ТЕПЛОФИЗИКА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР, 2006, том 44, № 2, с. 225–229

УДК 534.2.669

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В АРМКО-ЖЕЛЕЗЕ И КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ И ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

© 2006 г. **М. М Ляховицкий, М. А. Покрасин, В. В. Рощупкин, Н. Л. Соболь, А. И. Чернов**

Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва

Поступила в редакцию 04.03.2005 г.

Проведено исследование акустической эмиссии в армако-железе и конструкционной стали в процессе отжига, а также нагревания. По результатам исследования выявлена взаимосвязь между акустической эмиссией и фазовыми переходами в исследованных материалах.

PACS: 43.40.Le, 61.50.KS, 61.66.DK

ВВЕДЕНИЕ

Метод акустической эмиссии (АЭ) для исследования свойств материалов получил широкое распространение во второй половине прошлого столетия. В частности, с помощью этого метода исследовался процесс деформирования монокристаллов тугоплавких металлов [1] и усталостных трещин [2]. Однако лишь в последние годы в свя-

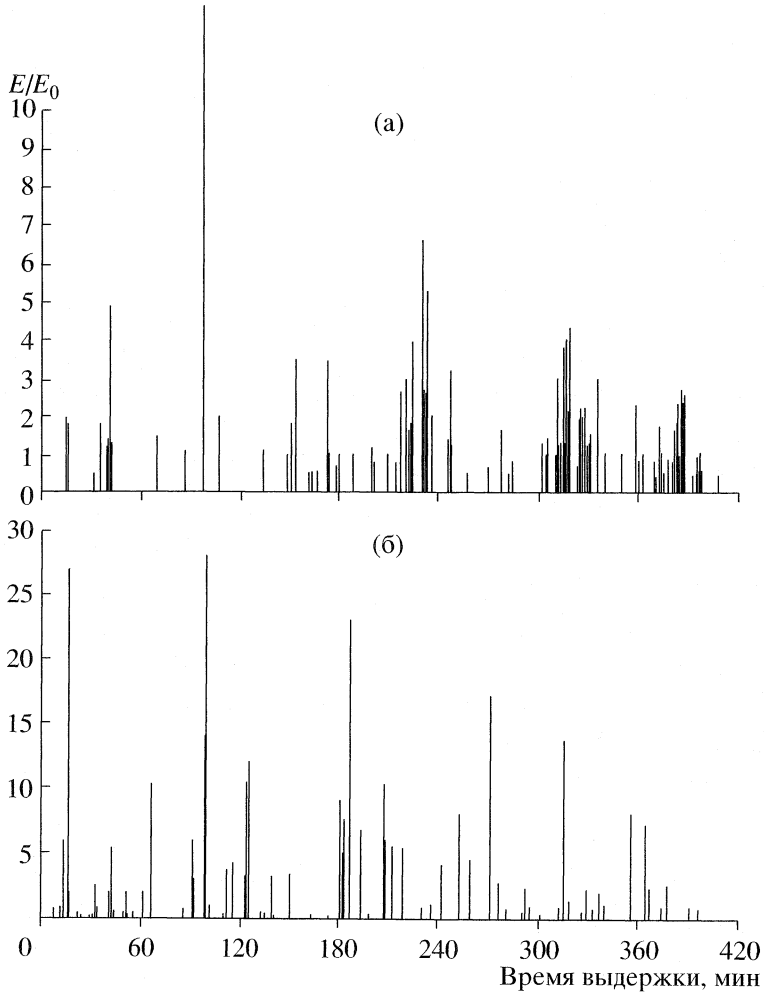

Рис. 1. АЭ-активность во время выдержки образцов: (а) – армко-железо, (б) – сталь 08Х14АН4МДБ.

