

**АКУСТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СПЛАВА АМг6М В УСЛОВИЯХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Исследованы методом акустической эмиссии динамические процессы структурной перестройки сплава АМг6М, подвергнутого действию комбинированной энергетической обработки. Проведена оценка эффекта зонного старения деформационно-упрочненного материала.

Досліджені методом акустичної емісії динамічні процеси структурної перебудови сплаву АМг6М, підданого дії комбінованої енергетичної обробки. Проведена оцінка ефекту зонного старіння деформаційно-зміцнювального матеріалу.

Dynamical processes of the АМg6М alloy structural change subjected to combined energy treatment taking into account material strain ageing are studied using the method of acoustic emission.

Метод акустико-эмиссионной диагностики в последние десятилетия нашел широкое применение в промышленности, а также в области фундаментальных исследований физики прочности и разрушения материалов, благодаря значительному прогрессу в электронной и вычислительной технике. Зарождение и развитие трещин, пластическая деформация, коррозионное растрескивание, фазовые превращения и другие процессы динамической перестройки структуры материала сопровождаются излучением акустических (ультразвуковых) сигналов акустической эмиссии (АЭ) [1 – 8]. Регистрация сигналов АЭ, определение параметров и координат источников сигналов АЭ позволяет на ранних стадиях структурных изменений идентифицировать дефекты структуры материала, контролировать скорость их развития, оценивать степень их опасности и прогнозировать остаточный ресурс работы материала и конструкции в целом. Метод акустико-эмиссионной диагностики как метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе акустических волн, возникающих в процессе пластической деформации исследуемых объектов, обладает не только более высокой производительностью (в сотни раз превосходящей производительность классических методов неразрушающего контроля, таких как ультразвуковой, магнитный, радиационный и др.), но и дает ответ на главный вопрос – имеются ли в конструкционных материалах потенциально опасные дефекты, которые в будущем могут стать причиной разрушения (роста трещин), а также позволяет оценить степень их опасности [9, 10]. Метод АЭ позволяет формировать адекватную систему классификации дефектов и критерии оценки состояния объекта, основанные на реальном влиянии дефекта на объект, а это дает возможность нового подхода к решению задач повышения долговечности конструкций, которые развиваются в последнее время и базируются на изучении физических процессов, происходящих в конструкционных материалах при эксплуатации [11 – 14].

Целью данной работы являлась оценка методом акустической эмиссии динамических процессов структурной перестройки сплава АМг6М, подвергнутого действию комбинированной энергетической обработки. Выбор режимов энергетической обработки был продиктован ранее проводимыми исследованиями по разработке способов повышения долговечности конструкционных материалов с позиции синергетического подхода [15 – 17]. В этом аспекте интерес представляла акустико-эмиссионная диагностика структурного состояния сплава при воздействии на него растягивающих и сжимающих на-

грузок в тепловом поле, комбинированного механического нагружения с использованием высокочастотных колебаний, а также оценка эффекта зонного старения деформационно-упрочненного материала.

Объектом проводимых в настоящей работе исследований являлись образцы деформируемого алюминивно-магниевого сплава АМг6М, подвергнутые предварительной энергетической обработке. Испытания проводились на установке ИМАШ-20-78, предназначенной для термомеханических испытаний.

Акустическая активность материала оценивалась в процессе одноосного статического растяжения образцов как в исходном состоянии, так и после энергетической обработки [15–17]. Акустико-эмиссионные исследования проводились при одноосном растяжении со скоростью движения захватов порядка 3 мм/мин. При этом погрешность измерения деформации образца в рабочей зоне составляла не более 0,01 мм, нагрузки – 1,5 %, температуры – 1,5 С°.

Режимы энергетической обработки исследуемого сплава АМг6М представлены в таблице 1.

