

УДК 537.221

ИЕРАРХИЯ КИНЕТИК ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ПОСЛЕ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАТЕРИАЛ

© 2005 О.И. Дацко, В.С. Абрамов, В.Ю. Дмитренко, В.В. Чишко

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины

Поступила в редакцию 16.04.05.

Установлено, что уровень низкочастотного внутреннего трения в проволоке из стали 70 после воздействия на нее импульса слабого магнитного или механического поля изменяется, обнаруживая иерархию трех кинетик, имеющих колебательный затухающий характер. Иерархия проявляется в том, что кинетики возникают одновременно, а заканчиваются через разные промежутки времени, определяемые минутами, часами, сутками.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа является продолжением исследований внутреннего трения (ВТ) в материалах, первоначально находящихся в неравновесном метастабильном состоянии, после воздействия на них импульсов слабого магнитного поля (СМП) [1-8]. В них были получены следующие результаты и высказаны некоторые модельные представления.

1. После воздействия на материал импульсов слабого магнитного поля уровень низкочастотного дислокационного ВТ изменяется, свидетельствуя о происходящем в материале процессе структурной перестройки примесно – дефектных комплексов (ПДК) типа дислокация – точечные дефекты (атомы ферромагнитных и парамагнитных примесей, атомы с оборванными связями, вакансии) [1-4]. Изменения уровня ВТ имеют место после воздействия на материал, как сотен, так и одного, единственного импульса СМП [5,6]. Кинетики изменения уровня ВТ носят характер затухающих колебаний, и в зависимости от условий эксперимента наблюдается в различных временных интервалах, исчисляемых минутами [5], часами [6], сутками [7,8].

2. Воздействие на материал импульсов СМП лишь инициирует процесс перестройки ПДК. В его основе лежит с одной стороны спиновая природа, связанная с изменением ориентации спина электрона относительно спина ядра атома, обуславливающая изме-

нение межатомной химической связи и приобретение атомами более высокой диффузионной подвижности. С другой стороны – как энергетическое, так и силовое воздействие благодаря явлению магнестрикции, вызывающее как упругие, так и микропластические деформации в локальных объемах материала. Это приводит к нарушению равновесного состояния атомной структуры ПДК. В результате под влиянием существующих в материале локальных внутренних напряжений структура ПДК начинает перестраиваться и формировать новые ПДК, находящиеся в более равновесном состоянии.

3. При измерении низкочастотного ВТ его уровень определяется по характеру свободнотухающих крутильных колебаний, которые возбуждаются путем воздействия на образец исследуемого материала импульса или импульсов слабого механического поля (СМехП). При этом в атомной структуре ПДК происходят изменения, в основе которых лежит энергетическая природа, а благодаря явлению механострикции и спиновое влияние. В результате атомная структура ПДК может быть выведена из равновесия и под действием локальных внутренних напряжений начать перестраиваться в новое более равновесное состояние.

Изложенное выше позволяет высказать следующие предположения. Очевидно, в структуре материала существуют различные виды и ансамбли ПДК, которые по разному

ИЕРАРХИЯ КИНЕТИК ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ПОСЛЕ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАТЕРИАЛ

реагируют на внешнее воздействие импульсов СМП. Вероятно, перестройка различных видов ПДК начинается одновременно, а заканчивается через различные промежутки времени, определяемые минутами, часами, сутками; имеет различные периоды, амплитуды и скорости изменения. В этом случае в структуре материала будет иметь место иерархия процессов структурной перестройки различных видов ПДК, которая должна будет проявить себя в иерархии различных по характеру кинетик уровня ВТ.

Можно ожидать, что иерархия процессов перестройки ПДК и кинетик ВТ будет иметь место как после воздействия на материал импульса СМП, так и импульса СМехП. Наиболее вероятно, что эти кинетики имеют сходный характер, но при этом должны иметь место и их различия, обуславливаемые различными значениями таких параметров как длительность импульса, степени силового и энергического воздействия.

