

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМОВ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ДЕЙСТВИИ ДЕФОРМАЦИИ И НАГРЕВА

В.Ф. Мазанко¹⁾, Д.С.Герцрикен¹⁾, Д.В. Миронов²⁾, В.М. Миронов²⁾
¹⁾Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины,
бул. Вернадского 36, 01680 Киев, Украина, deciatinka@gmail.com

²⁾Самарский государственный аграрный университет,
ул. Учебная 2, 446442 п. Усть-Кинельский Самарской обл., Россия, dvonorim@mail.ru

В настоящей работе проведено исследование влияния одновременного действия магнитоимпульсной деформации и нагрева на перераспределение атомов. Показано, что одновременное действие скоростной пластической деформации и нагрева способствует изменению формы профиля распределения инертного газа. Установлено, что влияние температуры и параметров импульсной деформации на миграцию атомов инертного газа в кристаллической решетке металла проявляется различным образом.

Ключевые слова: нагрев; импульсная деформация; концентрационное распределение.

REDISTRIBUTION OF ATOMS AT SIMULTANEOUS ACTION OF DEFORMATION AND HEATING

V.F. Mazanko¹⁾, D.S. Gertsriken¹⁾, D.V. Mironov²⁾, V.M. Mironov²⁾
¹⁾Physics of Metal Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine,
36 Vernadsky Ave., 01680 Kiev, Ukraine, deciatinka@gmail.com

²⁾Samara State Agrarian University,
2 Uchebnaya Str., 446442 Ust-Kinelsky village by the Samara province, Russia, dvonorim@mail.ru

In this paper, we study the effect of the simultaneous action of magnetoimpulse deformation and heating on the redistribution of atoms. It is shown that the simultaneous action of high-speed plastic deformation and heating contributes to changing the shape of the distribution profile of inert gas. It is established that the influence of temperature and parameters of pulse deformation on the migration of inert gas atoms in the metal crystal lattice is manifested in different ways.

Experiments were carried out on aluminum AB 000 saturated with krypton by ion bombardment in glow discharge plasma and subjected to magnetic pulse effect.

With the simultaneous action of heating and de-formation, a number of competing processes occur: thermal desorption and migration to the pores along the grain faces, originating from the near-surface layers (up to 1/3 of the diffusion zone), and further penetration into the metal depth along the bulk mechanism, starting from a depth of more than 20-50 microns, with the formation of a solid solution with a variable concentration and microfine pores.

Key words: heating; pulse deformation; concentration distribution.

Введение

Известно, что для миграции атомов в условиях действия импульсных электромагнитных полей или электрических токов, сопровождающихся пластической деформацией, не требуется изотермический отжиг, т.е. активация процесса диффузии происходит за счет энергии деформации и импульсного поля. Для разделения вклада каждого из этих факторов в указанные процессы необходимо выяснение особенностей протекания диффузионных процессов при мощных импульсных полях или токах в отсутствие макроскопической пластической деформации. Такие условия возникают при ионной бомбардировке металла в плазме тлеющего разряда. Одновременное воздействие на металлы и сплавы деформацией (ударных волн) и физических полей различной природы приводит к существенно большему влиянию на процессы диффузии и фазообразования, чем каждое нагружение в отдельности.

Основная часть

Эксперименты проводили на алюминии АВ 000, насыщенном криптоном путем ионной бомбардировки в плазме тлеющего разряда по методике [1] и

подвергнутому магнитоимпульсному воздействию. Такая обработка в течение 10 мкс позволяла осуществить скоростное пластическое деформирование внешней поверхности трубчатого образца со скоростью $5 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ при ее разогреве вихревыми токами до температуры не ниже 673 К [2]. Особенности перераспределения и миграции атомов изучали методами послыонного радиометрического анализа и микроавторадиографии.

В отличие от атомов металлов, обладающих взаимной растворимостью и нерастворимых в равновесных условиях (таллий, цезий), для которых с ростом скорости пластической деформации $\dot{\epsilon}$ и температуры нагружения T наблюдается увеличение глубин проникновения мигрирующих атомов и коэффициентов диффузии (массопереноса) [3,4], нагрев в процессе скоростной пластической деформации металла, содержащего атомы инертных газов, приводит к иным результатам.