Таблица 1

Номер режима	Описание режимов обработки
1	Контрольный образец
2	а) выработка 0,5 ресурса ползучести ( $P_{расч} = 2100$ Н, $T = 160^0$ С); б) сжимающее нагружение ( $P = 5 \cdot 10^5$ Н, $T = 300^0$ С); в) действие электромагнитных ( $f = 250$ кГц, $j_{умп} = 2$ А/мм <sup>2</sup> ) и ударных ультразвуковых ( $f = 20$ кГц) колебаний в упругой зоне деформации ( $P = 1300$ Н).
3	а) выработка 0,5 ресурса ползучести ( $P_{расч} = 2100$ Н, $T = 160^0$ С); б) сжимающее нагружение ( $P = 5 \cdot 10^5$ Н, $T = 300^0$ С); в) отжиг при температуре $T = 320^0$ С в течение 2-х часов; г) действие электромагнитных ( $f = 250$ кГц, $j_{умп} = 2$ А/мм <sup>2</sup> ) и ударных ультразвуковых ( $f = 20$ кГц) колебаний в упругой зоне деформации ( $P = 1300$ Н).
4	а) выработка 0,5 ресурса ползучести ( $P_{расч} = 2100$ Н, $T = 160^0$ С); б) сжимающее нагружение ( $P = 5 \cdot 10^5$ Н, $T = 300^0$ С); в) действие электромагнитных ( $f = 250$ кГц, $j_{умп} = 2$ А/мм <sup>2</sup> ) и ударных ультразвуковых ( $f = 20$ кГц) колебаний в упругой зоне деформации ( $P = 1300$ Н); г) 120 суток зонного старения при комнатной температуре.

Для регистрации сигналов АЭ использовали измеритель акустической эмиссии "Малахит АС-15А", позволяющий регистрировать импульсы различной амплитуды. Пьезопреобразователь АЭ из керамики ЦТС-19 прижимался с постоянным усилием к поверхности образца специальным держателем через слой смазки, улучшающий акустический контакт. Для исключения ложных сигналов от захватов разрывной машины проводилась предварительная опрессовка образцов.

При испытании образцов проводилась синхронная регистрация параметров деформирования (приложенная нагрузка, перемещение захватов) и количества импульсов АЭ, которые поступали на два амплитудных счетчика-дискриминатора акустического измерителя. Обработка и анализ экспериментальных результатов проводились с помощью ЭВМ.

Чтобы отфильтровать ложные сигналы от захватов разрывной машины, наряду с проводимой опрессовкой выставлялся порог амплитудной дискриминации, равный 36 дБ.

Результаты исследований представлены в виде совмещенных кривых разрушения и амплитудных распределений сигналов АЭ в форме точечных корреляционных зависимостей амплитуды сигналов АЭ от времени до разрушения. Для сравнения приведены результаты, полученные при испытании контрольного образца.

Акустическая эмиссия контрольного образца (рис. 1) является типичной для отожженного алюминиево-магниевое сплава АМг6М.

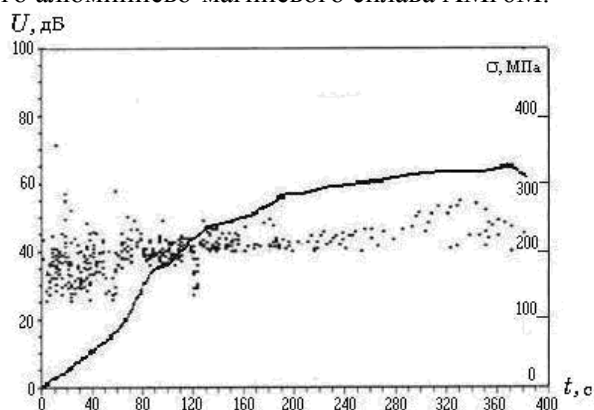


Рис. 1

Вначале, до 80 с, идет большой шум с амплитудой сигналов 40 – 45 дБ за счет опрессовки образца. Потом отмечается активность АЭ при достижении предела текучести (80 – 150 с), после чего эмиссия ослабевает вплоть до разрушения. Перед разрушением отмечается несколько импульсов порядка 50 – 60 дБ.

