник-

новение происходит также по объемному механизму, о чем свидетельствует локализация атомов ^{63}Ni внутри аустенитных зерен (рис. 4, б), в то время как их миграция, стимулированная только ионной обработкой, имеет четко выраженный зернограницный характер [5]. При этом скорость диффузии никеля в сплав, содержащий инертный газ, почти в 5 раз ниже, чем это имеет место при проникновении в сплав, не содержащий аргон, и составляет $5,2 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}$.

Таким образом, бомбардировка железа ионами инертных газов создает барьерный эффект в приповерхностном слое, что приводит к уменьшению его диффузионной проницаемости как в условиях стационарных изотермических отжигов, так и импульсных воздействий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобырь С.А., Герцикен Д.С., Миронов В.М., Тышкевич В.М. Особенности взаимодействия металлов с инертными газами в плазме тлеющего разряда // Взаимодействие излучений с твердым телом (ВИТТ-2001). Минск: БелГУ, 2001. С. 60 -63.
2. Тышкевич В.М., Герцикен Д.С. Влияние условий обработки и характеристик материалов на их взаимодействие с инертными газами в плазме тлеющего разряда // Металлофизика. 2001. Т. 23. № 1. С. 51 – 69.
3. Герцикен С.Д., Дехтяр И.Я. Диффузия в металлах и сплавах в твердой фазе. М.: Физматгиз, 1960. 564 с.
4. Герцикен Д.С., Мазанко В.Ф., Тышкевич В.М., Фальченко В.М. Массоперенос в металлах при низких температурах в условиях внешних воздействий. Киев: НАНУ, 1999. 436 с.
5. Герцикен Д.С., Тышкевич В.М., Черніков В.М. Особливості перерозподілу атомів поверхневих шарів при іонному бомбардуванні металів // Докл. НАНУ. 1996. № 12. С. 113-116.

Поступила 6.05.2003 г.