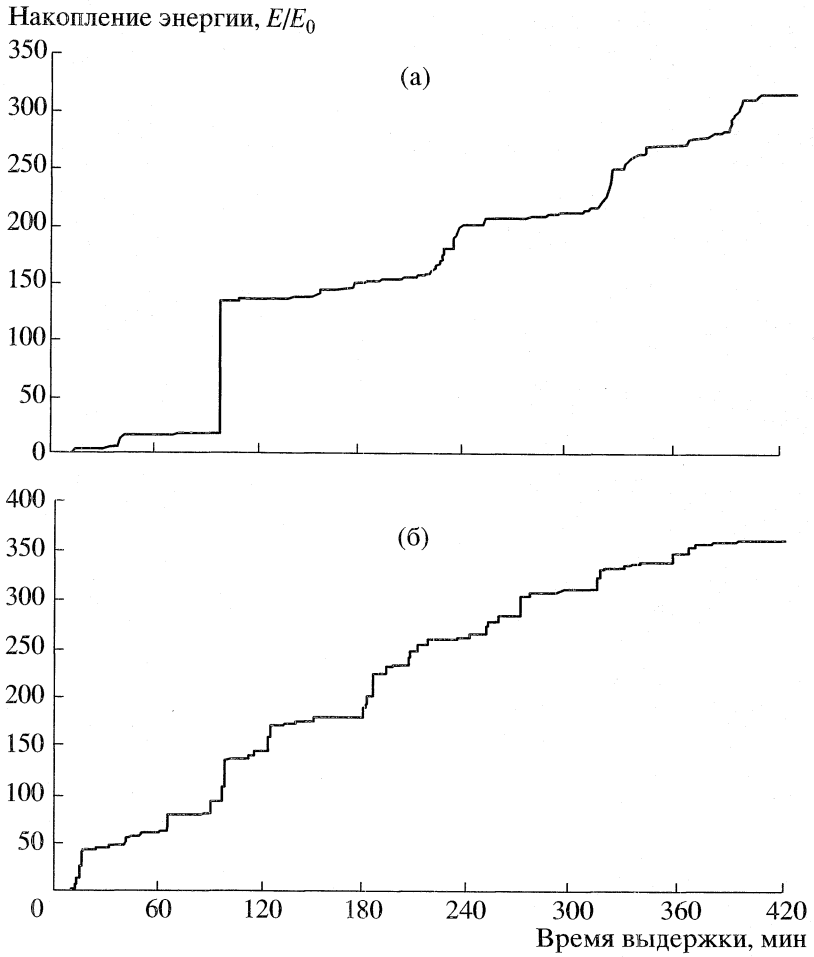

Рис. 2. Накопление энергии сигналов АЭ во время выдержки образцов при 1020°С: (а) – армко-железо, (б) – сталь 08Х14АН4МДБ.

зи с развитием современного компьютерного и программного обеспечения, позволяющего сохранять и анализировать по многим параметрам получаемую АЭ-информацию, этот метод нашел широкое применение. Так, в [3–5] метод АЭ использовался при изучении процессов плавления и кристаллизации металлов, а в [6] для исследования изменения структуры материалов при деформации.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В настоящей работе, являющейся продолжением исследований акустических свойств материалов [4, 7, 8], с помощью метода АЭ изучалась динамика структурных изменений в металлических материалах. Проведено исследование АЭ в армко-железе и конструкционной стали 08Х14АН4МДБ в процессе отжига, а также нагревания от 20°С до 1000°С вблизи точки Кюри и $\alpha \longrightarrow \gamma$-фазового перехода. Измерения проводились с помощью автоматизированной акустической установки [9] и акустико-эмиссионного комплекса [10] на коротких (60–70 мм) проволочных образцах диаметром 2 мм, изготовленных из исследуемых материалов. Образцы крепились с помощью резьбового соединения резьбы к акустическому волноводу диаметром 3 мм, изготовленному из нержавеющей стали 1Х18Н10Т. Сборка образец–волновод устанавливалась в гермоузле акустической установки вместо штатного проволочного образца, который применялся для измерения акустических параметров. Сигналы акустической эмиссии с акустического преобразователя, укрепленного на холодном верхнем торце волновода, поступали на акустико-эмиссионный комплекс, где накапливались и анализировались.

Предварительно в диапазоне 20–1000°С исследовалась АЭ-активность самого волновода, которая учитывалась при измерениях на реальных материалах. В качестве эквивалента образца на волноводе был установлен макет, изготовленный из того же материала, что и волновод, с геометрическими размерами, равными размерам образцов. Перед измерениями макет выдерживался при температуре 1020°С в течение восьми часов.

