

V.V. Polyakov, D.S. Salita, A.A. Lependin

Эффект электромагнитной эмиссии при разрушении металлических материалов

V.V. Polyakov, D.S. Salita, A.A. Lependin

Effect of Electromagnetic Emission at Destruction of Metallic Materials

Проведено экспериментальное исследование электромагнитного излучения в процессе статического разрушения металлических материалов. Описано устройство для измерения характеристик этого излучения. Обнаружены и проанализированы сигналы электромагнитной эмиссии при разрушении образцов из стали.

Ключевые слова: металлические материалы, электромагнитные свойства, разрушение, электромагнитная эмиссия.

Разработка новых материалов с повышенными прочностными характеристиками, предназначенными для использования в условиях переменных механических и температурных полей, требует разработки новых методов исследования деформационного поведения. Физической основой этих методов выступают явления и эффекты, связанные непосредственно с локальной перестройкой структуры материала при пластической деформации и разрушении. Примером таких явлений служат излучение акустических волн при возникновении и движении дефектов структуры [1], повышение температуры в локальных областях развития пластической деформации [2]. В последние годы в задачах исследования и диагностики конденсированных непроводящих сред значительное внимание было уделено эффекту электромагнитной эмиссии. Именно при зарождении микротрещин на них могут возникать электростатические заряды. В процессе развития и выхода трещин к поверхности эти заряды релаксируют, вызывая колебания электромагнитного поля, интерпретируемые как электромагнитная эмиссия [3, 4]. Измеряя характеристики электромагнитного излучения, можно исследовать особенности трещинообразования в конкретном материале.

Возможность подобных эффектов при разрушении металлических материалов, обладающих высокой электропроводностью, требует специального исследования. Очевидно, что в проводящей среде процессы возникновения и релаксации электрических зарядов на трещинах должны обладать значительной спецификой по сравнению с диэлектрическими материалами. Для металлических материалов с сильными магнитными свойствами деформация, сопровождающаяся развитием трещин, может вызывать изме-

The experimental investigation of electromagnetic radiation during static destruction of metallic materials was conducted. The article describes a device for measuring the characteristics of radiation. As a result, electromagnetic emission signals at failure of steel are detected and analyzed.

Key words: metal materials, electromagnetic properties, destruction, electromagnetic emission.

нения магнитных характеристик. В ряде работ было описано появление электромагнитных импульсов при нагружении металлов с разными электрическими и магнитными свойствами [5–7]. Нужно отметить, что результаты этих работ допускают различную интерпретацию. Электромагнитные импульсы связывались с изменением геометрии образцов при выходе полос пластической деформации на поверхность [5], с электростатическими процессами при трещинообразовании [6]. В определенной степени трудность интерпретации связана с объективной сложностью измерений слабого электромагнитного излучения при механических испытаниях, поскольку такие измерения сопровождаются, как правило, сильными электромагнитными помехами от электромеханических узлов испытательных машин. Кроме того, амплитудные характеристики сигнала и его частотный спектр зависят от методики измерения, именно разные результаты могут появляться при использовании датчиков емкостного типа, улавливающих изменения электрической составляющей излучения, и индуктивного типа, измеряющих колебания проходящего через датчик магнитного потока.

В настоящей работе проведено исследование электромагнитных эффектов, которые могут возникать в процессах пластической деформации и разрушения металлических материалов при статической нагрузке [7]. Для обеспечения корректности измерений испытания проводились на установке с водяной системой нагружения, в которой были исключены электромеханические узлы [8]. Установка обеспечивала одноосное растяжение образца с постоянной скоростью нагружения. Для измерения электромагнитных колебаний использовался специально изготовленный про-

ходной датчик индуктивного типа. Металлический образец размещался по оси датчика (катушки индуктивности), что позволяло наиболее эффективно измерять колебания магнитного потока. Результаты измерений представлялись в виде зависимостей величины, приложенной к образцу силы F , и электрического напряжения U от времени нагружения t .

В качестве материалов для испытаний использовались ферромагнитные образцы, изготовленные из стали Ст10, и образцы дюралюминия с парамагнитными свойствами. Выбор материалов был обусловлен хорошей изученностью их свойств и широким распространением в технике. Образцы имели форму плоских стержней длиной 30 мм и сечением 2×3 мм, испытания проводились при комнатной температуре. При растя-

жении образцы изолировались от металлических захватов диэлектрической прокладкой.

На рисунке 1 приведены типичные результаты измерений для стали (отсчет времени для удобства соответствует началу процесса разрушения). Как видно из рисунков 1а–б, резкий спад величины силы F , описывающий разрушение образца, сопровождался сигналом достаточно сложной формы на зависимостях напряжения U от времени t . Интересно отметить, что локальные перегибы на отдельных участках кривой $F-t$ (рис. 1б), обусловленные случайными особенностями в развитии разрушения, сопровождались дополнительными пиками, усложнявшими форму электромагнитного сигнала по сравнению со случаем монотонной кривой (рис. 1а).