Амплитудное распределение сигналов АЭ при деформации образца, обработанного по режиму 2 (рис. 2) – типичное для упрочненного нагартованного сплава. Нет явной текучести. Перед разрушением зафиксировано несколько импульсов, превышающих 55 дБ.

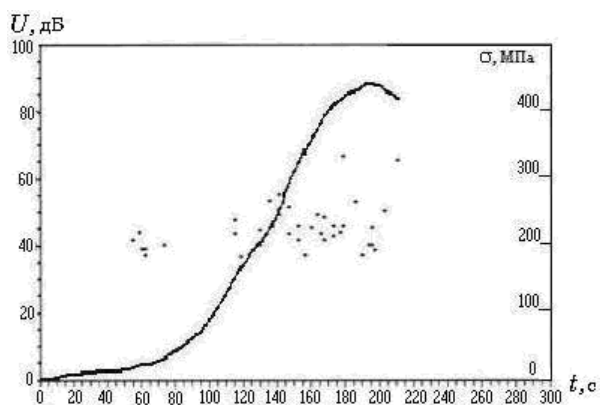


Рис. 2

Акустическая эмиссия образца, обработанного по режиму 3 с введением отжига (рис. 3), приблизилась по АЭ-картине к контрольному образцу. Максимум АЭ наблюдается в начале пластической деформации образца (60 –

100 с), затем отмечается спад, и перед разрушением регистрируется несколько импульсов с амплитудой, более 50 дБ.

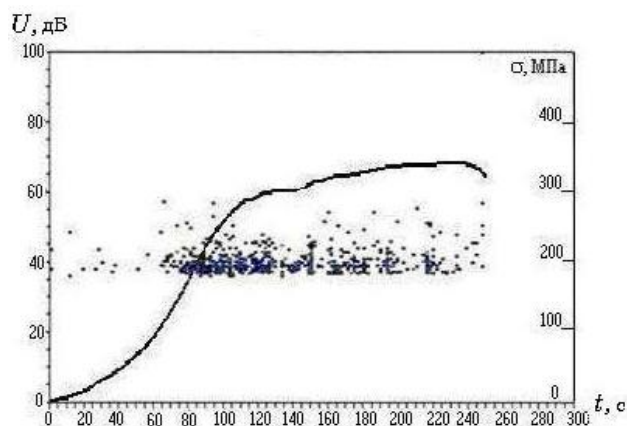


Рис. 3

После деформационного старения в зоне упругой деформации появляются высокоамплитудные сигналы, что подтверждает образование зон Гинье–Престона, обусловленное распадом твердого раствора. Акустическая эмиссия образца после 180 суток зонного старения представлена на рис. 4.

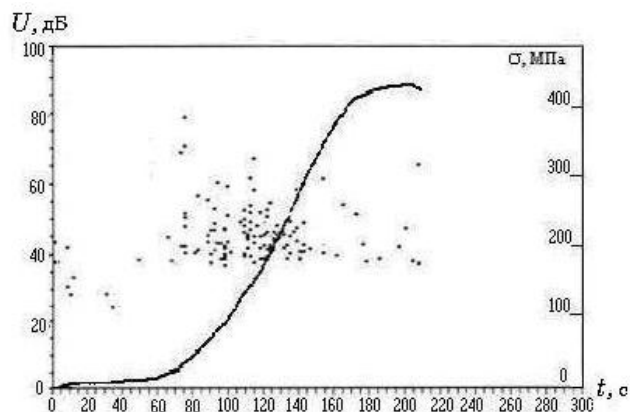


Рис. 4

Таким образом, результаты проведенных исследований на примере сплава АМгбМ подтвердили тот факт, что по характеристикам АЭ - картины можно судить о динамических процессах структурной перестройки в материалах. Использование АЭ метода контроля позволяет своевременно выявлять развивающиеся и поэтому потенциально опасные для конструкции дефекты.