Настоящая работа посвящена проверке этих предположений. Задача ставится следующим образом: выявить и сравнить поведение уровня низкочастотного ВТ в образцах одного и того же материала (первоначально находящегося в неравновесном метастабильном состоянии) после воздействия на него в одном случае импульса СМП, а в другом случае – импульса СМехП, измерения ВТ выполнять последовательно вначале в течении нескольких минут, а затем - часов, потом – суток.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на проволоке диаметром 2.6 мм из стали 70 деформированной волочением с обжатием на 70 %. Рабочая длина образцов составляла 40 мм. Использовалась установка ВТ типа обратный крутильный маятник с частотой колебаний около 1 Гц. Ее составной частью служил соленоид от установки для создания импульсов СМП. Исследуемый образец монтировался в установку и подвергался выдержке в течении 2 – 3 суток для устранения происходящих при монтаже неконтролируемых деформаций и изменений структурного состояния материала. После этого обра-

зец подвергался воздействию либо одного импульса СМП, либо одного импульса СМехП, а затем воздействию многих импульсов СМехП выполняемых при измерении уровня ВТ с течением времени.

Воздействие одного импульса СМП осуществлялось с амплитудой поля равной $3 \cdot 10^{-5}$ А/м и длительностью переднего фронта импульса – 10^{-4} сек. Воздействие одного импульса СМехП производилось с амплитудой относительной деформации материала равной $6 \cdot 10^{-5}$ в течении долей секунды. В дальнейшем, в процессе исследования поведения уровня ВТ с течением времени, материал подвергался этой деформации несколько десятков раз. Уровень ВТ определялся путем подсчета числа свободнотухающих колебаний при уменьшении амплитуды деформации до $4 \cdot 10^{-5}$. При этом зависимость логарифма амплитуды колебаний от порядкового номера затухающих колебаний имела линейный характер, т.е. уровень ВТ в процессе затухания колебаний не изменялся. Время одного измерения уровня ВТ не превышало 1 минуты. Погрешность измерений, выполненных в нескольких десятках измерений в течение нескольких минут, составляла около 2 %.

Использовались следующие условия измерений уровня ВТ: в течение 30 минут через каждые 3 – 5 минут, в течение 7 часов через каждые 10 минут, в течение 32 суток через каждые 0.5 - 1 сутки. Измерения велись в каждом из заданных промежутков времени с заданным периодом до тех пор, пока изменения уровня ВТ не становились равными или близкими к погрешности измерений. Первые измерения ВТ происходили через 1 - 2 минуты после воздействия на материал одного импульса СМП или СМехП.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований представлены на рисунке. Они показывают, что после воздействия на материал одного импульса СМП (кривые 1) или СМехП (кривые 2) уровень ВТ изменяется, обнаруживая в каждом из трех заданных интервалов времени три различные кинетики, имеющие колебательный затухающий характер. Все три

