

Дислокационное внутреннее трение материала с вакансиями в импульсах слабого магнитного поля

© О.И. Дацко

Донецкий физико-технический институт Национальной академии наук Украины,
83114 Донецк, Украина

(Поступила в Редакцию 7 мая 2001 г.
В окончательной редакции 10 июля 2001 г.)

Установлено, что во время воздействия импульсов слабого магнитного поля ($H \geq 10^5$ А/м) на закаленный и состаренный образец алюминия (99.999%) характер амплитудной зависимости низкочастотного внутреннего трения изменяется: общий уровень внутреннего трения увеличивается. Эффект связывается с влиянием магнитного воздействия на структурный комплекс дислокация–точечные дефекты; роль последних играют вакансии.

Ранее [1–3] было показано, что при воздействии импульсов слабого ($H \leq 10^5$ А/м) магнитного поля (ИСМП) на находящиеся в неравновесном метастабильном состоянии материалы технической чистоты уровень их дислокационного внутреннего трения (ВТ) изменяется. В случае же использования деформированного (несостаренного) материала или материала высокой степени чистоты уровень ВТ при воздействии ИСМП не изменяется. Другими словами, когда дислокации закреплены примесными атомами, эффект есть, а когда дислокации свободны от примесных атомов, его нет. Наблюдаемые изменения уровня ВТ связывались с влиянием ИСМП на структурные комплексы типа дислокация–точечные дефекты, имеющие магнитоактивные состояния, возбуждаемые ИСМП, и объяснялись изменением степени взаимодействия дислокаций с примесными атомами, которые расположены на дислокациях и блокируют их движение.

Согласно представлениям, развиваемым в [4,5], магнитное воздействие оказывает влияние на структурные комплексы типа дислокация–парамагнитные центры закрепления; последними могут быть как примесные атомы парамагнитных элементов, так и вакансии. Следовательно, можно ожидать, что дислокационное ВТ насыщенного вакансиями материала, у которого вакансии играют роль точечных дефектов, расположенных на дислокациях, будет изменяться в результате воздействия ИСМП, а когда вакансии не играют этой роли, эффекта не будет. Задача настоящей работы состоит в том, чтобы сравнить поведение уровня дислокационного ВТ в результате воздействия ИСМП в материале, который в одном случае не насыщен, а в другом — насыщен вакансиями, блокирующими дислокации.

При решении поставленной задачи в качестве объекта исследования использовался Al и принималась во внимание имеющаяся информация о том, что в алюминии: 1) деформационные вакансии исчезают при рекристаллизации [6]; 2) концентрация вакансий возрастает при закалке [7]; 3) закалочные вакансии блокируют дислокации в результате старения материала [7] и исчезают при отпуске [8,9]; 4) после закалки уровень дислокационного

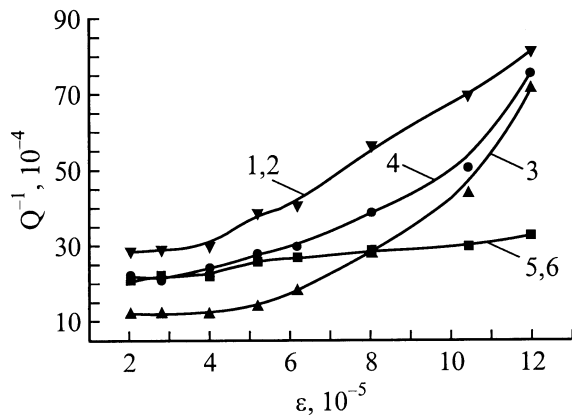
амплитудозависимого ВТ понижается, причиной этого являются зафиксированные закалкой вакансии, которые перемещаются к дислокациям и блокируют их [7].

С целью уменьшения роли примесных атомов как точечных дефектов, блокирующих дислокации, использовался алюминий особой степени чистоты (99.999%). Образцы для исследований получались методом гидропрессования в виде проволоки диаметром 3 мм с длиной рабочей части 40 мм, они имели рекристаллизованную структуру и, следовательно [6], обладали пониженной концентрацией вакансий. Для увеличения концентрации вакансий исходный образец нагревался до 600°C, выдерживался при этой температуре в течение часа и закаливался в воде. Чтобы вакансии заблокировали дислокации, закаленный образец подвергался старению при комнатной температуре в течение суток [7]. Для уменьшения концентрации вакансий закаленный и состаренный образец отпускался путем нагрева до 300°C и выдержки при этой температуре в течение 1.5 h [8,9].

Воздействие ИСМП на образец осуществлялось в следующем режиме: амплитуда магнитного поля $3 \cdot 10^5$ А/м, длительность переднего фронта импульса 10^{-4} с, частота следования импульсов 0.5 Hz, время воздействия до 5 min.

