

Внутреннее трение в магнитообработанном материале с дислокациями

© О.И. Дацко, В.И. Алексеенко

Донецкий физико-технический институт академии наук Украины,
340114 Донецк, Украина

(Поступила в Редакцию 1 ноября 1996 г.
В окончательной редакции 13 января 1997 г.)

Изучалось поведение внутреннего трения магнитообработанной оловянистой бронзы в зависимости от степени закрепления дислокаций примесно-дефектной атмосферой. Установлено, что обработка импульсным магнитным полем исследуемого материала может по-разному влиять на его внутреннее трение. После обработки импульсным магнитным полем уровень внутреннего трения по сравнению с его уровнем в необработанном материале может быть более высоким, если в материале в результате процессов старения, предшествующих этой обработке, сформировалась дислокационная примесно-дефектная атмосфера, более низким в случае, если на дислокациях в результате предшествующей обработки полем сформировалась качественно новая примесно-дефектная атмосфера, либо вообще не изменяться в случае отсутствия на дислокациях атмосфер. Наблюдаемый характер поведения внутреннего трения в материале, обработанном импульсным магнитным полем, связывается с наличием в нем локализованных магнитоактивных центров, возбуждающихся в результате такой обработки, что может приводить к изменению энергии взаимодействия атмосферы с дислокацией.

При обработке слабым ($H < 10^6$ А/м) импульсным магнитным полем (ИМП) материалов, содержащих примесно-дефектные комплексы и находящихся в неравновесном метастабильном состоянии, в этих материалах возникают долговременные процессы структурной релаксации, приводящие к изменению структурно-чувствительных свойств. Обычно эти процессы проявляются через некоторое время после обработки ИМП материала, исчисляемое единицами и десятками часов, и могут длиться сотни часов. Считается, что в результате этих процессов происходит распад имеющихся и формирование новых примесно-дефектных комплексов в материале [1,2]. Наряду с этим утверждается, что в случае обработки ИМП материалов любой природы в них возникает микропластическая деформация (МПД), которая имеет магнитострикционное происхождение [3,4].

Нами было обнаружено, что в результате обработки ИМП оловянистой бронзы Бр.О-12 уровень ее низкочастотного внутреннего трения (ВТ), обусловленный поведением дислокаций, взаимодействующих с примесями и дефектами, сразу после обработки ИМП может увеличиваться, уменьшаться либо сохраняться. Обращает на себя внимание то, что аналогичное увеличение ВТ в Бр.О-12 наблюдалось после ее МПД, вызывающей остаточную деформацию материала. Такой результат давал основание предполагать возможную роль магнитострикционного механизма в изменении ВТ материала, обработанного ИМП, который в свою очередь может зависеть от состояния системы дислокация–примесно-дефектная атмосфера.

Вопрос о поведении физических свойств материалов, обработанных ИМП, в зависимости от структурно-энергетического состояния системы дислокация–атмосфера неизучен. Настоящая работа посвящена этой актуальной теме; в частности, задача состояла в том, чтобы

выяснить, как обработка ИМП может влиять на дислокационное ВТ оловянистой бронзы в зависимости от состояния вышеупомянутой системы и каков механизм такого влияния.

Исследования выполнялись на литой оловянистой бронзе Бр.О-12. Оловянистая бронза представляет собой бинарный сплав меди и 12% олова. Ее структура состоит из частично ориентированных дендритных кристаллитов и межфазных зон — эвтектики. Поперечные размеры дендритных кристаллитов составляли от 5 до 10 μm , а продольные достигали сотен μm . Плотность дислокаций в исходных недеформированных кристаллитах составляла 10^6 cm^{-2} . Образцы были получены механической обработкой в виде прямоугольных призм размером $3 \times 3 \times 60$ mm.

Обработка ИМП материала производилась в следующем режиме: величина напряженности магнитного поля составляла $3 \cdot 10^5$ А/м, длительность переднего фронта импульса — 10^{-4} s, время обработки — 8 min, частота следования импульсов — 1 Hz. МПД материала выполнялась путем закручивания образца вокруг оси с относительной деформацией, равной $3 \cdot 10^{-3}$, и последующей выдержкой при этой деформации в течение 10 min, что сопровождалось появлением остаточной деформации материала, равной $1 \cdot 10^{-4}$.

В качестве основного метода исследований использовалась методика измерения низкочастотного ВТ — обратный крутильный маятник на частоте 1 Hz. Измерения выполнялись в амплитудно-независимой и амплитудно-зависимой областях. В случае измерения амплитудно-независимого ВТ использовалась максимальная амплитуда деформации $4 \cdot 10^{-5}$. Величина ВТ рассчитывалась как среднеарифметическое значение не менее пяти измерений на идентичных по характеру поведения ВТ образцах, где дисперсия не превышала 15%.

