

05

Гетеродиффузия Al в α -Fe в импульсном магнитном поле

© М.А. Вержаковская, С.С. Петров, А.В. Покоев

Самарский государственный университет
E-mail: pokoev@ssu.samara.ru

Поступило в Редакцию 27 февраля 2007 г.
В окончательной редакции 26 апреля 2007 г.

Рентгенографическим методом впервые измерены коэффициенты объемной диффузии Al в α -Fe в импульсном магнитном поле с амплитудой импульсов 39.8–238.8 kA/m и частотой 1–8 Hz при 730°C. Установлено существенное влияние частоты и амплитуды импульсного магнитного поля на диффузионный процесс.

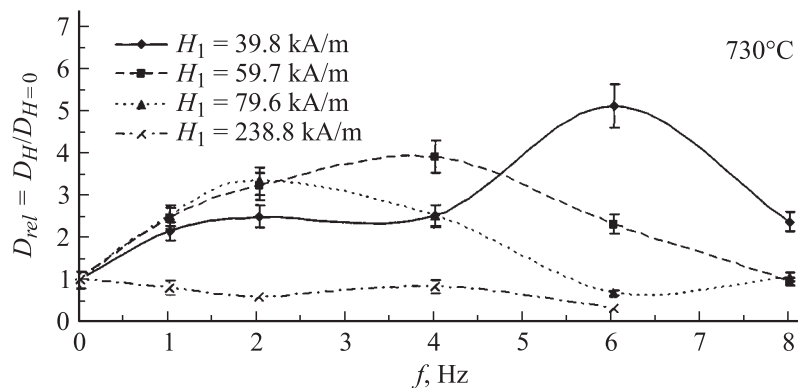
PACS: 75.50.-y, 75.50.Bb

Сведения о влиянии переменных и импульсных магнитных полей (МП) на диффузионные и диффузионно-контролируемые процессы в твердых телах весьма ограничены, а прямые исследования влияния переменного МП на гетеродиффузию в металлах или сплавах, за редким исключением, не проводились. В работе [1] изучали влияние переменного МП частотой 1 Hz и напряженностью 0.8–79.6 kA/m на спекание (самодиффузию) прессованных ферромагнитных кристаллических частиц Fe диаметром ~ 10 – $20 \mu\text{m}$ при температурах 400–900°C. Результаты свидетельствуют о том, что МП оказывает заметное активирующее влияние на процесс спекания исследуемого порошка, реализуемое, по мнению авторов, через взаимодействие движущихся доменных стенок (ДС), дислокаций и их стопоров, которое может привести к ускоренному массопереносу по дислокационному или дислокационно-диффузионному механизму. Важно отметить, что указанный эффект наблюдается лишь в переменном МП и отсутствует при воздействии на образец постоянного МП. В работе [2] предпринято экспериментальное изучение влияния переменного МП частотой 50 Hz и индукцией 0.03 T на гетеродиффузию атомов Fe из твердой фазы в жидкие бинарные расплавы Al–Fe различного состава. Микронзондовым методом уста-

новлено, что наложение переменного МП приводит к существенному увеличению ширины диффузионной зоны, т.е. к ускорению диффузии. Объяснение физической природы наблюдаемых закономерностей отсутствует, однако убедительно показано, что сравнительно слабое переменное МП существенно влияет на диффузию и фазообразование в металлических расплавах. В [3] рентгенографическим методом установлено заметное влияние суперпозиции импульсного и постоянного МП на гетеродиффузию Al в Fe и рассмотрены основные механизмы этого влияния. С целью получения дополнительной информации о механизмах взаимодействия магнитных и структурных дефектов при гетеродиффузии в ферромагнитных металлах при наложении внешних импульсных магнитных воздействий в данной работе впервые изучалась диффузия Al в поликристаллическом α -Fe при наложении импульсного МП при повышенных температурах, когда заметно активирована подвижность атомов примеси и растворителя, находящегося в ферромагнитном состоянии.

Измерения выполнены на цилиндрических образцах поликристаллического α -Fe одной выплавки (вес. %: C — 0.002, Si — 0.13, Mn — 0.25, S — 0.02, P — 0.01, Cu — 0.16, Fe — остальное) диаметром 10 mm и высотой 10 mm. В качестве диффундирующего вещества выбран Al, так как он достаточно хорошо растворяется в α -Fe по механизму замещения, имеет сравнительно высокую известную диффузионную подвижность в растворах α -Fe и заметное отличие в размерах от атомов α -Fe. Перечисленные факторы обеспечивают выполнение необходимых условий применимости и точности измерений ($\sim 8\%$) коэффициента диффузии (КД) по объему зерен рентгеновским методом, подробно описанным нами ранее в работе [3].

Тонкие пленки Al толщиной $0.12 \div 0.13 \mu\text{m}$ наносили на торцевую поверхность образцов методом термического испарения в вакууме 10^{-3} Pa. Для предотвращения испарения Al в процессе диффузии образцы попарно и плотно прижатыми друг к другу рабочими торцами помещали в вакуумную печь для отжига в постоянных и импульсных МП, так чтобы общая ось образцов совпадала с направлением импульсного МП. Такое расположение образцов во время отжига и их форма способствовали также уменьшению размагничивающего фактора. Остальные детали методик эксперимента и измерений достаточно полно изложены в [3].



