

УДК 621. 114. 39

Яковенко В. В., Прядченко Д. В.

ПРАКТИКА ОБНАРУЖЕНИЯ МЕЖКРИСТАЛЛИТНЫХ ТРЕЩИН И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ ШВОВ БАРАБАНОВ И КОЛЛЕКТОРОВ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Контроль усталостного состояния металла барабанов и коллекторов паровых котлов высокого давления и их элементов на уровне массовой экспертизы оборудования в настоящее время реально не выполняется. Главная причина – отсутствие эффективных методов и приборов, доступных рядовому эксперту. Не располагая такими данными, в сложившейся на сегодня системе технического диагностирования оперируют преимущественно информацией и понятиями дефектоскопии и механики разрушений – выявляемость дефектов, их количеством, скоростью развития трещин и т. д. Однако большую часть срока службы правильно разработанная, изготовленная и эксплуатируемая котельная установка не имеет усталостных дефектов, хотя зоны будущих возможных разрушений в ней нередко начинают формироваться и развиваться уже на стадии её изготовления и монтажа. Местонахождение таких зон логически обусловлено самой конструкцией и потому хорошо известно, однако сейчас нет инструмента слежения за их усталостным состоянием до тех пор, пока в них не появятся дефекты [1]. Таким образом, большую часть срока службы котельного оборудования с момента пуска его в эксплуатацию практическая экспертиза не следит за реальным состоянием металла, так как не имеет возможности контролировать накопление усталостных повреждений на микроуровне. Надёжный диагностический прогноз работоспособности на любой стадии срока службы при такой неполноте данных невозможен. Подтверждением служит множество аварий различных агрегатов паровых котлов, случившихся зачастую после очередной и вполне благополучной плановой дефектоскопии.

Характерными особенностями этих повреждений являются межкристаллитное расположение начальных трещин и ответвлений от них (трещины проходят по граням зёрен – рис. 1), отсутствие деформаций металла в зоне образования трещин, сохранение металлом механических свойств даже в непосредственной близости от места разрушения.

Специальными исследованиями и эксплуатационными наблюдениями установлено, что хрупкие разрушения в элементах паровых котлов высокого давления являются следствием одновременного воздействия на металл повышенных местных напряжений, близких к пределу текучести или превышающих его, температуры и давления больших значений, и щелочно-агрессивной котловой воды [2, 3].

Целью данного исследования является подтверждение устойчивости коррелирующих связей между физико-механическими свойствами металла теплоэнергетического оборудования и его магнитными свойствами, а также информативности магнитных методов диагностики для контроля металла и сварных швов барабанов и коллекторов паровых котлов высокого давления.

Механические напряжения слагаются из внутренних напряжений, оставшихся в металле после клёпки, вальцовки или сварки, напряжений от давления пара, а также дополнительных термических напряжений, которые при известных условиях могут достигать весьма значительной величины.

Дополнительные механические напряжения термического происхождения возникают главным образом при резко переменных условиях работы котлов (значительные колебания нагрузок и параметров пара, форсированные растопки и расхолаживания паровых котлов), относительно низкой температуре питательной воды и неправильном вводе и распределении её в барабане и коллекторе, а также при отсутствии возможности свободного расширения при нагревании барабанов, коллекторов и трубных контуров [4].