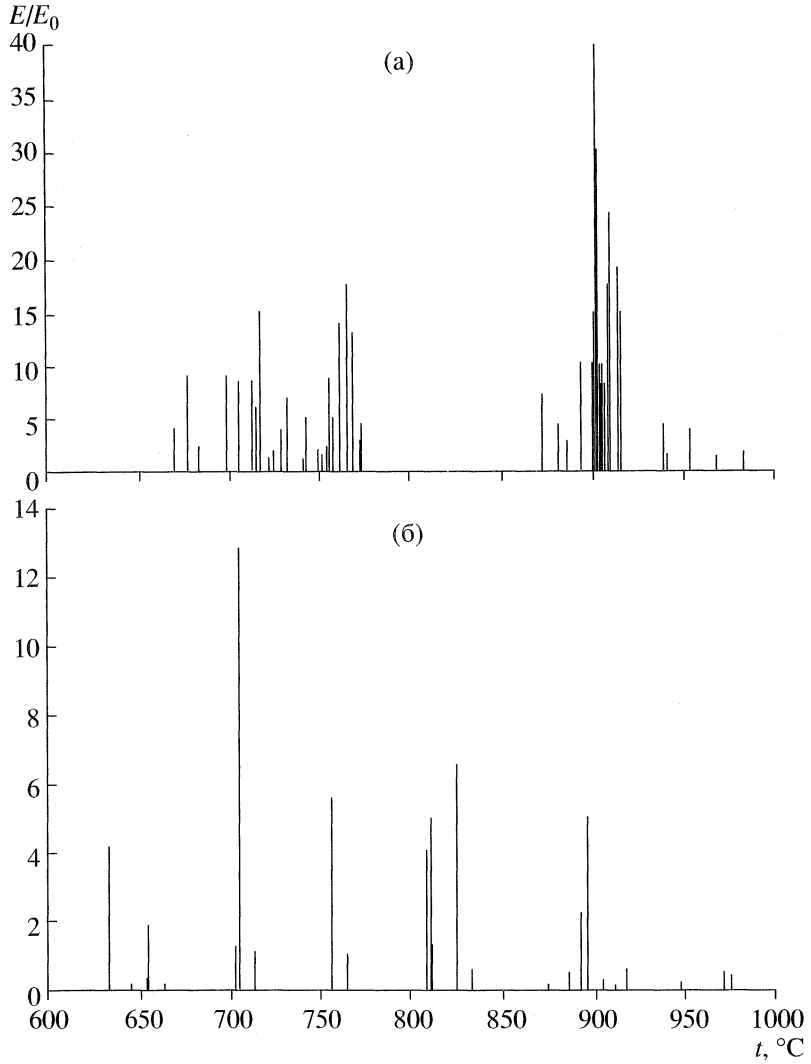

Рис. 3. АЭ-активность отожженных образцов в области фазовых переходов: (а) – армко-железо, (б) – сталь 08Х14АН4МДБ.

Первоначально в вакуумной камере акустической установки осуществлялся быстрый (примерно 10°С в минуту) нагрев образцов исследуемых материалов до 1020°С с последующей их длительной выдержкой при этой температуре. По достижении на образцах 960°С начинались измерения их АЭ-активности, продолжавшиеся непрерывно до окончания выдержки, которая прекращалась при затухании АЭ-активности образцов, после чего образцы внутри вакуумной камеры медленно остывали вместе с печью.

Отожженные таким образом образцы подвергались затем медленному (примерно 1°С в минуту) нагреванию от комнатной температуры до 1000°С, при этом также производились измерения АЭ-активности материала образцов. Такие же измерения велись и при медленном (управляемом) остывании.

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследования показали, что отжиг армко-железа и стали сопровождается акустической эмиссией, причем реальная продолжительность отжига при температуре 1020°С у обоих исследованных материалов составляет почти семь часов. Энергия сигналов АЭ в процессе отжига представлена на рис. 1, а процесс накопления энергии сигналов АЭ показан на рис. 2. Здесь E_0 – величина энергии импульсов АЭ, осредненная по всем измерениям. Она составляла 10^3 мВ^{2}с и почти всегда задавалась в качестве порога дискриминации. Из рис. 1 следует, что процесс достижения материалами равновесной структуры происходит во времени неравномерно, скачками, а величины суммарной акустической энергии процесса отжига армко-железа и стали соизмеримы. Важно также отметить, что максимальной АЭ-активности оба материала достигают через 1.5 часа отжига.