Частотные по МП зависимости относительного КД Al в α -Fe при температуре 730°C и амплитудах импульсного МП 39.8, 59.7, 79.6 и 238.8 kA/m.

Импульсное МП создавалось электромагнитом ФЛ-1 с электронным блоком питания и управления. Форму сигнала импульсного МП можно описать следующим выражением:

$$H(t) = \begin{cases} H_1 \sin(2\pi ft), & 0 < t < t_1; \\ 0, & t_1 < t < t_1 + t_2, \end{cases}$$

где H_1 — амплитуда положительной импульсной составляющей напряженности МП, f — частота МП, t_1 — длительность импульса, t_2 — время паузы (задержки импульса), $t_1/t_2 \cong 0.2 \div 0.7$.

Частотные зависимости КД Al в α -Fe измеряли в диапазоне частот импульсного МП от 1 до 8 Hz при температуре 730°C в вакууме $\sim 10^{-3}$ Pa. Амплитуда напряженности импульсного МП составляла 39.8, 59.7, 79.6 и 238.8 kA/m; время диффузионного отжига изменяли в пределах 8 \div 10 h.

Степень влияния импульсного МП на измеренный КД Al в α -Fe характеризовали относительным КД $D_{rel}(f, H_1) = D_H(f, H_1)/D_{H=0}$, где $D_H(f, H_1)$ и $D_{H=0} = 2.4 \cdot 10^{-16}$ m²/s [4] — КД Al в α -Fe в импульсном МП амплитудой H_1 и частотой f и без него соответственно. Графики частотных по МП зависимостей относительного КД Al в α -Fe при температуре 730°C при различных амплитудах импульсного МП представлены на рисунке.

Из рисунка можно видеть, что зависимости относительного КД от частоты при амплитудах импульсного МП 39.8, 59.7, 79.6 кА/м имеют максимум, положение которого с ростом амплитуды смещается в сторону более низких частот, а высота максимума относительного КД уменьшается с увеличением амплитуды МП в указанном интервале. При амплитуде напряженности 238.8 кА/м относительный КД становится меньше 1, что говорит о замедлении диффузии Al в α -Fe относительно отжига без МП. Таким образом, при этом достаточно высоком значении амплитуды напряженности МП, находящемся, по данным [5,6], в области насыщения намагниченности матрицы в постоянном МП такой же напряженности, влияние импульсного МП на измеряемый КД уменьшается. По причинам того же характера наблюдаемое уменьшение величины максимума относительного КД с ростом амплитуды МП происходит вследствие того, что на начальном этапе роста амплитуды намагниченность матрицы растворителя еще не достигает состояния насыщения при воздействии импульсов МП.

Одним из возможных качественных микроскопических объяснений столь заметно обнаруживаемого эффекта влияния импульсного МП на диффузионный процесс атомов Al в ферромагнитном α -Fe является существование взаимодействия диффундирующих атомов Al с движущимися доменными стенками (ДС) α -Fe. Подобный эффект наблюдали в работе [7], в которой связывали наблюдаемую зависимость „магнитного“ давления на ДС со стороны плавно меняющегося МП от ее скорости движения в дефектной решетке с захватом потенциальной ямой ДС атомов углерода по механизму Сноэка [8]. Можно предположить, что максимумы относительного КД Al в α -Fe в импульсном МП на рисунке возникают вследствие захвата ДС примесных атомов Al, которые релаксируют в α -Fe по механизму Зинера [8]. При этом скорость ДС зависит от скорости изменения напряженности импульсного МП, т.е. от его частоты. Атомный механизм формирования потенциальной ямы в решетке α -Fe пока неясен.

Для разработки механизмов диффузии Al в α -Fe в импульсном МП необходимо рассмотреть все возможные виды дефектов, присутствующих в диффузионной зоне, оценить энергию их взаимодействия с движущимися ДС и МП, изучить кинетику их движения в импульсном МП, что очень важно для физики прочности и проблемы спиновых реакций дефектов [9,10].

Список литературы

- [1] Бойко Ю.И., Кличук Ю.И., Куц В.М. и др. // Порошковая металлургия. 1989. № 12. С. 14–18.
- [2] Дубоделов В.В., Захаров С.Н., Мазанко В.Ф. и др. // Материаловедение. 2003. № 12. С. 27–30.
- [3] Вержаковская М.А., Покоев А.В. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2006. Т. 70. № 8. С. 1100–1104.
- [4] Акимова И.А., Миронов В.М., Покоев А.В. // ФММ. 1983. Т. 56. В. 6. С. 1225–1227.
- [5] Таблицы физических величин: Справочник / Под ред. акад. И.К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976. 1006 с.
- [6] Mironov A.V., Pokoev A.V., Stepanov D.I. et al. // Defect and Diffusion forum. 2001. V. 194–199. P. 67–72.
- [7] Martin N., Glangaud F., Guillet D. et al. // J. Phys.: Solid State Physics. 1985. V. 19. P. 407–418.
- [8] Физика твердого тела: Энциклопедический словарь / Гл. редактор В.Г. Барьяхтар. Киев: Наук. думка. Т. 1, 2. 1998.
- [9] Альшиц В.И., Даринская Е.В., Колдаева М.В. и др. // Кристаллография. 2003. Т. 48. № 5. С. 838–867.
- [10] Головин Ю.И. // ФТТ. 2004. Т. 46. В. 5. С. 769–803.