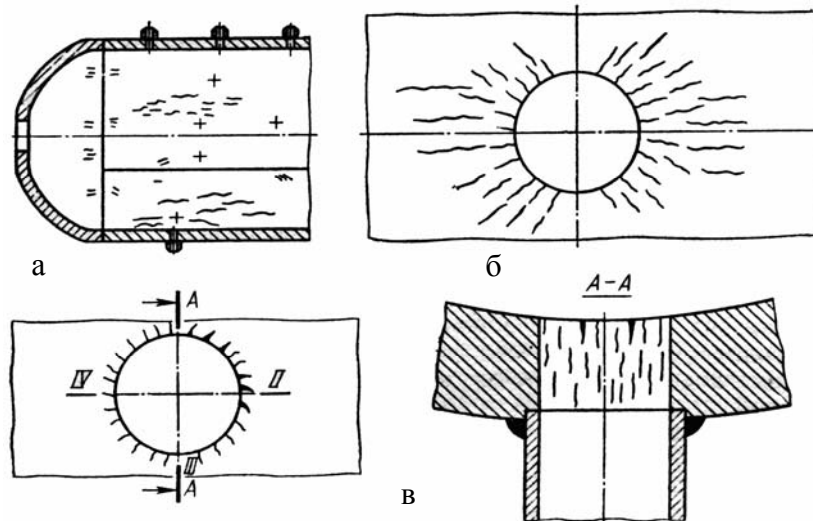


Рис. 1. Расположение трещин в барабанах и коллекторах паровых котлов:
 а – на внутренней поверхности корпуса барабана; б – вокруг трубного отверстия на внешней поверхности коллектора; в – на цилиндрической поверхности трубного отверстия

Сварные соединения являются осложнённым местом конструкции. Поэтому проблема контроля усталостного состояния основного металла в полной мере сохраняется и в диагностике сварного шва, только с наращиванием трудностей. При сложившейся на сегодня система контроля шва вначале приступают к поиску дефектов собственно сварки, затем – дефектов шва, но уже возникших в процессе эксплуатации. Между этими стадиями – белое пятно в экспертизе. Не секрет, что вероятность обнаружения дефектов в основном металле, например, при ручном ультразвуковом (УЗ) контроле в условиях эксплуатации находится на уровне 0,5. для сварных швов этот показатель не лучше, так как выявляемость дефектов в шве ещё хуже [5]. При этом дефектоскописты настаивают, что бы один и тот же шов всегда контролировал один и тот же специалист и одним и тем же прибором. Только тогда, по их мнению, будет обеспечена достоверность и воспроизводимость. Неполнота информационной базы для технического диагностирования в сочетании с такой вероятностной основой и субъективизмом, не позволяет получать достоверную оценку текущего состояния как сварных соединений, так и содержащей их металлоконструкции в целом.

Опыт технического диагностирования металлоконструкций многих типов, в том числе и котельных агрегатов, в разных отраслях техники свидетельствует, что такая магнитная характеристика металла, как коэрцитивная сила (H_c), является эффективным параметром контроля накопления повреждённости на микроуровне (т. е. в ещё бездефектном для дефектоскопии состоянии металла). Для металлоконструкции, работающей в режиме малоциклового усталости (МЦУ), величина H_c возрастает в два-три раза – от H_{c_0} до H_c^B , пока металл проходит путь от нового в состоянии поставки до состояния начала интенсивного дефектообразования. Причём зоны, в которых происходит такое накопление усталостных повреждений, большие, логически predeterminedены, потому легко обнаруживаются. Количественно степень повреждённости контролируется быстро и просто по величине $H_{c_{текущ}}$, а точнее, по степени продвинутости измеренного значения $H_{c_{текущ}}$ от исходной величины H_{c_0} к предельному значению H_c^B [6]. При этом оценка не зависит от того, какой эксперт и каким прибором проводил измерения. Необходимо отметить, что величины H_{c_0} и H_c^B – характерные константы для каждой марки стали, определяемые в процессе стендовых испытаний, а в режиме МЦУ работает абсолютное большинство оборудования, контролируемое технадзором.

Исследование влияния щелочной коррозии и оценка состояния сварных швов производилась на котлах типа Е-40-50ГМ Рубежанского завода ГП ХЗ «Южный», установленных в теплосиловом цехе. Обследование производилось на остановленном котле. Исследования проводились базовым прибором КРМ-Ц (рис. 2), питание которого осуществлялось посредством кабелей удлинителей от внешнего источника.



Рис. 2. Коэрцитиметр КРМ-Ц

Поскольку исследования проводились на остановленном оборудовании, удалось провести исследования структуры металла элементов котла методом реплик, для подтверждения магнитных исследований, путём вырезки образцов и лабораторных исследований на микроскопах МИМ – 7 и МИМ – 8 и фотографировались цифровой фотокамерой с большим разрешением. После механической шлифовки образцы травились в 4 % процентном растворе азотной кислоты в спирте [7]. Исследованию подверглись барабан и водяной питательный коллектор котла, изготовленные из сталей 20К и 20, используемых в котлостроении. Межкристаллитные трещины (рис. 3) были обнаружены в наиболее часто повреждаемой околошовной зоне отходящих труб.



