

## АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ ПРИ КАТОДНОМ НАВОДОРОЖИВАНИИ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Бурнышев И. Н., Абрамов К. А., Валиахметова О. М.

*Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск, Россия*  
[inburn@udman.ru](mailto:inburn@udman.ru)

Акустическая эмиссия (испускание материалом акустических волн) может возникнуть в результате различных физико-механических процессов: структурные и фазовые превращения в материале, гидродинамические и аэродинамические явления, трения поверхностей твердых тел и др. [1]. Метод акустической эмиссии (АЭ) широко используется при исследовании материалов и конструкций, в частности, подвергнутых различным физико-механическим воздействиям. Этот метод позволяет обнаруживать и регистрировать развивающиеся дефекты (чувствительность метода позволяет выявлять приращения трещины на 0,025 мм); также он имеет значительно меньше ограничений, связанных со структурой и физико-механическими свойствами материалов, чем другие методы неразрушающего контроля. Ввиду широкого применения и простоты метода АЭ интересно будет рассмотреть его применение для контроля наводороживания материалов.

В настоящей работе исследовали изменения параметров акустической эмиссии в малоуглеродистых сталях при различных условиях электролитического наводороживания.

Для регистрации акустической эмиссии при наводороживании использовали акустико-эмиссионный прибор АФ-15. Рабочий диапазон частот выбирали от 20 до 1000 кГц. В качестве датчика использовался пьезоэлектрический преобразователь ПЭП 113 с диапазоном частот 200 – 2000 кГц.

В качестве информативного параметра рассматривали скорость счета АЭ за 30 секунд. АЭ исследовали на плоских отожженных и закаленных образцах из малоуглеродистой стали с размерами 0,5×20×120 мм и 0,5×20×90 мм, соответственно. Наводороживание проводили в растворах серной кислоты с добавлением 1,5 г/л тиомочевины – стимулятора наводороживания.

На рис. 1 и 2 приведены типичные экспериментальные кривые зависимости скорости счета  $\dot{N}$  и суммарного счета от времени наводороживания, полученные в 1,0-нормальном растворе серной кислоты при плотности катодного тока 10 мА/см<sup>2</sup> и уровне дискриминации 8 дВ. Видно, что даже для образцов с одинаковой термической обработкой  $\dot{N}$  имеет существенный разброс, но, как правило, величина скорости счета у отожженных образцов была ниже, чем у закаленных. При многократном наводороживании  $\dot{N}$  закаленных образцов будет лежать в области между кривыми 1 и 2, а отожженных – между кривыми 3 и 4. На кривой зависимости интенсивности АЭ от времени наводороживания можно выделить три области. В начальный момент наводороживания  $\dot{N}$  растет, затем выходит в режим насыщения и после 8-часовой выдержки уменьшается.

Эти закономерности справедливы как для закаленных, так и для отожженных образцов. Однако для отожженных образцов режим насыщения наступает раньше. Суммарный счет имеет практически линейную зависимость, начиная со 100 минут наводороживания для отожженного образца и со 180 – для закаленного образца. Величина суммарного счета у закаленных образцов оказывается выше, чем у отожженных. По-

видимому, это связано с особенностями напряженно-деформированного состояния и меньшей степенью затухания акустических импульсов в металле после закалки.

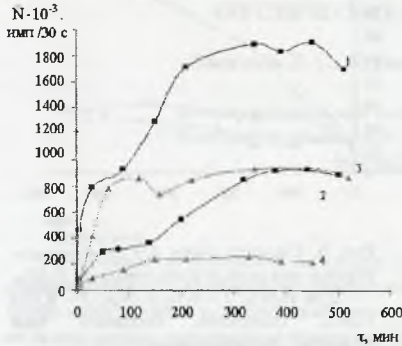


Рис. 1. Зависимость скорости счета от времени наводороживания закаленных (1, 2) и отожженных (3, 4) образцов

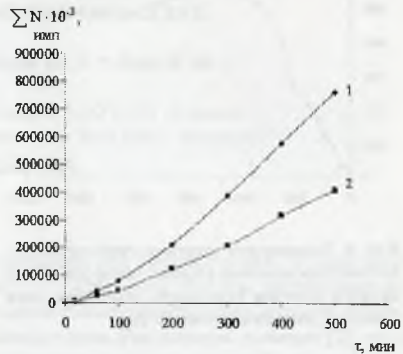


Рис. 2. Зависимость суммарного счета от времени наводороживания закаленного (1) и отожженного (2) образцов

При разных уровнях дискриминации сигналов АЭ скорость счета при электролитическом наводороживании качественно мало изменяется (рис. 3). Было отмечено, что при больших уровнях дискриминации сигнала (16, 20 дВ), когда  $N$  не превышала 1000 имп/30 сек, наблюдается большой разброс значений в пределах времени измерения. Для уровней дискриминации 6, 8, 10, 12 дВ разброс в значениях, как правило, был невелик, и параметры суммарного счета хорошо поддавались усреднению.

