

08

Об акустической эмиссии при наводороживании малоуглеродистой стали

© И.Н. Бурнышев, К.А. Абрамов

Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск
E-mail: inburn@mail.ru

В окончательной редакции 15 августа 2008 г.

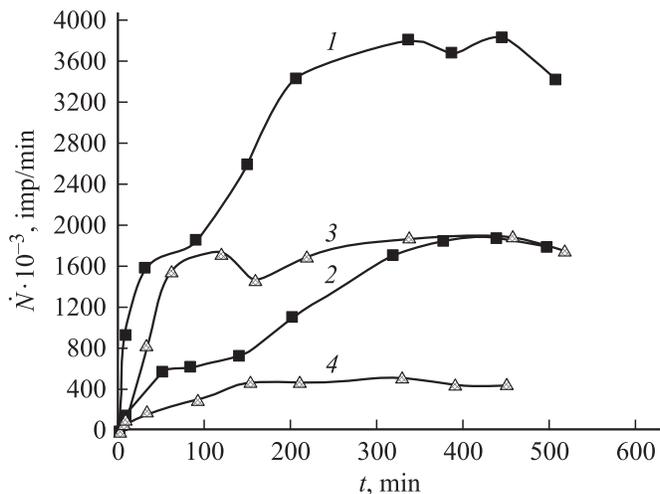
Исследовано поведение акустической эмиссии (АЭ) на образцах из стали ВСт3сп разной структуры. Установлено, что для всех образцов зависимость скорости счета \dot{N} от времени наводороживания имеет вид кривой с максимумом. Рассмотрены и проанализированы основные факторы, влияющие на АЭ в ходе наводороживания.

PACS: 43.58 Gp, 62.90.+k

Известно, что водород, накапливающийся в металле, оказывает влияние на его электромагнитные и акустические характеристики. По изменению этих характеристик можно судить о степени наводороженности вещества и его водородопроницаемости [1–3].

Акустическая эмиссия (испускание материалом акустических волн) может возникать в результате различных физико-механических процессов, таких как структурные и фазовые превращения в материале, гидродинамические и аэродинамические явления, трение поверхностей твердых тел и др. [4]. Метод АЭ широко используется при исследовании материалов и конструкций, в частности, подвергнутых различным физико-механическим воздействиям. Этот метод позволяет обнаруживать и регистрировать развивающиеся дефекты. Применение АЭ дает возможность выявлять приращения трещины на величину 0.025 mm. В данной работе исследовано изменение АЭ в процессе наводороживания.

Для регистрации акустической эмиссии при наводороживании использовали акустико-эмиссионный прибор АФ-15. В качестве датчика использовался пьезоэлектрический преобразователь ПЭП 113 с диапазоном частот 200–1000 kHz.



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

В качестве информативного параметра выбрали скорость счета \dot{N} , т.е. количество импульсов (осцилляций) АЭ за 1 min. Экспериментальные точки на приведенных ниже графиках получены усреднением 10 значений скорости счета \dot{N} , полученных в течение 10 min. АЭ исследовали на плоских малоуглеродистых стальных образцах стали ВСтЗсп размером $5 \times 20 \times 120$ mm для отожженной и $5 \times 20 \times 90$ mm для закаленной структур. Наводороживание проводили в 1N растворе H_2SO_4 , с добавлением 1.5g на 1L электролита тиомочевины (стимулятора наводороживания). Регистрация АЭ производилась непосредственно в процессе наводороживания на образцах, находящихся в электролите. На рисунке приведены типичные экспериментальные кривые зависимости скорости счета \dot{N} от времени наводороживания, полученные при плотности катодного тока 10 mA/cm^2 и уровне дискриминации 8 dB. Несмотря на большой разброс значений скорости счета для образцов с одинаковой термообработкой (кривые 1, 2 и 3, 4), в результате многократных экспериментов были установлены следующие закономерности:

1) величина скорости счета на отожженных образцах, как правило, ниже, чем на закаленных;

2) в начальный момент наводороживания \dot{N} растет, затем выходит на максимальное значение и падает;

3) спад \dot{N} происходит намного медленнее, чем его рост;

4) максимальная величина скорости счета для отожженных стальных образцов наступает за 100–200 min, а для закаленных за 300–400 минут.

Большая величина скорости счета и суммарного счета закаленного образца, видимо, связана с особенностями напряженно-деформированного состояния и меньшей степенью затухания акустических импульсов в металле после закалки.

При уровнях дискриминации сигналов АЭ, равных 6, 8, 10, 12 dB, кривые скорости счета качественно повторяют друг друга. При больших уровнях дискриминации (16, 20 dB), когда \dot{N} не превышала 2000 imp/min, наблюдается большой разброс величины скорости счета в пределах времени измерения 10 значений \dot{N} , необходимых для усреднения. В этом случае кривые качественно не совпадают. Для уровней дискриминации 6, 8, 10, 12 dB разброс в значениях, как правило, был невелик и параметры скорости счета и суммарного счета усреднялись с ошибкой, не превышающей 1%.