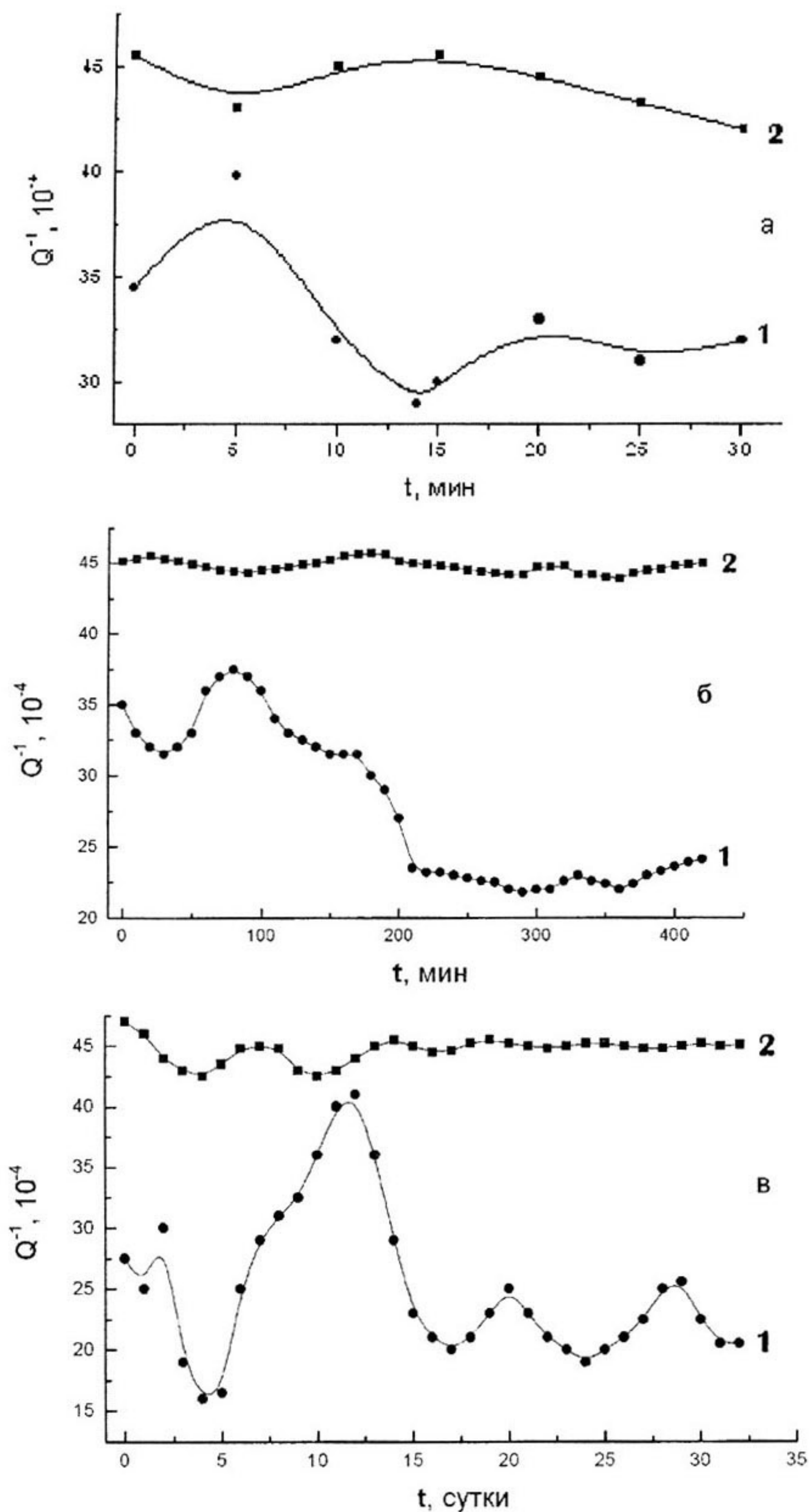


Рис. Кинетика изменений уровня низкочастотного внутреннего трения в образцах стали 70 в временных интервалах, определяемых минутами (а), часами (б), сутками (в), после воздействия на материал одного импульса СМП (кривая 1) и одного импульса СМехП (кривая 2).

ИЕРАРХИЯ КИНЕТИК ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ПОСЛЕ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАТЕРИАЛ

кинетики начинаются одновременно (сразу после импульсного внешнего воздействия), затем заканчиваются различно: первая – через несколько минут, вторая – через несколько часов, третья – через несколько суток. Поэтому можно говорить о существовании иерархии времен релаксации этих кинетик. С увеличением времени релаксации кинетики (минуты, часы, сутки) у нее увеличивается число максимумов, величина амплитуды и периода колебаний, уменьшается скорость изменения уровня.

Кинетики, наблюдаемые после воздействия импульса СМП, в сравнении с кинетиками имеющими место после воздействия импульса СМехП сдвинуты по фазе на 0.5 периода, имеют большие амплитуды колебаний и более низкий общий уровень ВТ. Они обнаруживают изменения типа «сброс» в районе 3 часов (рис. б, кривая 1) и типа «выброс» в районе 10 суток (рис. в, кривая 1).

Наблюдаемый более низкий общий уровень ВТ свидетельствует о том, что во время воздействия на материал импульса СМП в структуре ПДК произошли изменения, которые привели к закреплению дислокаций, упрочнению материала на микроуровне. Очевидно, в таком упрочненном материале, влияние импульса СМехП на процесс перестройки ПДК будет ослаблено, либо вообще может не проявить себя. Полученные результаты указывают на то, что в используемых условиях эксперимента, влияние импульса СМП на процесс перестройки ПДК более сильное, чем влияние импульса СМехП. Вероятно, с этим связаны и наблюдаемые в этом случае эффекты «сброса» и «выброса», которые обусловлены процессами перестройки ПДК и процессами изменения уровня локальных внутренних напряжений в ансамбле ПДК, которые сопровождаются перераспределением энергии между ними [8].

