

УДК 538.97-405

А.П. МАМОНТОВ, С.Я. РЯБЧИКОВ, Б.В. ЧАХЛОВ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕНТГЕНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Исследована акустическая эмиссия, возникающая в металлах и сплавах при облучении рентгеновскими лучами. Показано, что при аннигиляции междоузельных атомов с генетически связанными вакансиями в процессе облучения наблюдаются тепловые вспышки, приводящие к образованию акустических волн.

Металлы и сплавы находятся в состояниях, весьма далеких от состояния термодинамического равновесия, достижению которого препятствуют энергетические параметры дефектных и примесных перестроек. При облучении рентгеновскими лучами металлов и сплавов появляются состояния, маловероятные с позиций равновесной термодинамики. Возникновение этих состояний сопровождается появлением акустических волн, параметры которых зависят от состояния исходной структуры материала. В связи с этим для контроля качества и диагностики металлов и сплавов перспективным является метод акустической эмиссии, генерируемой в процессе их облучения рентгеновскими лучами.

Для регистрации сигналов акустической эмиссии, возникающих в металлах и сплавах при различных воздействиях на них, нами разработана и изготовлена установка, блок-схема которой приведена на рис.1. Кроме того, разработаны метод и методика изучения сигналов акустической эмиссии при облучении рентгеновскими лучами металлов и сплавов.

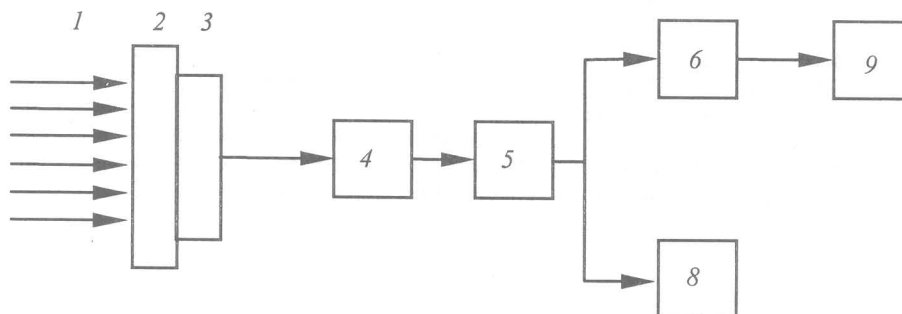


Рис.1. Блок-схема установки для измерения акустической эмиссии в металлах и сплавах при облучении рентгеновскими лучами: 1 — рентгеновские лучи; 2 — исследуемый образец; 3 — пьезоэлектрический датчик; 4 — предварительный усилитель; 5 — основной усилитель; 6 — многоканальный анализатор импульсов; 7 — счетчик импульсов; 8 — осциллограф

Упругие волны, возникающие в металлах и сплавах 2, распространяются к их поверхности. При облучении рентгеновскими лучами сигналы акустической эмиссии проявляются в виде колебаний поверхности материала и принимаются пьезоэлектрическим датчиком 3, преобразующим механические колебания в электрические. Электрические сигналы после прохождения блока предварительного усиления 4 поступают через селективный основной усилитель 5 на осциллограф 8, многоканальный анализатор импульсов 6 и счетчик импульсов 7.

Сигналы акустической эмиссии измерялись в процессе облучения рентгеновскими лучами 1. Предварительный усилитель 4 выполнен на базе микросхемы типа К284УД1. Её достоинства заключаются в высоком входном сопротивлении, низком уровне шумов при работе с высокоомным датчиком и возможностью масштабного регулирования коэффициента усиления в полосе пропускания. Верхняя и нижняя частоты пропускания сигналов задаются внешними элементами. Уровень собственных шумов используемого предварительного усилителя не превышал 10 мкВ. В качестве основного селективного усилителя применяется прибор марки SMV-11, с помощью которого можно регулировать частоту исследуемого сигнала от 0,01 до 20 МГц (при ширине пропускания 9 кГц). Усиленные сигналы регистрировались электронно-счетным частотомером типа ЧЗ-33.

В зависимости от направления колебаний частиц относительно образца металла или сплава возникает несколько типов волн. Если частицы металла или сплава колеблются вдоль образца, то в

нем возникают и распространяются деформации сжатия-растяжения и появляется продольная волна. Если же частицы колеблются перпендикулярно образцу металла или сплава, возникают и распространяются деформации сдвига и появляются поперечные и сдвиговые волны. Продольные волны возникают во всех средах, тогда как поперечные волны – только в твердых телах, обладающих сдвиговой упругостью.