При анализе полученных результатов необходимо учитывать то, что на акустическую эмиссию при электролитическом наводороживании влияет много факторов. Основные из них:

— выделение пузырьков (газообразный водород) на поверхности катода и их „схлопывание“;

— коррозионное разрушение образца;

— накопление водорода в порах кристаллической решетки;

— сегрегация водорода у дислокаций, скоплений вакансий;

— образование трещин по границам зерен из-за большой концентрации водорода;

— образование и раскрытие коллекторов, заполненных водородом, являющееся причиной возникновения блистеринга;

— перемещение дислокаций под действием неоднородных внутренних напряжений, вызванных водородом.

Для определения влияния водорода, выделяющегося в виде пузырьков, на АЭ использовали пластину из стекла того же размера, что и стальной образец. Стеклаянная пластина находилась в электролите на расстоянии 2 см от образца-катода и служила приемником акустических импульсов, возникающих в результате выделения пузырьков водорода

на стальном катоде. Интенсивность сигналов АЭ от выделяющихся пузырьков водорода и их схлопывания, улавливаемая стеклянной пластиной, оказалась на несколько порядков меньше, чем общее значение АЭ на образце. Этот факт позволяет считать, что выделение пузырьков на поверхности катода и их схлопывание не вносит значительного вклада в величину АЭ.

Одним из других возможных факторов, влияющих на АЭ, является коррозия образца. Однако при визуальном осмотре наводороженных образцов характерных следов коррозии незамечено. В то же время воздействие водорода на структуру стали при электролитическом наводороживании легко обнаруживается визуально. На поверхности стальных образцов с отожженной структурой имелись многочисленные дефекты типа вздутий (блистеринг), размеры которых достигали нескольких миллиметров. Наводороженная поверхность закаленных стальных образцов таких вздутий не имела, но были отмечены немногочисленные поверхностные короткие, прямые и полукруглые трещины. Металлографическим анализом наводороженных отожженных образцов выявлены крупные трещины, распространяющиеся по границам зерен от неметаллических включений до поверхности образца.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что основной причиной возникновения АЭ при наводороживании является водород, проникающий в глубь металла. Атомарный водород может накапливаться в порах кристаллической решетки, что приводит к упругой деформации кристалла, вклад которой в общую АЭ незначителен [4]. Молизация атомарного водорода в несплошностях ведет к накоплению молекулярного водорода в макродефектах, создавая в них огромные давления. В результате возникают газовые коллекторы, заполненные молекулярным водородом под большим давлением. По этой причине в образце возникают неоднородные внутренние напряжения, приводящие к микропластической деформации образца [5].

Пластическое течение при наводороживании происходит посредством образования и движения дислокационноподобных дефектов. Поэтому в основе возникновения и изменения АЭ при электролитическом наводороживании будут лежать возможные дислокационные механизмы АЭ: перемещение дислокации по линии скольжения, процессы прорыва движущейся дислокацией препятствий в виде дислокационных скоплений, неоднородностей различного типа и границ зерен.

Полученные экспериментальные результаты изменения АЭ (см. рисунок) при электролитическом наводороживании стальных образцов

могут быть объяснены следующим образом: стадия роста скорости счета и выход \dot{N} на максимальное значение характеризуются зарождением и развитием локализованных зон микропластической деформации, возникающих в результате накопления молекулярного водорода в макродефектах, а также образованием и развитием трещин, пустот и неоднородностей различного типа; медленный спад \dot{N} происходит из-за постепенного насыщения приповерхностной зоны металла водородом и замедления диффузии водорода в глубь металла, что приводит к снижению интенсивности процессов микропластической деформации, прекращению дефектообразования и постепенной релаксации внутренних напряжений в металле.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изменение скорости счета акустических импульсов однозначно связано с длительностью катодного наводороживания стали ВСтЗсп и проходит через три стадии: рост, насыщение и спад. Из рассмотренных причин возникновения АЭ основной вклад в скорость счета \dot{N} вносят лишь факторы, связанные с водородом, проникающим в металл.

Список литературы

- [1] Гельд П.В., Рябов Р.А., Мохрачев Л.П. Водород и физические свойства металлов и сплавов. М.: Наука, 1985. С. 155–209.
- [2] Бурнышев И.М., Валиахметова О.М., Лыс В.Ф. // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 7. С. 14.
- [3] Бурнышев И.М., Абрамов К.А., Лыс В.Ф. // Наука и технологии. Труды XXVII российской школы, посвященной 150-летию К.Э. Циолковского, 100-летию С.П. Королева и 60-летию Государственного ракетного центра „КБ имени академика В.П. Макеева“. М.: РАН, 2007. С. 416–421.
- [4] Семашко Н.А., Шпорт В.И., Марьин Б.Н. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении. М.: Машиностроение, 2002. С. 8.
- [5] Сивак Л.В., Хоник В.А. // ЖТФ. 1997. Т. 67. В. 10. С. 35–40.