

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.791.05:620.179

Н. В. Абабков, А. Н. Смирнов, А. И. Копытов, А. А. Трубин

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА БАРАБАНА КОТЛА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПО КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЕ МЕТАЛЛА

На данный момент в России на тепловых электростанциях эксплуатируется около 50 котлоагрегатов типа ПК-10. При этом срок эксплуатации некоторых из них превысил 60 лет.

В связи с тем, что большая часть рассматриваемого оборудования выработала свой парковый ресурс и нуждается в частых проверках и осмотрах, то при обеспечении безопасной эксплуатации барабанов котлов возникает ряд проблем, и имеют место частые выходы их из строя, что приводит к техногенным катастрофам и человеческим жертвам.

Весьма актуальным становится вопрос разработки новых эффективных методов оценки ресурса элементов технических устройств. И все более широкое распространение получает концепция, основанная на «прогнозировании и предупреждении» вместо используемой концепции «обнаружение и устранение» [1].

Современные методы оценки нацелены, главным образом, на выявление уже существующих дефектов, и не позволяют, в необходимой мере, определять характер изменения структурно-

фазового состояния металла в процессе длительной эксплуатации. Перспективными в этом плане являются магнитные методы, в частности, метод, основанный на измерении коэрцитивной силы, которая

чувствительна к изменениям структурно-фазового состояния длительно-работающего металла. Поэтому целесообразно разрабатывать критерии, на основе которых будет осуществляться оценка состояния металла.

Исходя из вышесказанного, целью работы является изучение возможности использования магнитного метода, основанного на измерении коэрцитивной силы, для оценки состояния металла барабанов котлов высокого давления.

В качестве объекта исследований был выбран большой барабан котла №5 тип ПК-10 на ОАО «ЮК ГРЭС», где исследовали 13 рядов водоопускных отверстий (рис.1). Ремонт барабана производился летом 2010 года. Барабан котла имеет размеры $\varnothing 1490 \times 95$ мм, давление – 110 кгс/см², температура – 316 °C, дата изготовления и пуска 1953 г., число пусков составило 808, наработка 346560 часов.

Материал, из которого изготовлен барабан – специальная сталь 22К. Химический состав представлен в табл. 1.

Ремонт отверстий проводился по технологии, подробно описанной в [2,3]. После проведения сварочных работ был произведен контроль традиционными методами. Кроме того, были проведены



Рис. 1. Водоопускные отверстия после ремонтно-восстановленных работ

измерения твердости, значения которой оказались примерно одинаковы во всех зонах - наплавленный металл - 160-170, ЗТВ - 175-190, основной металл - 175-190 НВ. При этом значения твердости металла основных элементов барабана из стали 22К согласно [2] должны находиться в пределах от 120 до 180 НВ.

Таблица 1. Химический состав стали 22К,
ГОСТ 4543-57

C, %	Si, %	Mn, %	Mo, %	S, %	P, %
0,13-0,19	0,17-0,37	0,4-0,7	0,4-0,55	Не более 0,035	Не более 0,035

Для измерения магнитной характеристики использовался структуроскоп 1 КРМ-Ц-К2М (рис. 2), основанный на измерении коэрцитивной силы по измеряемому току компенсации остаточной магнитной индукции в замкнутой магнитной цепи, составленной из магнитопровода, преобразователя (рис. 3) и стандартного образца или контролируемого изделия. Результаты измерений по беспроводной связи передаются в карманный персональный компьютер (КПК) 3, который позволяет получать, обрабатывать и анализировать результаты измерений на объекте исследования в режиме "онлайн". Такой подход позволяет в процессе контроля обратить внимание на детали, нуждающиеся в особо тщательной проверке.



Рис. 2. Структуроскоп магнитный КРМ-Ц-К2М

Цикл измерений включает этапы:

- магнитная подготовка (продолжительность 3 сек);
- компенсация остаточной намагниченности (3 сек);
- вычисление коэрцитивной силы (1-2 сек);
- индикация результата измерения.

В процессе магнитной подготовки область исследуемого изделия между полюсными наконечниками магнитной системы преобразователя периодически намагничивается до насыщения импульсами тока с амплитудой не менее 2,0 А. Затем осуществляется автоматическая компенсация поля остаточной намагниченности. По величине тока компенсации магнитного поля автоматически вычисляется значение коэрцитивной силы. После чего происходит включение цифровой индикации.