Наблюдаемый характер кинетик изменений уровня ВТ со временем, когда на общем фоне снижения имеют место затухающие и осциллирующие колебания, свидетельствует о том, что после воздействия СМП или СМехП в структуре материала, первоначально находящегося в неравновесном метастабильном состоянии, имеют место про-

цессы изменения энергии. У атомов ПДК, играющих роль стопоров на дислокациях, и у полей локальных внутренних напряжений материала. Эти процессы аналогичны тем, которые происходят после внешнего воздействия механического поля в системе, состоящей из маятника (примесно – дефектные комплексы, образующие стопоры на дислокациях) и структурированной жидкости (поля локальных внутренних напряжений в материале) в которую он погружен. В этом случае лишь часть сообщенной системе энергии уходит из системы, а часть энергии остается в системе, совершая взаимные превращения кинетической энергии в потенциальную несколько раз до полного затухания, как в маятнике, так и в структурированной жидкости. Указанные осцилляции энергии у маятника и структурированной жидкости совершаются со своими периодами. Если сдвиг между этими периодами достигает критического значения, происходит перераспределение энергии, в результате которого энергия маятника может либо возрасти, либо понизится. При этом у колебаний маятника соответственно наблюдается эффект типа «выброс» или «сброс» и изменяется характер осцилляций.

Исходя из этих положений, можно думать, что та часть сообщенной исследуемому материалу энергии, которая уходит из материала, обуславливает уменьшение подвижности атомов, приводящее к уменьшению плотности подвижных дислокаций, что сопровождается общим снижением уровня дислокационного ВТ. Другая часть энергии, оставшаяся в материале и взаимно превращающаяся из кинетической энергии в потенциальную до полного затухания, обуславливает колебательный процесс перестройки атомов ПДК, приводящий к колебательному изменению плотности подвижных дислокаций, что сопровождается затухающими осциллирующими колебаниями уровня ВТ. Когда сдвиг между периодами осцилляций энергии у ПДК и полей локальных внутренних напряжений достигает критического значения, - происходит перераспределение энергии. Это обуславливает увеличение или уменьшение подвижности атомов ПДК, приводящее к уменьше-

нию или увеличению плотности подвижных дислокаций, что сопровождается эффектами типа «выброс» и «сброс» на временной зависимости уровня ВТ и изменением характера осцилляции колебаний уровня ВТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявление характера временных зависимостей уровня низкочастотного ВТ в интервалах определяемых минутами, часами, днями после воздействия на материал (первоначально находящийся в неравновесном метастабильном состоянии) одного или нескольких импульсов СМП или СМехП может служить методом диагностики как наличия в структуре материала числа различных видов ПДК типа дислокация – точечные дефекты (по числу кинетик, имеющих различные времена релаксации), так и характера их перестройки, инициируемой импульсным внешним воздействием и обуславливаемой внутренними локальными напряжениями, существующими в материале, что представляет интерес как с научной, так и с практической точки зрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О.И. Дацко, В.И. Алексеенко, А.Д. Шахова // ФТТ. 1996. Т. 38. № 6. С. 1799 – 1804.
2. О.И. Дацко, В.И. Алексеенко // ФТТ. 1997. Т. 39. № 7. С. 1234 – 1236.
3. О.И. Дацко, В.И. Алексеенко, А.Л. Брусова // ЖТФ. 1999. Т. 69. № 8. С. 122 – 123.
4. О.И. Дацко // ФТТ. 2002. Т. 44. № 2. С. 289 – 290.
5. О.И. Дацко, В.С. Абрамов, В.Ю. Дмитренко, А.Ф. Недыбалюк // в печати журнала «Вопросы материаловедения» (2005).
6. O.I. Datsko, V.S. Abramov, V.Yu. Dmitrenko, V.V. Chishko // Functional Materials. 2004. V. 11. № 2. P. 334 – 338.
7. О.И. Дацко, В.И. Алексеенко, А.Ф. Недыбалюк // Релаксационные явления в дефектных структурах твердых тел. Труды международного семинара, 1991. Воронеж. Часть 1. С. 55 – 64.
8. О.И. Дацко, В.С. Абрамов, В.В. Чишко, В.Ю. Дмитренко // Конденсированные среды и межфазные границы. 2004. Т. 6. № 2. С. 148 – 150.