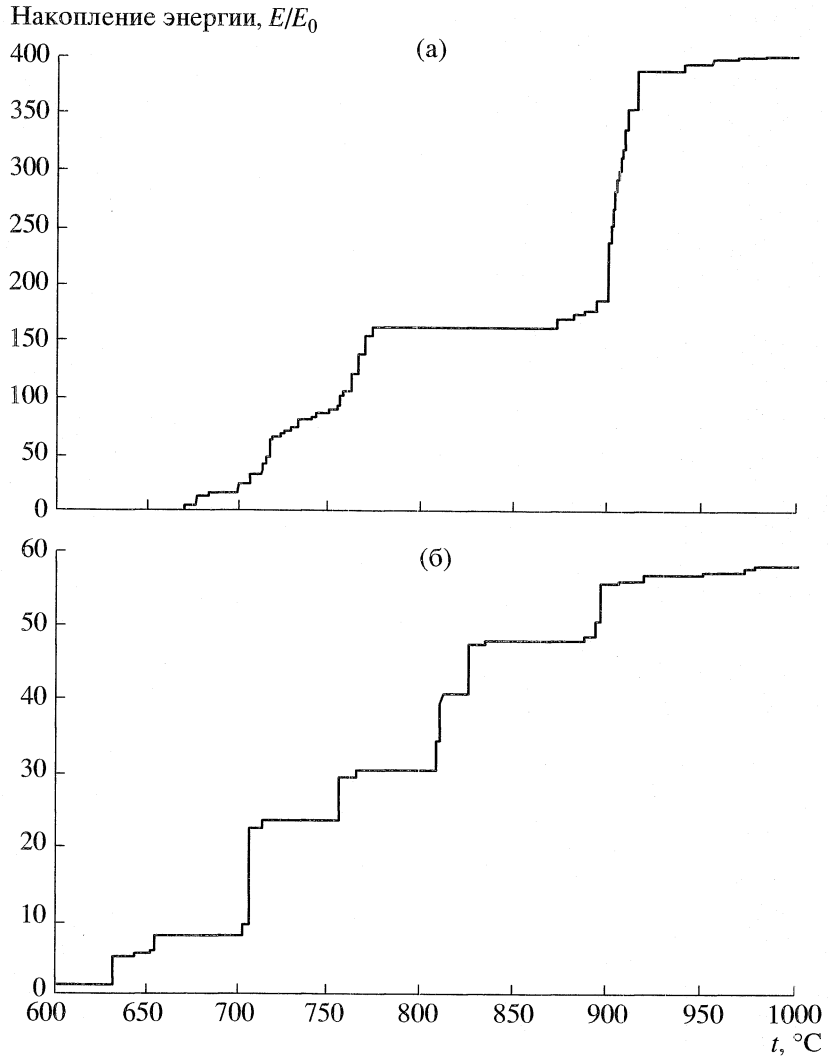

Рис. 4. Накопление энергии импульсов АЭ отожженных образцов в области фазовых переходов: (а) – армко-железо, (б) – сталь 08Х14АН4МДБ.

Измерения АЭ-активности материалов в процессе нагревания образцов показали наличие корреляции между акустической эмиссией и фазовыми переходами, что наблюдалось авторами ранее при исследовании процесса плавления металлов [4]. Результаты исследования АЭ отожженных образцов в процессе их нагревания представлены на рис. 3. Картина АЭ-активности, полученная при нагревании и остывании образцов, практически одинакова и отличается лишь тем, что при остывании образцов максимальная АЭ достигается при температурах ниже области фазового перехода, а при нагревании – выше этой области. Из рис. 3 следует, что АЭ-активность армко-железа и стали возникала за несколько десятков градусов до начала фазового перехода, что свидетельствует об интенсификации флуктуационных процессов вблизи области фазовых переходов. Подобная закономерность имела место и в случае плавления свинца. Однако в отличие от процесса плавления максимумы АЭ в описываемом случае достигались при температурах начала и конца фазового перехода. Непосредственно при фазовом переходе фиксировалось практически полное затухание АЭ. Особенно отчетливо это наблюдалось в области точки Кюри исследуемых материалов. В частности, в армко-железе, согласно рис. 3, магнитный фазовый переход начинается при 670°С и заканчивается при 770°С, а $\alpha \longrightarrow \gamma$-переход, соответственно, при 870 и 915°С, что согласуется с данными [8, 11]. В стали 08Х14АН4МДБ магнитный переход происходит в диапазоне 630–720°С, что совпадает с данными [8], а $\alpha \longrightarrow \gamma$-переход – при 755–825°С; $\alpha \longrightarrow \gamma$-переход по сравнению с данными [8], полученными по кривым температурных распределений акустических параметров данной стали, смещен на 25–45°С в сторону больших температур. АЭ-активность в области 900°С, вероятно, связана с присутствием легирующих

добавок и является объектом дальнейших исследований.