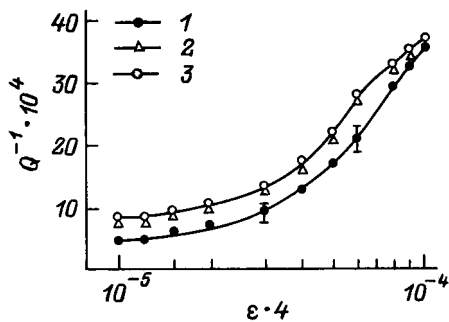


Рис. 1. Амплитудная зависимость внутреннего трения в Бр.О-12 при комнатной температуре. 1 — до обработки ИМП, 2 — во время обработки ИМП, 3 — сразу после обработки ИМП.

Погрешность метода измерения составляла 10%. Измерения ВТ производились в следующих условиях: во время и после обработки ИМП, после МПД, после повторных обработки ИМП и МПД. Для выяснения возможности возникновения МПД в материале при его обработке ИМП, в том числе для определения значений деформации, при которых в исследуемом материале имеют место процессы отрыва дислокационных сегментов от закрепляющих их примесно-дефектных комплексов, а также процессы размножения и появления новых дислокаций, осуществлялись измерения амплитудно-зависимого ВТ в интервале деформаций от $8 \cdot 10^{-5}$ до $4 \cdot 10^{-4}$. Наряду с этими измерениями использовались методы оптической металлографии и рентгеноструктурного анализа.

Измерения амплитудно-зависимого ВТ показали, что в материале, находящемся в исходном состоянии, отрыв дислокационных сегментов от стопоров, или начало процесса МПД, происходит при деформациях около $8 \cdot 10^{-5}$, что соответствует началу амплитудной зависимости ВТ. Появление новых дислокаций наблюдается при деформациях около $4 \cdot 10^{-4}$. Это соответствует максимуму амплитудно-зависимого ВТ. Однако деформации, имеющие магнитострикционную природу, в диамагнитных материалах, к которым относится медь (в исследуемом материале ее около 88%), могут достигать только величин порядка $10^{-7} - 10^{-6}$ [5]. Эти величины значительно меньше и значения деформации начала размножения дислокаций ($4 \cdot 10^{-4}$), и значения деформации отрыва дислокационных сегментов от стопоров ($8 \cdot 10^{-5}$). В то же время эффект изменения ВТ в магнитообработанном материале наблюдается и в амплитудно-независимой, и в амплитудно-зависимой областях (кривые 1 и 2 на рис. 1). Приведенные оценки позволяют говорить о том, что изменения уровня ВТ, наблюдаемые в процессе и сразу после обработки ИМП материала, нельзя отнести к изменениям магнитострикционного происхождения. Кроме того, по результатам оптической металлографии и рентгеноструктурного анализа в материале, обработанном ИМП, не обнаружено признаков появления остаточной деформации и новых дислокаций. Немаловажным является и то, что величина магнитострикционного напряже-

ния с ростом напряженности магнитного поля должна увеличиваться, в то время как в настоящей работе такого увеличения ВТ с ростом поля не наблюдается в интервале амплитуд поля $10^5 - 10^6$ А/м. В качестве дополнительной информации следует отметить то, что в случае действия магнитострикционного механизма снятие магнитного поля приводило бы к восстановлению ВТ до исходного значения. В рамках магнитострикционной модели невозможно объяснить и различные по знаку изменения ВТ в материале, обработанном ИМП.

Чтобы выяснить влияние структурно-энергетического состояния системы дислокация–атмосфера на характер изменений дислокационного ВТ после обработки образца ИМП, учитывались следующие обстоятельства. Ранее нами было установлено, что после обработки ИМП и МПД оловянистой бронзы в ней возникает долговременная структурная релаксация, связанная с изменениями в системе дислокация–атмосфера [6]. Можно полагать, что в этих случаях наблюдаемый после обработки ИМП или МПД с течением времени различный уровень амплитудно-независимого ВТ соответствует различному структурно-энергетическому состоянию этой системы или, как следует отсюда, различной степени закрепления дислокаций. Следовательно, осуществляя повторные обработки ИМП материала на различных стадиях структурной релаксации и после МПД, можно выяснить, как влияет обработка ИМП на динамику дислокаций в зависимости от состояния системы дислокация–атмосфера. Поэтому в работе обработке ИМП подвергался как исходный материал, так и прошедший обработку ИМП или МПД на различных стадиях структурной релаксации.