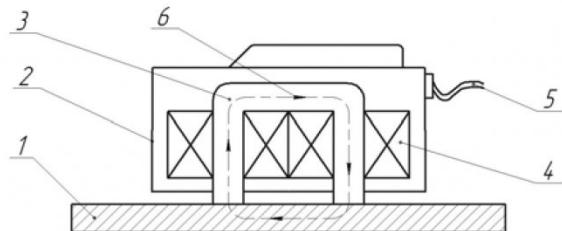


Рис. 3. Схема преобразователя (датчика) для измерения коэрцитивной силы

Преобразователь представляет собой магнитную систему, которая замыкается контролируемым изделием 1 и который состоит из корпуса 2, сердечника 3, катушки 4, магнитопровода 5. В качестве нуль-индикатора индукции магнитного поля выбран датчик Холла. Магнитопровод выполнен из магнитомягкого материала. На магнитопроводе размещены катушки для намагничивания контролируемого изделия и компенсации поля остаточной индукции.

В приборе реализован компенсационный метод измерения. При нажатии кнопки "Измерение" начинается первый подцикл измерения (намагничивание). Блок управления через коммутатор 1 подключает к преобразователю блок намагничивающих импульсов. Через катушки ключ подает ток намагничивания. При этом в магнитной системе создается поле напряженностью, достаточной для промагничивания, как правило до насыщения, контролируемого образца.

По окончании намагничивания начинается второй подцикл измерения (компенсация). Блок управления подает соответствующий сигнал на коммутатор, который подключает катушки к схеме компенсации. Схема компенсации представляет собой цепь с отрицательной обратной связью и состоит из нуль-индикатора магнитного поля (датчика Холла), измерительной катушки, усилителя и источника тока. Ток, протекающий по обмотке размагничивания, компенсирует до нуля магнитный поток остаточной намагниченности исследуемого изделия, что контролируется по нуль-индикатору магнитного поля. Фиксируемое при этом значение тока в обмотке размагничивания пропорционально коэрцитивной силе контролируемого участка материала изделия. Т.о. информационным параметром является ток в катушке компенсации. Его значение подается на вход АЦП. Цифровая индикация производится в единицах А/см.

Ранее авторами [4,5] установлено, что величина коэрцитивной силы определяется механизмом перемагничивания и является структурно-чувствительной характеристикой материала. На H_c влияют суммарная удельная поверхность зерен, остаточные механические напряжения, дефектность материала. Чем больше дефектность материала и меньше однородность структуры, тем больше H_c , и соответственно меньше магнитная проницаемость. Это связано с тем, что наличие в

образцах примесей, дефектов кристаллической решетки, различного рода неоднородностей затрудняет движение границ магнитных доменов. На структуру материала влияют механическая и термическая обработка. В материале, подвергнутом закалке или холодной деформации, образуется мелкозернистая структура, которая обладает большей суммарной удельной поверхностью зерен и соответственно увеличивается H_c . В случае мелких однодоменных областей H_c особенно велика потому, что миграция доменных границ не участвует в магнитном упорядочении структуры, которое осуществляется только поворотом вектора намагниченности частицы как целого, что требует большой энергии и соответственно больших полей. В материале, подвергнутом отжигу, образуется крупнозернистая структура с небольшой суммарной удельной поверхностью зерен и соответственно величина H_c уменьшается. Чем больше размер зерна и более совершенна структура кристаллической решетки, тем меньше H_c , а материал легче намагничивается и перемагничивается.

Ряд авторов [6,7] показали, что как структурно чувствительная характеристика, коэрцитивная сила чаще всего используется для неразрушающего контроля качества термической обработки многих изделий из ферромагнитных сталей и сплавов.

Измерения коэрцитивной силы (рис. 4) проводились как в основном металле барабана, отработавшего определенный срок 2, так и в наплавленном металле, находящимся в исходном состоянии 1.