Рис. 3. Межкристаллитные трещины в околошовной зоне

Особенность межкристаллитных трещин состоит в том, что они развиваются незаметно, возникая на поверхности соприкасающихся листов металла – швах, то есть в местах, недоступных осмотру и представляющих неудобства для классических видов диагностики. При внутреннем осмотре парового котла обнаружить хрупкие разрушения трудно и возможно лишь в том случае, когда имеются явно выраженные трещины, то есть на стадии, непосредственно предшествующей аварии.

Межкристаллитные трещины возникают, главным образом, в омываемых водой заклёпочных (рис. 4), вальцовочных (рис. 5) и околошовной областях сварных соединений паровых котлов, работающих в безнакипном щелочном режиме, и, преимущественно, в местах, где имеет место пропаривание. В водотрубных котлах повреждения чаще всего возникают в нижних барабанах и коллекторах, в местах сопряжения продольных и поперечных заклёпочных и сварных швов.

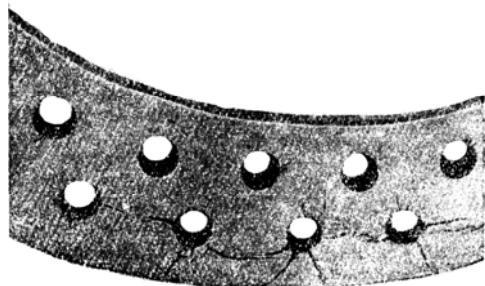


Рис. 4. Трещины между заклепочными отверстиями в воротнике патрубка, соединяющего барабан с камерой котла

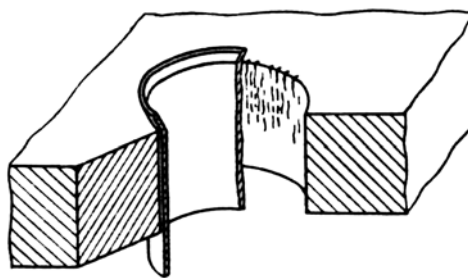


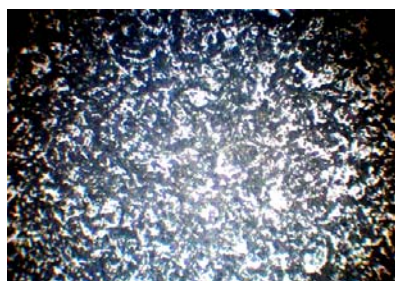
Рис. 5. Расположение трещин в барабане в отверстия под развальцованной трубой

В горизонтальных водотрубных котлах повреждения возникают главным образом в клепаных и сварных швах грязевиков, соединениях опускных труб и камер с барабанами.

В водотрубных котлах межкристаллитные трещины встречаются также в завальцованных концах труб, в теле барабанов и коллекторов около трубных отверстий в околошовной зоне сварных соединений и около вводов в барабан и коллектор рабочей среды с температурой, значительно отличающейся от температуры насыщения.

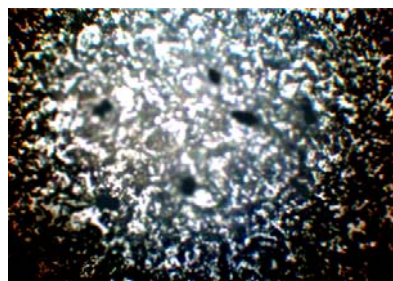
В зоне не подверженной воздействию щелочной коррозии микроструктура металла околошовной зоны имеет вид рис. 6.

Межкристаллитные трещины, зоны усталостных повреждений не были выявлены другими методами дефектоскопии. В ходе исследования металла барабана котла были определены зоны хрупких разрушений, внешне не отличающиеся от остального металла барабана. Лабораторные исследования методом металлографии доказали правильность неразрушающего магнитного метода диагностики рис. 7. На рис. 6–7 (б) хорошо видны межкристаллитные трещины в металле, подверженном усталостным разрушениям.