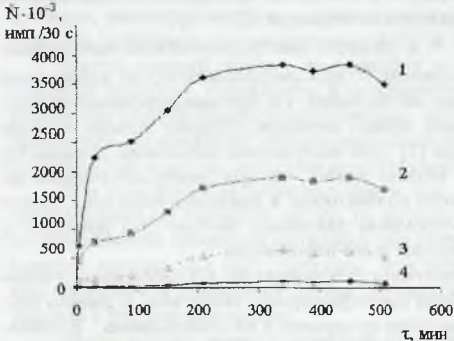


Рис. 3. Скорость счета АЭ при наводороживании закаленного образца при плотности катодного тока  $10 \text{ mA/cm}^2$  и уровнях дискриминации: 1 – 6 дВ; 2 – 8 дВ; 3 – 10 дВ; 4 – 12 дВ.

Спад скорости счета  $N$  происходит намного медленнее, чем его рост (рис. 4). Зависимость скорости счета АЭ от площади поверхности образца, погруженного в электролит, близка к линейной. Выполнены исследования по влиянию объема электролита и концентрации раствора серной кислоты на величину интенсивности АЭ. Установлено, что с увеличением объема электролита возрастает  $N$ . Повышение концентрации раствора серной кислоты также приводит к увеличению интенсивности АЭ (рис. 5).

При выключении катодного тока после наводороживания суммарный счет резко падает, но затем в течение 20–50 минут возрастает, после чего снижается до уровня, соответствующего наводороживанию в бестоковом режиме.

Частотный режим возникающих акустических импульсов определяли варьированием характеристик фильтров низких и высоких частот. Наибольшая интенсивность акустических сигналов наблюдалась в диапазоне частот 200–500 кГц.

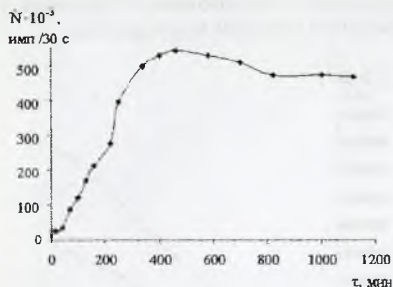


Рис. 4. Зависимость скорости счета от времени наводороживания образца после закалки и низкого отпуска (плотность катодного тока  $2 \text{ mA/cm}^2$ , дискриминация 10 dB).

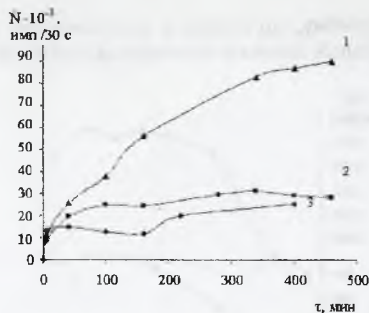


Рис. 5. Скорость счета АЭ отожженного образца при разных концентрациях  $\text{H}_2\text{SO}_4$ : 1 –  $0,5\text{N H}_2\text{SO}_4$ ; 2 –  $0,1\text{N H}_2\text{SO}_4$ ; 3 –  $0,01\text{N H}_2\text{SO}_4$ ; (плотность катодного тока  $10 \text{ mA/cm}^2$ , дискриминация 8 dB).

На поверхности наводороженных стальных образцов с отожженной структурой, как правило, имелись многочисленные дефекты типа вздутий размерами менее 1 мм. Наводороженная поверхность закаленных стальных образцов таких вздутий не имела, но были отмечены немногочисленные поверхностные ровные, короткие, прямые и полукруглые трещины. Металлографическим анализом наводороженных отожженных образцов выявлены крупные трещины, распространяющиеся от неметаллических включений до поверхности образца по границам зерен. Вероятно, диффузионно подвижный водород локализуется на границах раздела матрица–неметаллическое включение, где и молизуется. Внутреннее давление водорода в этих местах приводит к возникновению микрорасслоений – трещин, которые являются источником АЭ.

Поведение суммарного счета АЭ  $N$  в процессе электролитического наводороживания имеет некоторое сходство с поведением  $N$  при микропластической деформации сталей [1]. Такое сходство, по-видимому, не случайно, т.к. при наводороживании многими авторами отмечался дилатационный эффект металлов, который зависел от количества поглощенного металлом водорода [2]. При наступлении насыщения металла водородом, прекращалась и деформация. Можно сказать, что при электролитическом наводороживании образуется большое число коллекторов в поверхностном слое, заполненных молекулярным водородом с огромным давлением внутри. Это приводит к большим внутренним напряжениям в образце и его деформации.

Следует заметить, что при интерпретации результатов по АЭ необходимо учитывать то, что акустическая эмиссия является многофакторным свойством. В данном случае на ее параметры также влияют выделение пузырьков и их схлопывание. Установление степени их влияния на поведение  $N$  требуют дальнейшего изучения.

#### Список литературы

1. Семашко Н. А., Шпорт В. И., Марьин Б. Н. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении. М: Машиностроение, 2002.
2. Белоглазов С. М. Наводороживание стали при электрохимических процессах. С-Петербург: Издательство СПб Университета. 1975. - С. 36 – 42.