На рис. 4 представлены процессы накопления энергии сигналов АЭ. Здесь видны существенные качественные и количественные различия двух материалов. В частности, у образцов из армко-железа выделение акустической энергии происходит в основном в две стадии, соответствующие магнитному и $\alpha \longrightarrow \gamma$ фазовым переходам. При этом суммарная энергия сигналов АЭ армко-железа более, чем в шесть раз превышает соответствующую величину у стали. Сталь как более сложная система дает "диспергированную" кривую набора энергии. В армко-железе при $\alpha \longrightarrow \gamma$-переходе выделяется на 38% больше акустической энергии, чем при магнитном переходе, а в стали на 23% меньше.

Как известно, акустическая эмиссия связана с движением дислокаций, отрывом их от мест закрепления, торможением дислокаций у препятствий и их скоплением, появлением зародышевых трещин, образованием новых подвижных дислокаций или, наоборот, их исчезновением и т.п. Описанная в [10] система регистрации и анализа сигналов АЭ позволяет проводить обработку полученной информации по многим параметрам. В нашей работе использовалась наиболее информационная с точки зрения авторов обработка опытных данных, заключающаяся в усреднении выделяемой акустической энергии во времени. Таким способом были получены результаты, показывающие высокую чувствительность АЭ-метода применительно к исследованию структурных изменений в металлах как в процессе различных технологических воздействий, так и в ходе эксплуатации металлических конструкций. Побочным результатом представленной работы является уточнение температурных диапазонов магнитного и $\alpha \longrightarrow \gamma$ фазовых переходов новой конструкционной стали 08Х14АН4МДБ.

Работа выполнена по гранту Президента РФ по поддержке ведущих научных школ (№ НШ-193.2003.8) и при поддержке РФФИ (проект № 04-02-16859).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гусев О.В.* Акустическая эмиссия при деформировании монокристаллов тугоплавких металлов. М.: Наука, 1982. 108 с.
2. *Дробот Ю.Б., Лазарев А.М.* Неразрушающий контроль усталостных трещин акустико-эмиссионным методом. М.: Изд-во стандартов, 1987. 128 с.
3. *Новиков И.И., Рощупкин В.В., Покрасин М.А. и др.* Флуктуационная модель плавления // Известия РАН. Металлы. 1997. № 5. С. 35.
4. *Новиков И.И., Рощупкин В.В., Покрасин М.А. и др.* Изучение внутренней структуры металла в процессе плавления // ТВТ. 2000. Т. 38. № 2. С. 340.
5. *Прохоренко В.Я., Семашко Н.А., Филоненко С.Ф.* Акустическая эмиссия при кристаллизации легкоплавких металлов и сплавов // Тр. междун. конф. по свойствам материалов в твердом и жидком состоянии. Польша. Жешув, 1993. С. 145.
6. *Семашко Н.А., Башков О.В., Башкова Т.И.* Изменение структуры Ti–Al-сплава при деформации // Перспективные материалы. 2000. № 1. С. 25.
7. *Рощупкин В.В., Ляховицкий М.М., Покрасин М.А.* Экспериментальное исследование акустических свойств сплава Fe + 1 мас. % Al // ТВТ. 2003. Т. 41. № 1. С. 143.
8. *Рощупкин В.В., Ляховицкий М.М., Минина Н.А. и др.* Исследование акустическими методами динамики рекристаллизации и фазовых переходов в армко-железе и конструкционной стали // ТВТ. 2004. Т. 42. № 6. С. 873.
9. *Рощупкин В.В., Покрасин М.А., Чернов А.И. и др.* Экспериментальное исследование температурной зависимости скорости звука в конструкционных материалах для атомной энергетики // ТВТ. 1999. Т. 37. № 5. С. 835.
10. *Рощупкин В.В., Покрасин М.А., Чернов А.И. и др.* Акустико-эмиссионный программно-технический комплекс / В сб.: Синергетика 2000. Самоорганизационные процессы в системах и технологиях. Комсомольск-на-Амуре: Изд-во КнАГТУ, 2000. С. 101.
11. *Новикова С.И.* Тепловое расширение твердых тел. М.: Наука, 1974. 294 с.