

05;08

Акустическая добротность наводороженных малоуглеродистых сталей

© И.Н. Бурнышев, О.М. Валиахметова, В.Ф. Лыс

Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск
E-mail: lfp@fti.udm.ru

Поступило в Редакцию 15 июля 2004 г.

В окончательной редакции 19 ноября 2004 г.

Рассмотрено влияние электролитического наводороживания на акустическую добротность малоуглеродистых сталей. Показано, что с увеличением продолжительности наводороживания добротность уменьшается, при этом степень снижения добротности зависит от структурного состояния стали. Изменение добротности носит обратимый характер, т.е. при последующем обезводороживании добротность принимает значения, близкие к исходным (характерным для ненаводороженного металла).

При изучении поведения акустической эмиссии (АЭ) в наводороженных трубных сталях при испытаниях на изгиб было установлено, что уровень АЭ снижается в несколько раз [1]. Причинами этого явления могут быть: во-первых, снижение мощности источников акустической эмиссии под действием водорода, во-вторых, затухание сигналов АЭ из-за ухудшения акустической добротности наводороженной стали. В настоящей работе изучено изменение акустической добротности стали 20 в зависимости от структурного состояния металла и плотности катодного тока при электролитическом наводороживании. Испытания проводили на специально разработанной установке [2]. Для измерения добротности использован метод, основанный на резонансе образца исследуемого материала в ультразвуковом диапазоне частот. Для возбуждения ультразвуковых колебаний использован электромагнитно-акустический метод.

К настоящему времени в научной литературе имеется достаточно обширный материал, касающийся вопроса влияния водорода на внутреннее трение металлов. Однако большинство данных относятся либо

к испытаниям на низких частотах, либо к испытаниям однофазных металлов или сплавов, чаще всего феррита, в том числе и легированного, при температурах ниже комнатных [3]. В данной работе испытания проводились при комнатной температуре на образцах цилиндрической формы длиной 100 мм и диаметром 5.6 мм. Резонансная частота для таких образцов равнялась 26 кГц. В качестве объекта исследования выбрана сталь 20 с различным структурным состоянием: исходным (состояние поставки прутка), закаленным, закаленным и отпущенным при различных температурах. С целью изучения влияния количества водорода на акустическую добротность катодное наводороживание проводили при различных плотностях катодного тока. Наводороживающей средой служит 0.1 нормальный раствор серной кислоты с добавкой $1.5 \text{ g} \cdot 1^{-1}$ стимулятора наводороживания — тиомочевины.

В работе [4] нами было исследовано влияние водорода на акустическую добротность стали 20, наводороженной при плотности тока $j = 5 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$. Ниже описаны дальнейшие исследования поведения акустической добротности образцов в процессе наводороживания и обезводороживания. Зависимости акустической добротности от структурного состояния образцов, наводороженных при различных плотностях катодного тока, оказались идентичны зависимостям, полученным после наводороживания при плотности тока $5 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$. Максимальное затухание ультразвуковых колебаний (УЗК) отмечается на образцах после закалки и низкого отпуска (200°C) независимо от плотности тока. В образцах с исходной структурой изменения акустической добротности в результате наводороживания практически не происходило. С повышением температуры отпуска добротность ненаводороженных образцов уменьшается, эта тенденция сохраняется и после наводороживания, при этом вклад водорода в затухание колебаний уменьшается с повышением температуры отпуска (рис. 1). Зависимость изменения добротности $\delta Q = Q_0 - Q_H$ (где Q_0 и Q_H — добротности соответственно ненаводороженного и наводороженного в течение 6 часов образцов) от плотности тока имеет максимум, соответствующий плотности тока $5\text{--}10 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$, при увеличении плотности тока выше этих значений заметна тенденция к уменьшению значения δQ (рис. 2). В научной литературе часто принимается, что количество водорода, поглощаемое металлом при электролитическом наводороживании, пропорционально \sqrt{j} . Если допускать, что степень затухания колебаний пропорциональна количеству поглощенного водорода, то результаты проведенных

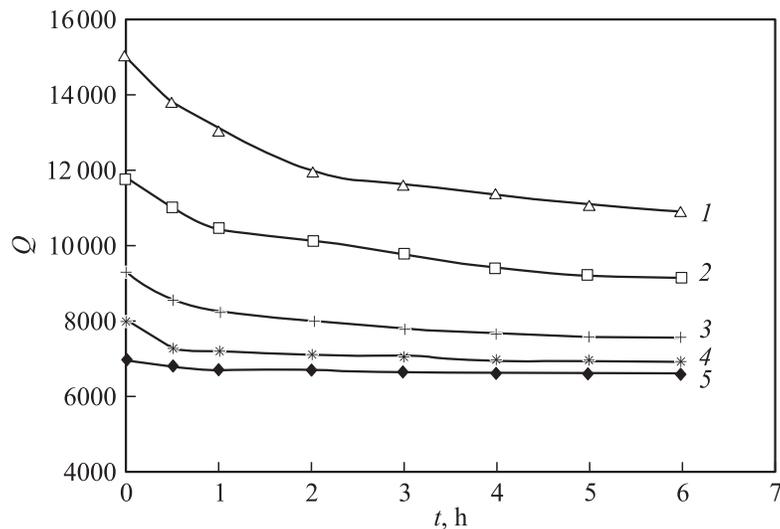


Рис. 1. Кинетика наводороживания при плотности тока 10 mA/cm^2 образцов: 1 — после закалки и отпуска при 200°C ; 2 — после закалки; 3 — после закалки и отпуска при 300°C ; 4 — после закалки и отпуска при 400°C ; 5 — в исходном состоянии (Q — добротность).