- 1 Грешников В. А. Акустическая эмиссия / В. А. Грешников, Ю. И. Дробот. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 270 с.
- 2 Акустическая диагностика и контроль на предприятиях топливно-энергетического комплекса / В. М. Баранов, А. И. Гриценко, А. М. Карасевич и др. – М.: Наука, 1998. – 304 с.
- 3 Акустическая эмиссия и ее применение для неразрушающего контроля в ядерной энергетике / Под ред. К. В. Вакара. – М.: Атомиздат, 1980. – 216 с.
- 4 Андрейкив А. Е. Метод акустической эмиссии в исследовании процессов разрушения / А. Е. Андрейкив, Н. В. Лысак. – Киев: Наук, думка, 1989. – 176 с.
- 5 Гусев О. В. Акустическая эмиссия при деформировании монокристаллов тугоплавких металлов /

О. В. Гусев. – М. : Наука, 1982. – 108 с.

- 6 Даниев Ю. Ф. Классификация сигналов при оценке состояния технических систем / Ю.Ф. Даниев // Техническая механика. – 1993. – № 2. – С.119 – 123.
- 7 Иванов В. И. Применение метода акустической эмиссии для неразрушающего контроля и исследования материалов / В. И. Иванов // Дефектоскопия. – 1980. – № 5. – С. 65 – 84.
- 8 Иванов В. И. Акустико-эмиссионный контроль сварки и сварных соединений / В. И. Иванов, В. М. Белов. – М. : Машиностроение, 1981. – 113 с.
- 9 Бигус Г. А. Техническая диагностика опасных производственных объектов / Г. А. Бигус, Ю. Ф. Даниев. – М. : Наука, 2010. – 415 с.
- 10 Неразрушающий контроль и техническая диагностика : справочник / под ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 1995. – 488 с.
- 11 Кудрявцев Е. М. Акустическая эмиссия при трении / Е. М. Кудрявцев, В. М. Баранов, Г. А. Сарычев. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 256 с.
- 12 Горюшин В. В. Влияние ультразвуковой ударной обработки на структуру и свойства поверхностных слоев железа и некоторых сталей / В. В. Горюшин, В. П. Кривых, Г. И. Прокопенко, В. Л. Свечников // Прочность материалов и элементов конструкций при звуковых и ультразвуковых частотах нагружения. – К. : Наукова думка, 1980. – С.137 – 140.
- 13 Бигус Г. А. Акустические волны, возникающие при взаимодействии тел с корпусом объекта контроля / Г. А. Бигус // Производство и надежность сварных конструкций : науч.-техн. конф. стран СНГ : сб. докл. – Калининград, 1993. – С. 121.
- 14 Баранов Ю. В. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы / Ю. В. Баранов, О. А. Троцкий, Ю. С. Авраамов. – М. : МГПИУ, 2001. – 844 с.
- 15 Борщевская Д. Г. Повышение долговечности сплава Mg6M за счет введения промежуточной пластической деформации / Д. Г. Борщевская, В. Д. Рябчий, В. Ф. Бутенко, И. И. Телегина // Техническая механика. – 2011. – №1. – С. 70 – 76.
- 16 Патент на винахід 46841 Україна, МПК C21D 1/04. Спосіб зміцнення металевих матеріалів / С. С. Переверзєв, Д. Г. Борщевська, В. Ф. Бутенко, В. Д. Рябчий, С. П. Федій ; заявник і патентоволодар Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. – u200906775 ; заявл. 30.06.2009 ; опубл. 11.01.2010, бюл. № 1. – 4 с.
- 17 Патент на винахід 56740 Україна, МПК C21D 1/04. Спосіб підвищення довговічності металевих матеріалів / Д. Г. Борщевська, В. Д. Рябчий, В. Ф. Бутенко, А. В. Ханнанов ; заявник і патентоволодар Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ. – u201008347 ; заявл. 05.07.2010 ; опубл. 25.01.2011, Бюл. №2. – 4 с.

Институт технической механики  
НАН Украины и НКА Украины,  
Днепропетровск

Получено 11.07.12,  
в окончательном варианте 12.11.12