Скорость распространения продольной C_1 и поперечной C_2 волн зависит от модуля продольной деформации E (модуль Юнга) и коэффициента поперечного сжатия ν_p (коэффициент Пуассона).

Возникающая в металле или сплаве бегущая волна ослабляется с расстоянием вследствие ее затухания. Зависимость ослабления в случае плоской волны с начальной амплитудой A_0 , происходящей на расстоянии r , выражается формулой

$$A = A_0 \exp(-kr),$$

где k – коэффициент затухания, который определяется величиной коэффициента поглощения k_n и рассеяния k_p , т.е. $k = k_n + k_p$.

Вследствие эффектов внутреннего трения, неидеальных упругих свойств металла или сплава и других факторов звуковая энергия при поглощении превращается в тепловую. При рассеянии на несовершенствах материала звуковая энергия уходит в стороны от направления распространения волн.

Энергия звуковых колебаний регистрировалась преобразователем, в качестве которого использовался датчик из пьезокерамики типа ЦТС-19 в виде диска (поляризованного по толщине) диаметром $d = 20$ мм и толщиной $h = 5$ мм. Частота основного резонанса $f_{\text{рез}}$ для продольных колебаний ненагруженного диска определялась из соотношения

$$f_{\text{рез}} = \frac{h}{2} \cdot \left(\frac{E}{\rho} \right)^{1/2},$$

где ρ – плотность пьезокерамики, h – толщина пьезоэлектрического образца.

Проводились измерения акустической эмиссии в процессе облучения рентгеновскими лучами вольфрама и твердого сплава ВК8 и Т15К6, применяемого при изготовлении коронок и долот для бурения горных пород. Исследовалась акустическая эмиссия, возникающая при облучении базовых образцов (без обработки) и образцов, обработанных в жидком азоте в следующем режиме: исходная температура $T_{\text{исх}} = 20^\circ\text{C}$, время криогенной обработки (в жидком азоте) $t_{\text{обр}} = 20$ мин. После криогенной обработки как базовые образцы, так и обработанные помещались в установку для измерения сигналов акустической эмиссии, где их облучали с помощью рентгеновской установки типа РУП-150-10. Результаты измерения акустической эмиссии базовых образцов (кривая 1) и образцов, обработанных в жидком азоте (кривая 2), приведены на рис. 2.

Кривые, характеризующие зависимость количества импульсов акустической эмиссии от времени облучения рентгеновскими лучами твердого сплава, отличаются двумя пиками акустической эмиссии в обоих случаях. Это свидетельствует о том, что в твердом сплаве имеются как точечные (первый пик), так и линейные (второй пик) дефекты. Первый пик для обоих образцов занимает одно и то же положение, тогда как второй пик у образцов, прошедших криогенную обработку, смещается в область меньшего времени облучения. Это объясняется тем, что при криогенной обработке твердого сплава происходят структурно-фазовые превращения за счет термического воздействия на дефекты.

Положение и форма кривых акустической эмиссии, полученные при различных режимах криогенной обработки, позволяют судить о характере происходящих процессов. Так, положение пиков акустической эмиссии не зависит от режимов криогенной обработки. Однако количество наблюдаемых импульсов для различных режимов существенно отличается. При более жестком режиме (многократное погружение образцов в жидкий азот) фиксируется меньшее количество им-

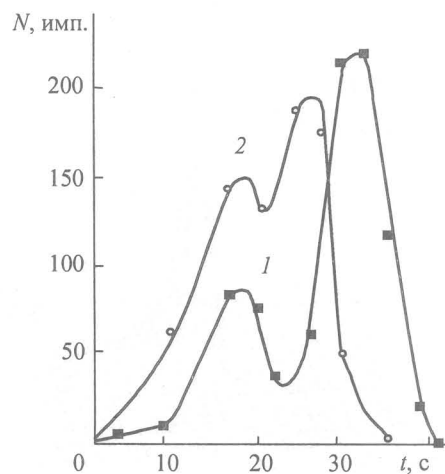


Рис. 2. Зависимость количества импульсов акустической эмиссии от времени облучения рентгеновскими лучами твердого сплава: 1 – базовый образец; 2 – образец, обработанный жидким азотом в режиме: $T_{\text{исх}} = 20^\circ\text{C}$, $t_{\text{обр}} = 15$ мин

пульсов акустической эмиссии, так как при жестком режиме криогенной обработки вводится большая концентрация точечных и линейных дефектов, на которых рассеиваются акустические волны, и поэтому они не достигают пьезоэлектрического датчика.