Особенности перераспределения атомов при деформировании с нагревом показаны на рис. 1 а. Для сравнения на рис. 1 б приведены профили распределения диффундирующих атомов при деформировании без нагрева.

Как следует из сопоставления представленных результатов, действие только импульсной деформации приводит к дальнейшему проникновению криптона ^{85}Kr в глубь алюминия подобно миграции атомов изотопа алюминия ^{26}Al . Одновременное действие скоростной пластической деформации и нагрева способствует изменению формы профиля распределения инертного газа.

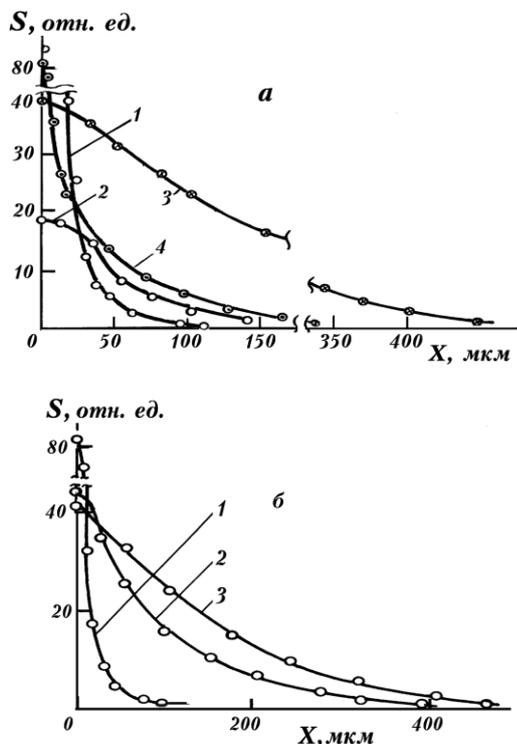


Рис. 1. Концентрационные профили в алюминии, подвергнутом деформации при температуре 673 К (а) и без нагрева (б): исходное распределение ^{85}Kr (1), распределение после деформации ^{85}Kr (2), ^{26}Al (3), ^{206}Tl (4)

Fig. 1. Concentration profiles in the aluminum subjected to deformation at a temperature of 673 K (a) and without heating (b): initial distribution of ^{85}Kr (1), distribution after deformation of ^{85}Kr (2), ^{26}Al (3), ^{206}Tl (4)

Концентрация газа в приповерхностном слое (до 30 мкм) уменьшается почти в 7 раз. Однако за пределами этой области наблюдается увеличение глубины проникновения меченых атомов криптона, поскольку их миграция происходит за пределами зоны термического влияния практически в условиях деформации без нагрева. На участке от ~30 до ~150 мкм это распределение (кривая 2) подобно распределению криптона при насыщении в плазме (кривая 1) и атомов таллия ^{206}Tl проявляются в наличии большей глубины проникновения и (кривая 4), нерастворимого в алюминии. В то же время есть отличия от миграции атомов ^{26}Al (кривая 3), которые иного характера концентрационного профиля. Подвижность атомов криптона при одновременном действии деформации и нагрева уменьшается более, чем в 30 раз по сравнению с деформированием без нагрева и достигает значения $D_M = 0,7 \text{ см}^2/\text{с}$, в то же время различие в значениях ко-

эффициентов миграции собственных атомов в алюминии, а также нерастворимого в равновесных условиях атомов таллия значительно меньше. Они составляют 18 и 22 $\text{см}^2/\text{с}$ (Al), 9 и 12 $\text{см}^2/\text{с}$ (Tl) соответственно для деформирования без нагрева и при 673 К. Таким образом, видно, что влияние температуры на миграцию атомов инертных газов и атомов металлов проявляется различным образом. Так, для инертных газов имеет место значительное замедление их перераспределения, в то время как для атомов металлов наблюдается незначительный рост значений коэффициентов диффузии с повышением температуры деформирования. Искажение исходного концентрационного профиля (рис. 1 а, кривые 1 и 2) происходит, по-видимому, не только вследствие миграции атомов криптона в глубь металла, но и в результате выхода газа за его пределы. При этом, как показывает автордиографический анализ, помимо выхода газа происходит и интенсивное порообразование (рис. 2 а). Тем не менее, даже на внутренней поверхности вскрывшейся поры содержится некоторое количество радиоактивного изотопа криптона (рис. 2 б).