исследований показывают, что утверждение о пропорциональности количества водорода в металле \sqrt{j} справедливо лишь в области малых плотностей катодных токов. Для объяснения поведения δQ в области больших плотностей токов можно привлечь две версии: первая состоит в том, что увеличение плотности тока выше $10 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ не приводит к увеличению количества водорода в металле; а вторая состоит в том, что имеется некая критическая величина содержания водорода в стали, выше которой он уже не влияет на затухание, т.е. эта часть водорода, превышающая критическую, находится в структуре металла в порах и трещинах, не влияя на движение дислокаций, которое является одним из механизмов снижения добротности системы.

При обезводороживании, заключающемся в выдержке при комнатной температуре предварительно наводороженных образцов, добротность стремится восстановиться до исходного значения (рис. 3). Наиболее интенсивное повышение добротности происходит в первые

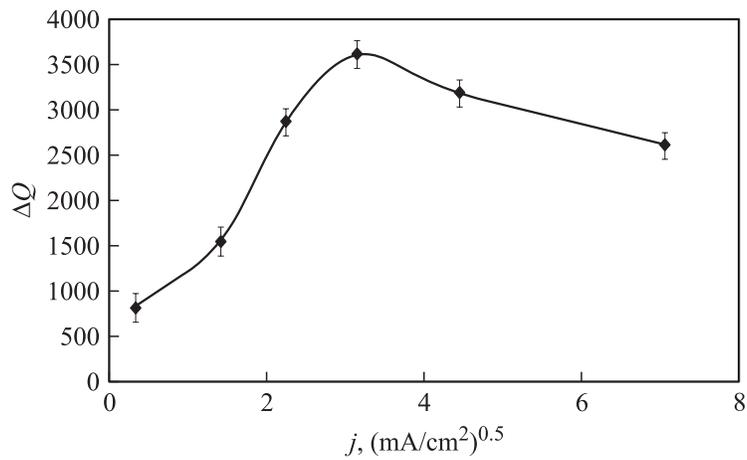


Рис. 2. Зависимость изменения добротности от плотности тока $j^{0.5}$.

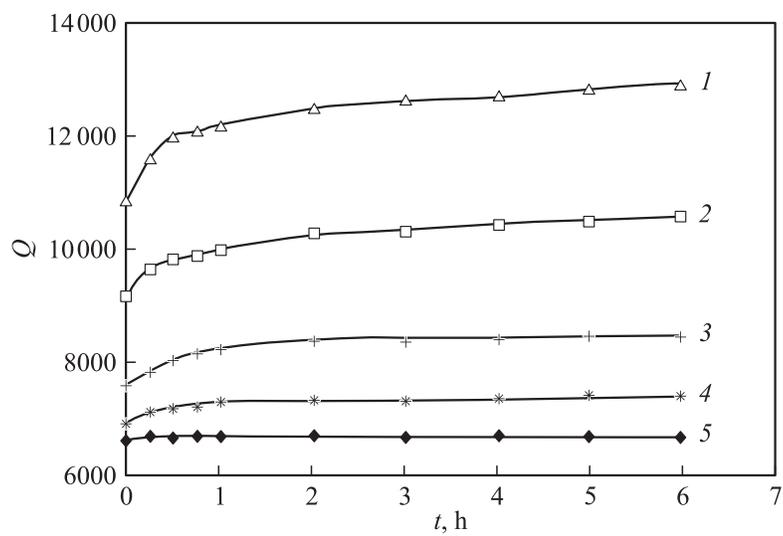


Рис. 3. Кинетика обезводороживания образцов (обозначения см. на рис. 1).

часы обезводороживания. Скорость выделения водорода (как и скорость наводороживания) на начальном этапе зависит от структурного состояния образца. Наибольшее повышение Q зафиксировано на образцах со структурой после закалки и последующего отпуска при 200°С, т.е. тогда, когда наблюдалось максимальное снижение добротности при наводороживании. Постепенно темпы восстановления добротности снижаются. Однако полного восстановления Q после обезводороживания в течение 20 часов не происходило. Наибольшее несоответствие между исходной добротностью и таковой после обезводороживания отмечается на образце с максимальным затуханием, т.е. закаленном и отпущенном при 200°С. Увеличение времени обезводороживания приводило к уменьшению этого несоответствия, но даже обезводороживание в течение 140 h не приводило к полному восстановлению добротности. Причиной такого явления может быть остаточный водород в стали, который находится в водородных ловушках в состоянии равновесия с фазовыми составляющими стали, и требуются длительные выдержки для полной его эвакуации из металла.

Полученные результаты по затуханию колебаний в малоуглеродистых сталях могут быть объяснены на основе двух механизмов: рассеяния на дислокациях, являющихся ловушками для водорода, и рассеяния за счет сил трения, возникающих при перемещении атомов водорода в ультразвуковом поле. Выделить в настоящее время вклад каждого механизма в процесс затухания затруднительно.

Работа выполняется при поддержке РФФИ (гранты 01–01–96436 и 04–01–96020).

Список литературы

- [1] Бурнышев И.Н., Печина Е.А. // Вестн. Тамбовского университета. 2000. Т. 5. В. 2, 3. С. 351–354.
- [2] Исследование демпфирующих свойств металлов электромагнитно-акустическим методом / Махнев Е.С., Бурнышев И.Н., Глухов Н.А. и др. Препринт ИПМ УрО РАН. Ижевск, 1999. 37 с.
- [3] Гельд П.В., Рябов Р.А., Кодес Е.С. Водород и несовершенства структуры металла. М.: Металлургия, 1979. 221 с.
- [4] Бурнышев И.Н., Валиахметова О.М., Глухов Н.А. и др. // Тез. докл. XVI Уральской Школы металловедов-термистов. Уфа, 2002. С. 182.