Результаты исследований акустической эмиссии полностью согласуются с данными по исследованию прочностных характеристик твердых сплавов ВК8 и Т15К6, обработанных в жидком азоте. Проводились измерения разрушающей нагрузки, предела прочности при изгибе, деформации, жесткости, твердости по Роквеллу, микротвердости. Полученные данные представлены в таблице. Здесь же приведены данные по количеству импульсов акустической эмиссии.

Количество импульсов акустической эмиссии	Разрушающая нагрузка P , кГс	Предел прочности при изгибе, кГс/см	Деформация, мм	Жесткость, кГс/мм	Твердость по Роквеллу, Н	Микротвердость, кГс/мм ²
1576	443	9843	0,058	7637	86,2	1290
797	426	9493	0,047	9200	89,8	1526
245	392	8756	0,042	9350	90,2	1634

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что имеется прямая корреляция количества импульсов акустической эмиссии с прочностными характеристиками твердого сплава. Кроме того, установлена прямая корреляция количества импульсов акустической эмиссии с проходкой на коронку и механической скоростью бурения скважин твердосплавным породоразрушающим инструментом.

Генерация акустических волн при облучении рентгеновскими лучами обусловлена тем, что в процессе облучения таких неравновесных материалов, какими являются металлы и сплавы, происходит аннигиляция междоузельных атомов с генетически связанными вакансиями. В области аннигиляции дефектов возникает тепловая вспышка (рис. 3) за счет освобождения запасенной в кристаллической решетке энергии, которая составляет порядка 10 эВ [1]. Освобождение запасенной энергии приводит к резкому возрастанию температуры в ограниченном объеме, затем температура практически мгновенно уменьшается до температуры окружающей область аннигиляции дефекта среды.

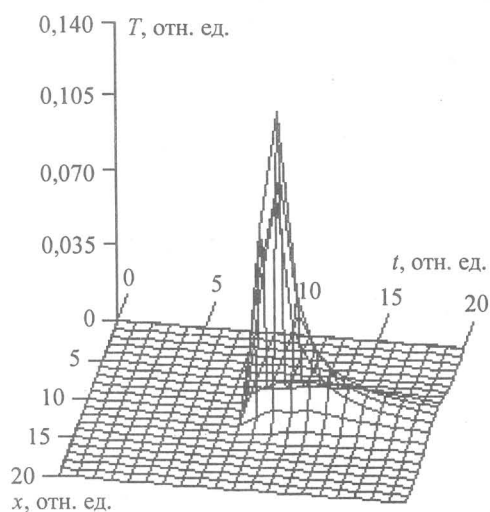


Рис.3. Распределение температуры T в твердом сплаве, обусловленной аннигиляцией междоузельного атома с генетически связанной вакансией в процессе облучения рентгеновскими лучами, во времени t и пространстве x

В результате происходящих процессов возникает импульс давления, вызывающий акустическую волну, которая при распространении в металлах и сплавах рассеивается на точечных и линейных дефектах. Количество импульсов акустической эмиссии определяется концентрацией имеющихся в материале дефектов. В более совершенном по структуре материале имеется меньше центров, рассеивающих акустические волны, и в связи с этим регистрируется большее количество импульсов акустической эмиссии. Наиболее интенсивно протекает этот процесс в областях, окружающих дислокации, и на границах зерен, что приводит к уменьшению размеров и количества дислокаций и понижению температуры фазового перехода [2]. Области аннигиляции дефектов в этом случае являются точками бифуркаций, определяющими самоорганизацию металлов и сплавов при облучении рентгеновскими лучами [3].

Импульсы акустической эмиссии наблюдаются в течение всего лишь 30 с, поскольку в процессе облучения изменяется сам характер взаимодействия рентгеновского излучения с материалом. Наиболее вероятной причиной этого является возникающая интерференция рентгеновских волн с акустическими волнами.

Применение облучения рентгеновскими лучами с одновременной регистрацией акустических волн позволяет эффективно прогнозировать ресурс и поведение металлов и сплавов при различных видах обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пахаруков Ю.В. // ФТП. – 1989. – Т.23. – С.909–911.
2. Беломестных В.Н., Мамонтов А.П. // Письма в ЖТФ. – 1997. – Т.23. – №15. – С.70–74.
3. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 404 с.