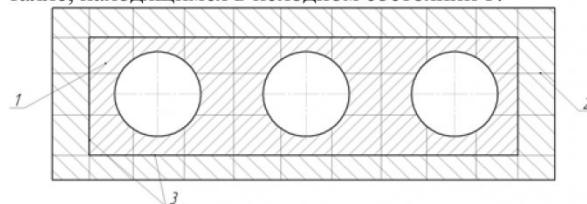


Рис. 4. Схема измерений коэрцитивной силы в зонах водоопускных отверстий
1 – наплавленный металл; 2 – основной ме-

талл; 3 – линия сплавления (зона термического влияния)

Для получения достоверных результатов датчик устанавливался на каждом участке не менее 12 раз. После установки датчика и получения устойчивых значений запускался структуроскоп. На панели отображались значения коэрцитивной силы в зоне измерений. После записи результата измерений во временный буфер датчик перемещали в соседнюю зону, и производилась запись следующего измеренного значения. В табл. 2 представлены результаты измерений коэрцитивной силы. Закрашенная серым цветом – это область наплавленного металла.

Таблица 2. Значения коэрцитивной силы

2,	2,	2,	2,	2,	2,	2,	2,	2,	2,	2,	2,
1	3	2	4	3	5	4	1	2	3	1	
2,	3,	4,	4,	4,	4,	4,	4,	4,	4,	2,	
3	9	3	6	4	5	2	8	6	0	3	
2,	5,	0	6,	5,	0	5,	5,	0	5,	2,	
5	2	0	0	7	0	5	7	0	3	5	
2,	5,	4,	4,	4,	4,	4,	4,	5,	4,	4,	2,
1	1	9	7	8	6	9	0	7	1	4	
2,	2,	2,	2,	2,	2,	2,	2,	2,	2,	2,	
2	4	3	4	2	4	5	2	4	2	3	

На рис. 5 отображен характер изменения твердости и коэрцитивной силы от основного к наплавленному металлу. Графики построены в пределах минимального и максимального значений текущих замеров характеристик.

Из табл. 2 и рис. 5 видно, что для основного металла значения коэрцитивной силы составляют от 2,1 до 2,4 А/см, а переход через линию сплавления к зоне наплавленного металла характеризуется возрастанием величины коэрцитивной силы до 6,0 А/см. Такое различие в значениях можно объяснить наличием различных структур вследствие проведения наплавочных работ. Эта гипотеза подтверждается результатами измерения твердости. Что позволяет утверждать, что коэрцитивная

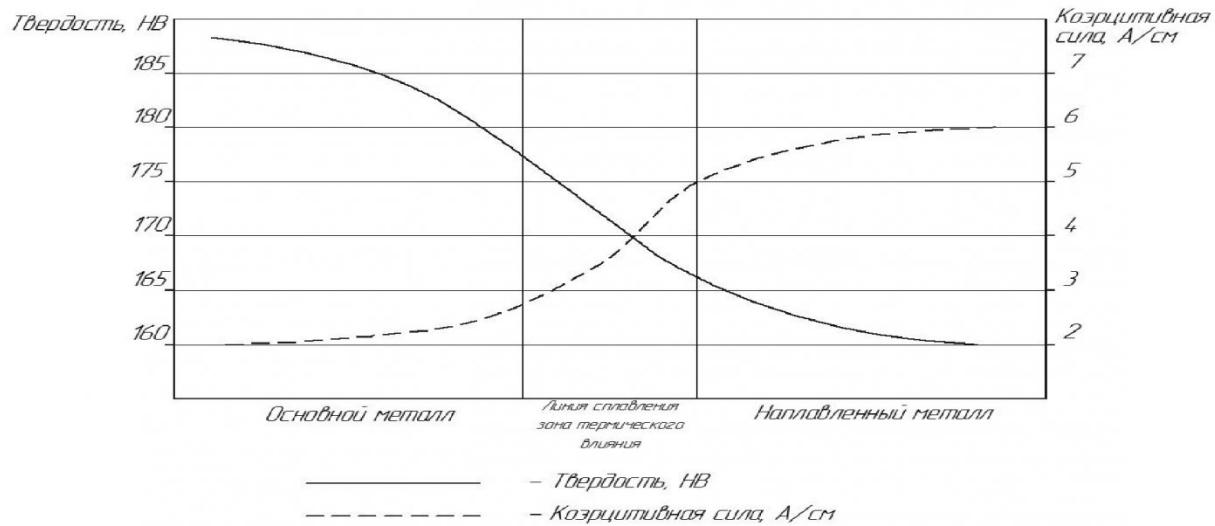


Рис. 5. Характер изменения твердости и коэрцитивной силы от основного к наплавленному металлу