Как видно из рис. 2, в исследуемом материале после его обработки ИМП наблюдается более высокий уровень амплитудно-независимого ВТ (относительно исходного) (1 на рис. 2). Далее происходит рост ВТ за счет

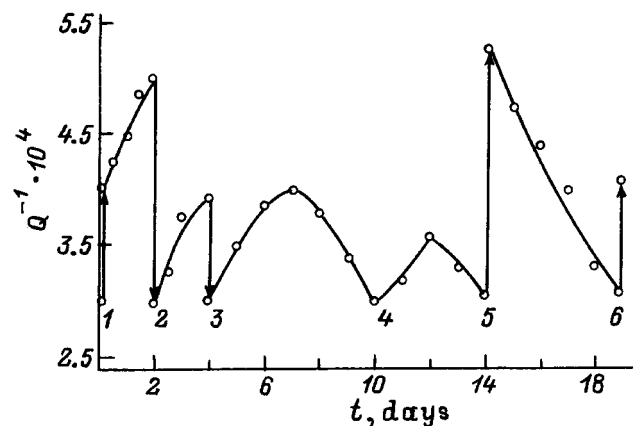


Рис. 2. Изменение уровня внутреннего трения в Бр.О-12 под действием обработки ИМП и МПД. 1 — обработка ИМП исходного материала, 2 — повторная обработка ИМП во время релаксационного процесса, 3 — следующая обработка ИМП во время релаксационного процесса, 4 — релаксационный процесс, 5 — МПД, 6 — обработка ИМП после деформационного старения.

релаксационного процесса. Следующая обработка ИМП приводит к резкому снижению уровня ВТ практически к его исходному значению (2 на рис. 2), после чего снова наблюдается его монотонный рост. Последующая обработка ИМП приводит к снижению ВТ (3 на рис. 2), после чего оно изменяется по периодическому закону (4 на рис. 2). МПД также обеспечивает резкий подъем ВТ (5 на рис. 2). Однако обработка ИМП материала сразу после его МПД на величину ВТ влияния не оказывает. И только лишь когда после МПД прошло деформационное старение материала (монотонное снижение ВТ), обработка ИМП снова приводит к изменению ВТ, в частности к его росту (6 на рис. 2). Следует отметить, что на рис. 2 приведены лишь фрагменты из серии опытов, наглядно отражающие решение поставленной задачи. Как видно, одна и та же обработка ИМП материала может по-разному оказывать влияние на его ВТ. Здесь и возникает предположение о том, что такое поведение ВТ в материале, обработанном ИМП, может быть обусловлено структурно-энергетическим состоянием системы дислокация–примесно-дефектная атмосфера, формируемым в результате предварительной обработки ИМП или МПД материала. Другими словами, влияет или не влияет обработка ИМП на величину ВТ в материале, будет зависеть от того, может такая обработка изменить состояние системы дислокация–атмосфера или нет. В связи с этим физику наблюдаемого изменения ВТ в материале, обработанном ИМП, можно представить, учитывая наличие в системе дислокация–атмосфера локализованных магнитоактивных состояний, возбуждающихся ИМП (мы не исключаем и роль электрической составляющей, присутствующей в импульсе). В таких состояниях энергия взаимодействия дислокации с атмосферой изменится, что адекватно приведет к раскреплению или закреплению (относительно исходного состояния) дислокации, а значит, и к относительному росту или снижению ВТ. Отсутствие эффекта изменения ВТ в результате обработки материала ИМП свидетельствует в рамках таких представлений об отсутствии магнитоактивных состояний. Так, после МПД материала, когда атмосфера на дислокации отсутствует, обработка ИМП не приводит к изменению ВТ, а после деформационного старения такая обработка его изменяет. Дальнейшие монотонные изменения ВТ после обработки ИМП могут быть обусловлены перераспределением примесей и точечных дефектов в упругом поле дислокации в виду нарушенного термодинамического равновесия.

В заключение хотелось бы отметить наиболее важный, на наш взгляд, результат представленных исследований: обработка ИМП не может изменить динамику дислокаций в случае отсутствия на них примесно-дефектных атмосфер, во всяком случае в конкретном материале. При наличии обсуждаемых атмосфер в зависимости от их структурного состояния обработка ИМП может как пластифицировать, так и упрочнять материал. Этот результат дает основание для более разностороннего анализа природы магнитоэластического эффекта.

Список литературы

- [1] С.Н. Постников, В.П. Сидоров, А.В. Иляхинский и др. В сб.: Прикладные проблемы прочности и пластичности, статика и динамика деформируемых систем. Всесоюз. межвуз. сборник Горьк. ун-та. Горький (1980). С. 138–143.
- [2] Г.И. Дистлер, В.М. Каневский, В.В. Москвин и др. ДАН СССР **268**, 3, 591 (1983).
- [3] В.С. Ларин. В сб.: Обработка импульсным магнитным полем. Материалы IV научн.-техн. семинара с международным участием по нетрадиционным технологиям. София–Горький (1989). С. 65–72.
- [4] В.Г. Македонски. Там же. С. 30–36.
- [5] Физический энциклопедический словарь. М. (1983). 575 с.
- [6] О.И. Дацко, В.И. Алексеенко, А.Д. Шахова. ФТТ **38**, 6, 1799 (1996).