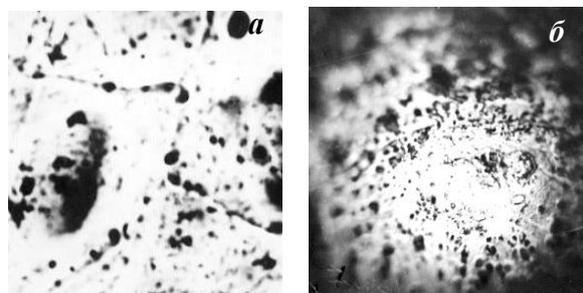


Рис. 2. Микроавтордиограммы поверхности образца (а), $\times 650$, и вскрывшейся поры (б), $\times 2000$

Fig. 2. Microautoradiography the sample surface (a), $\times 650$, and revealed pores (b), $\times 2000$

Кроме того, импульсное воздействие, происходящее одновременно с нагревом, стимулирует не только проникновение атомов инертного газа в глубь металла, но и оказывает некоторое влияние на их выход за пределы металла. Влияние нагрева при деформации на концентрацию атомов инертного газа в приповерхностных слоях проявляется также в изменении значений параметров кристаллической решетки алюминия. Так, согласно данным рентгеноструктурного анализа, при деформации без нагрева происходит небольшое (менее 0,01%) уменьшение значения a , в то время как при нагреве величина a снижается на ~0,03% и приближается к ее значению для исходного алюминия.

Таким образом, из анализа приведенных результатов следует, что влияние температуры и импульсной деформации на миграцию атомов инертного газа в кристаллической решетке металла проявляется различным образом. Температура, как это и следовало ожидать, приводит к выходу инертного газа, в то время как под действием скоростной пластической деформации имеет место перераспределение атомов в глубь металла даже при комнатной температуре.

Заключение

При одновременном действии нагрева и деформации происходит ряд конкурирующих процессов: термодесорбция и миграция к порам по границам зерен, происходящая из приповерхностных слоев (до 1/3 диффузионной зоны), и дальнейшее проникновение в глубь металла по объемному механизму, начиная с глубины более 20 - 50 мкм, с образованием твердого раствора с переменной концентрацией и мелкодисперсных пор.

Библиографические ссылки

1. Герцрикен Д.С., Тышкевич В.М. Тлеющий разряд и инертные газы в металлах. Киев: Академперіодика; 2006. 280 с.
2. Д.С. Герцрикен [и др.] Влияние высокоэнергетических импульсных воздействий на подвижность атомов в металлах и сплавах при низких температурах. В кн.: «Физика структуры и свойств твердых тел». Куйбышев: Куйбышев. ун-т; 1987. С. 3-17
3. Герцрикен Д.С., Мазанко В.Ф., Фальченко В.М. Импульсная обработка и массоперенос в металлах при низких температурах. Киев.: Наукова Думка;1991. 205 с

4. Штеренберг А.М., Мазанко В.Ф., Герцрикен Д.С., Миронов В.М., Миронов Д.В., Бобырь С.О. Влияние тлеющих и дуговых разрядов на диффузионные процессы. Москва: Инновационное машиностроение; 2018. 379 с.

References

1. Gertsriken D.S., Tyshkevich V.M. Tleyushchiy razryad i inertnye gazy v metallakh. Kiev: Akademperіodika; 2006. 280 s. (In Russian)
2. D.S. Gertsriken [i dr.] Vliyanie vysokoenergeticheskikh impul'snykh vozdeystviy na podvizhnost' atomov v metallakh i splavakh pri nizkikh temperaturakh. V kn.: «Fizika struktury i svoystv tverdykh tel». Kuybyshev: Kuybyshev. un-t; 1987. S. 3-17. (In Russian)
3. Gertsriken D.S., Mazanko V.F., Fal'chenko V.M. Impul'snaya obrabotka i massoperenos v metallakh pri nizkikh temperaturakh. Kiev: Naukova Dumka;1991. 205 s (In Russian).
4. Shterenberg A.M., Mazanko V.F., Gertsriken D.S., Mironov V.M., Mironov D.V., Bobyr' S.O. Vliyanie tleyushchikh i dugovykh razryadov na diffuzionnye protsessy. Moscow: Innovatsionnoe mashinostroenie; 2018. 379 s. (In Russian).