Для измерения ВТ применялся обратный крутильный маятник, частота колебаний которого составляла около 1 Hz. При этом определялась зависимость ВТ от амплитуды деформации, которая изменялась от $2 \cdot 10^{-5}$ до $12 \cdot 10^{-5}$. Общее время измерений составляло не более 5 min, погрешность не превышала 10%. При сбросе амплитуды гистерезис ВТ отсутствовал. Измерения ВТ выполнялись до и во время воздействия ИСМП сначала на исходном рекристаллизованном образце (с пониженной концентрацией вакансий), затем на закаленном и состаренном образце (с повышенной концентрацией вакансий), а потом — на отпущенном образце (с пониженной концентрацией вакансий).

Исследования показали, что амплитудная зависимость ВТ материала в исходном рекристаллизованном состоянии характеризуется повышенным общим уровнем, хорошо выраженной амплитудной зависимостью (кривая 1



Амплитудные зависимости ВТ алюминия (99.999%) в обычных условиях измерений (1, 3, 5) и во время воздействия ИСМП (2, 4, 6) для исходного рекристаллизованного (1, 2), закаленного и состаренного (3, 4), отпущенного (5, 6) состояний материала.

на рисунке). Воздействие ИСМП на образец в исходном состоянии не оказывает влияния на характер амплитудной зависимости ВТ (кривая 2).

Этот результат свидетельствует о том, что структурные комплексы типа дислокация–стопоры не содержат магнитоактивных состояний, возбуждаемых ИСМП (вероятно, стопорами являются узлы пересечения дислокаций друг с другом).

Амплитудная зависимость ВТ материала в закаленном и состаренном состоянии характеризуется пониженным общим уровнем, более сильно выраженной амплитудной зависимостью (кривая 3). Наблюдаемые изменения ВТ в результате закалки и старения образца (кривые 1 и 3) сходны с описанными в [7]. Они свидетельствуют о том, что в материале произошло закрепление дислокаций новыми стопорами, которыми являются точечные дефекты — вакансии, увеличилось число дислокационных отрезков, отрывающихся от стопоров. Воздействие ИСМП на закаленный и состаренный образец приводит к повышению общего уровня ВТ, ослаблению амплитудной зависимости (кривая 4), что указывает на появление у структурных комплексов типа дислокация–стопоры в результате закалки и старения материала магнитоактивных состояний, возбуждаемых ИСМП. Иными словами, ИСМП оказывают влияние на структурные комплексы типа дислокация–точечные дефекты, в которых роль точечных дефектов играют вакансии. Это влияние проявляется в откреплении дислокаций от вакансий.

Амплитудная зависимость ВТ материала в отпущенном после закалки и старения состоянии характеризуется повышенным общим уровнем, слабо выраженной амплитудной зависимостью (кривая 5). Наблюдаемые изменения ВТ в результате отпуска закаленного и состаренного образца (кривые 3 и 5) свидетельствуют о том, что в материале произошло открепление дислокаций от точечных дефектов — вакансий, уменьшилось число дислокационных отрезков, отрывающихся от стопоров.

Воздействие ИСМП на отпущенный образец не вызывает изменений характера амплитудной зависимости ВТ (кривая 6). Это указывает на то, что в результате отпуска закаленного и состаренного материала у структурных комплексов типа дислокация–стопор исчезли магнитоактивные состояния, возбуждаемые ИСМП.

Совокупность полученных данных показывает, что: 1) в тех случаях, когда дислокации закреплены вакансиями, эффект изменения характера амплитудной зависимости ВТ из-за воздействия на материал ИСМП присутствует, а в тех случаях, когда дислокации свободны от вакансий, его нет; 2) физика наблюдаемых изменений амплитудной зависимости ВТ в материале может быть связана с тем, что структурный комплекс типа дислокация–точечные дефекты (вакансии) обладает магнитоактивным состоянием, которое возбуждается ИСМП; 3) эффект может быть объяснен тем, что при воздействии ИСМП на материал, насыщенный вакансиями, изменяется энергия взаимодействия дислокаций с блокирующими их вакансиями.

Список литературы

- [1] О.И. Дацко, В.И. Алексеенко, А.Д. Шахова. ФТТ **38**, 6, 1799 (1996).
- [2] О.И. Дацко, В.И. Алексеенко. ФТТ **39**, 7, 1234 (1997).
- [3] О.И. Дацко, В.И. Алексеенко, А.Л. Бруслова. ФТТ **41**, 11, 1985 (1999).
- [4] Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов. Изв. РАН. Сер. физ. **61**, 5, 850 (1997).
- [5] Я.Б. Зельдович, А.Л. Бучаченко, Е.Л. Франкевич. УФН **155**, 1, 3 (1998).
- [6] Р.В. Балуффи, Дж.С. Кёллер, Р.О. Симмонс. Возврат и рекристаллизация материалов. Металлургия, М. (1966). С. 9–68.
- [7] А.Х. Котрелл. В сб.: Вакансии и точечные дефекты. Металлургиздат, М. (1961). С. 7–53.
- [8] Т. Федеричи. В сб.: Дефекты в закаленных металлах. Атомиздат, М. (1969). С. 134–187.
- [9] Г. Кимура, Р. Маудин. Там же. С. 188–269.