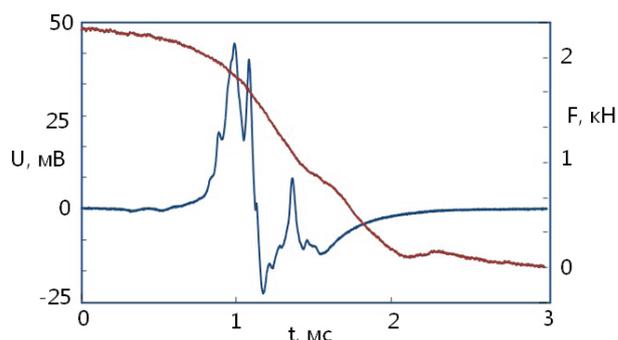
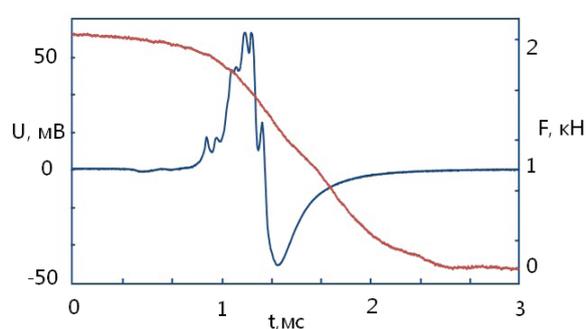


Рис. 1. Сигналы электромагнитного излучения при разрушении стали: а — монотонная кривая нагружения; б — кривая нагружения с локальными особенностями

На рисунке 2 представлены данные аналогичных измерений для образца дюралюминия. Из рисунка следует, что электромагнитные импульсы в процессе разрушения не фиксировались. Отсутствие электромагнитного излучения при разрушении наблюдалось для всех подвергнутых испытанию образцов дюралюминия.

Полученные результаты показали, что разрушение материалов с ферромагнитными свойствами сопровождалось импульсами электромагнитного излучения. Для металлических материалов со слабыми магнитными свойствами в экспериментах, связанных с измерением колебаний магнитного потока, электромагнитное излучение не наблюдалось. Это позволяет использовать проведенные исследования для выявления физической природы излучения в материалах с сильными магнитными свойствами. Обнаруженный эффект электромагнитной эмиссии может быть вызван локальной перестройкой доменной структуры, именно разрушением

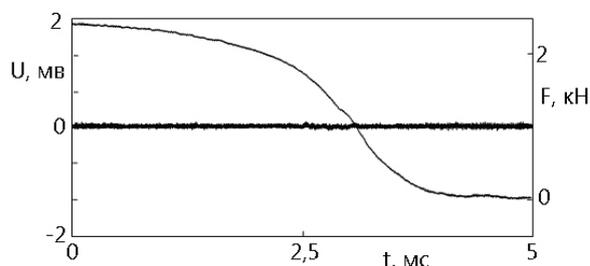


Рис. 2. Результаты измерений при разрушении дюралюминия

доменных стенок в зоне развития трещин. В таком случае характеристики сигналов электромагнитной эмиссии могут зависеть от доменной структуры материала и особенностей его разрушения, что может служить основой для использования этих характеристик при исследовании деформационных процессов.

Библиографический список

1. Егоров А.В., Поляков В.В., Гумиров Е.А., Лепендин А.А. Регистрация сигналов акустической эмиссии с помощью модифицированного метода осцилляций // Приборы и техника эксперимента. — 2005. — № 5.

2. Плехов О. А. Использование высокоскоростной инфракрасной термографии при проведении стандартных механических испытаний // Прикладная оптика: сб. тр. 9-й Междунар. конф. — СПб., 2010.

3. Судьенков Ю. В. Электромагнитное излучение при разрушении пьезоэлектриков субмикросекундными импульсами давления // Журнал технической физики. — 2001. — Т. 71, вып. 12.

4. Беспалько А. А., Яворович Л. В., Федотов П. И. Связь параметров электромагнитных сигналов с электрическими характеристиками горных пород при акустическом и квазистатическом воздействиях // Известия Томского политехнического университета. — 2005. — Т. 308, № 7.

5. Шибков А. А., Шуклинов А. В., Желтов М. А., Скворцов В. В., Золотов А. Е., Михлик Д. В. Электромагнитная эмиссия при развитии неустойчивой пластической дефор-

мации металлов // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки. — 2010. — Т. 15, вып. 3.

6. Кривецкий А. В., Бизяев А. А., Яковицкая Г. Е. Контроль разрушения некоторых металлических изделий по сигналам электромагнитного излучения // Физическая мезомеханика. — 2011. — Т. 14, № 4.

7. Поляков В. В., Егоров А. В., Салита Д. С. Применение метода электромагнитной эмиссии к исследованию наноматериалов // Развитие нанотехнологий: задачи международных и региональных научно-образовательных и научно-производственных центров: тез. докл. I Междунар. конф. — Барнаул, 2012.

8. Поляков В. В., Егоров А. В. Применение метода акустической эмиссии для исследования разрушения порошковых металлов // Порошковая металлургия. — 2007. — № 30.