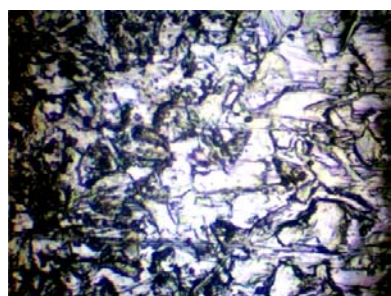
а

× 1000



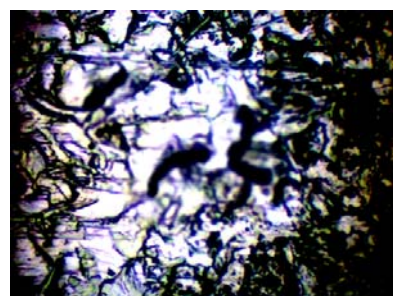
б

Рис. 6. Микроструктура неповреждённой стали (15ХМ) парового коллектора: а – неповреждённый металл; б – металл, подверженный усталостным разрушениям



а

× 1000



б

Рис. 7. Микроструктура металла барабана (сталь 20К) зоны, подверженной усталостным повреждениям

Вырезка и лабораторные исследования образцов из металла барабана и парового коллектора в зоне, не подверженной межкристаллитной коррозии, даёт наглядный пример изменения структуры металла котлоагрегата в процессе эксплуатации от действия температуры, давления, агрессивной среды.

Исследования структуры металла методом реплик коллектора и барабана парового котла подтвердили результаты магнитных исследований и показали, что структура металла в ходе эксплуатации изменилась незначительно, а микроструктура металла барабана из стали 20К трудноотличима от микроструктуры стали, не бывшей в эксплуатации.

ВЫВОДЫ

Была практически доказана высокая степень корреляции физико-механических свойств металла и его магнитной характеристики – коэрцитивной силы.

Высокая степень выявляемости участков, подверженных усталостным повреждениям, определена прибором серии КРМ-Ц, что было подтверждено металлографическим способом.

С помощью коэрцитивной силы прослежены основные состояния металла от нового до образования микротрещин. Никакой другой вид неразрушающего контроля не имеет такой высокой чувствительности к усталостному состоянию металла.

Применительно к сварным соединениям коэрцитиметрия позволяет оценить качество выполненных швов по уровню остаточных напряжений и структурной неоднородности металла.

Измеряемая величина H_c легко выполняется на практике рядовым персоналом при минимальном обучении. Магнитный структуроскоп КРМ-Ц – простой, компактный и прекрасно работает как в цеховых, так и в полевых условиях.

Как вывод о исследовании остановленного котла можно сказать, что решение о выводе его из эксплуатации принималось на основе данных, полученных методами классической дефектоскопии, без учёта физико-механических свойств металла. Данный котёл может работать в облегчённом режиме (уменьшение величины давления, температуры вырабатываемого пара и производительности), в виду всеобщего спада производства.

Магнитный (коэрцитиметрический) метод неразрушающей диагностики необходимо вводить в программу технического диагностирования котельных установок наряду с классическими методами дефектоскопии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов П. А. Предупреждение аварий паровых котлов / П. А. Баранов. – М. : Энергоатомиздат, 1991 г. – 272 с., с ил.
2. Эксплуатационная надёжность объектов котлонадзора : справочное издание / Под ред. П. А. Антикайна, А. К. Зыкова. – М. : Металлургия, 1985. – 328 с., с ил.
3. Аварии на объекте котлонадзора и меры по их предупреждению. Информационное письмо. – М. : Недра, 1985 г. – 175 с. с ил.
4. Котлы малой и средней мощности и топочные устройства. Отраслевой каталог. – М. : НИИЭИНФОРМЭНЕРГОМАШ, 1983 г. – 341 с. с ил.
5. Безлюдько Г. Я. Эксплуатационный контроль усталостного состояния и ресурса металлоконструкций неразрушающим магнитным (коэрцитиметрическим) методом / Г. Я. Безлюдько // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2003. – № 2. – С. 20–26.
6. Безлюдько Г. Я. Практика оценки состояния сварных швов по измерениям магнитной характеристики – коэрцитивной силы металла / Г. Я. Безлюдько // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2004. – № 1. – С. 20–22.
7. Коваленко В. С. Металлографические реактивы / Г. Я. Безлюдько. – [3-е изд. перераб. и доп.]. – М. : Металлургия, 1981. – 120 с.