сила является чувствительной характеристикой определения состояния металла барабанов котлов высокого давления. А сам метод целесообразно использовать при диагностировании рассматриваемых технических устройств после дополнительных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФЦП, ГК - 02.740.11.0033

ВЫВОДЫ

1. Для контроля качества ремонта барабана котла высокого давления №5 ЮК ГРЭС был применен магнитный метод неразрушающего контроля, основанный на измерении коэрцитивной силы.

2. Экспериментально установлено, что в основном металле значения коэрцитивной силы из-

меняются от 2,1 до 2,4 А/см, при твердости 160-170 НВ. Переход через линию сплавления к зоне наплавленного металла характеризуется возрастанием величины коэрцитивной силы до 6,0 А/см, при твердости 175-190, что можно объяснить различным структурно-фазовым состоянием исследованного металла в результате проведения наплавочных работ.

3. Показано, что коэрцитивная сила является чувствительной характеристикой для определения структурного состояния наплавленного металла барабанов котлов высокого давления. А сам метод после дополнительных исследований и разработки методики целесообразно использовать при диагностировании технических устройств опасных производственных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Махненко, В. И. Риск-анализ как средство формализации принятия решений о внеплановом ремонте сварных соединений / В. И. Махненко, Е. А. Великоиваненко, О. И. Олейник // Автоматическая сварка. – 2008. – №5. – С. 5-10.
2. СО 153-34.26.608-2003. Инструкция по обследованию и технологии ремонта барабанов котлов высокого давления.
3. Смирнов, А. Н. Анализ проблем, связанных с безопасной эксплуатацией элементов энергетического машиностроения / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков // Вестн. Кузбасского гос. техн. унив.. – 2010. – №2.– С. 12-17.
4. Теплинский, Ю. А. Оценка напряженного состояния стальных трубопроводов по анизотропии магнитных свойств металла / Ю. А. Теплинский, Р. В. Агиней, А. С. Кузьбожев // Контроль. Диагностика. – 2004. – №8. – С. 22 – 27.
5. Агиней, Р.В. Особенности контроля технического состояния газопроводов по коэрцитивной силе металла / Р. В. Агиней, А. С. Кузьбожев // Контроль. Диагностика. – 2006. – №1. – С. 42 – 45.
6. Агиней, Р.В. Применение коэрцитиметрического метода для оценки микроструктуры стали 17Г1С / Р.В. Агиней, Ю.А. Теплинский, А.С. Кузьбожев // Контроль. Диагностика. – 2005. – №1. – С. 23 – 28.
7. Агиней, Р.В. Учет состояния материала конструкции при определении механических напряжений коэрцитиметрическим методом / Р.В. Агиней, А.С. Кузьбожев, Ю.А. Теплинский, И.Н. Андронов // Контроль. Диагностика. – 2005. – №5. – С. 13 – 16.

□ Авторы статьи:

Абабков Николай Викторович, инж. каф. технологий машиностроения, аспирант КузГТУ, e-mail: n.ababkov@rambler.ru	Смирнов Александр Николаевич, докт. техн. наук, проф. каф. технологии маши- ностроения КузГТУ, тел. (+7-384-2) 36-45-27
---	--

Копытов Александр Иванович, докт. техн. наук, проф. каф. строительства подземных сооружений и шахт КузГТУ, тел. +7-903-907-70-75;

Трубин Александр Агафонович, начальник лаборатории контроля металлов ОАО «ЮК ГРЭС», e-mail: Aleksandr.Trubin@meczel.com

УДК 546.083: 539.389.1

Ю. А. Фадеев, Н. И. Крумликова

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ГАЛОГЕНИДОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

В последние десятилетия произошли существенные изменения в области физики пластичности и прочности твердых тел. Последовательное развитие теоретических представлений в совокупности с современными экспериментальными мето-

дами позволило изменить характер исследований. Произошел переход от сугубо описательного изучения свойств объектов к исследованиям, основанных на фундаментальных теоретических разработках.