

Диагностика изношенности оборудования с использованием магнитных и акустических характеристик металла

В.А. Захаров (АО «ВНИИНЕФТЕМАШ»), В.В. Борисенко (НПЦ «КРОПУС»)

Оборудование на установках первичной переработки нефти работает в условиях повышенной коррозионной активности вследствие использования на промыслах относительно новых химических реагентов (так называемых поглотителей сероводорода). Наличие серы в перерабатываемой нефти уже с температуры 350 °С приводит к термическому расщеплению серосодержащих соединений с выделением H₂S. С ростом температуры термический распад охватывает все более сложные и термостойкие сероорганические соединения.

Коррозионное воздействие серосодержащих соединений проявляется в утонении стенок трубопроводов и зависит не только от температуры, но и от скорости движения среды, содержания в ней мелких частиц кокса, вызывающих эрозию. В результате разрушаются и удаляются защитные пленки с поверхности металла, и металл подвергается интенсивному сульфидированию с увеличением скорости высокотемпературной сернистой коррозии [1].

В связи с этим своевременное выявление изношенности технических устройств, работающих в таких условиях и в условиях увеличения межремонтного пробега, – важная задача надежной и безопасной эксплуатации. Обнаружение зон изношенности материалов в условиях эксплуатации можно отслеживать по изменению магнитных параметров структуры, так как именно структура определяет свойства материала [2]. И здесь важно знать начальное состояние – начальную структуру металла. По сути это заявленные изготовителем свойства – эти данные приводятся, например, в паспорте изделия в виде фотографий структуры основного металла и металла сварных соединений.

Среди магнитных характеристик различных материалов выделяется так называемая коэрцитивная сила. Ее измерение отличает высокая точность и достаточная простота, возможность проведения измерений на локальных участках контролируемых изделий, высокая производительность, не требуется применение контактной жидкости. И здесь очень полезным окажется измерение ферритной фазы, также основанное на неразрушающих магнитных методах контроля.

Рассмотрим несколько типовых примеров диагностики оборудования по магнитным и акустическим характеристикам металла.

Диагностика изношенности трансферного трубопровода по магнитным характеристикам металла. В 2015 г. специалистами АО «ВНИИНЕФТЕМАШ» проведено обследование металла сварных соединений трансферного трубопровода «Мазут из печи в колонну» установки АВТ-1. По трубопроводу (сталь 15X5М) подается в колонну нагретый до температуры 400°С мазут с массовой долей серы 2,46 % и сероводорода – 11,7 ppm (мг/кг). Как уже указывалось, наличие указанных примесей при нагреве нефти в печи приводит к термическому

расщеплению серосодержащих соединений и оказывает значительное влияние на структурное состояние и охрупчивание металла.

Для обследования были вырезаны фрагменты трубопровода с кольцевыми сварными соединениями

Анализ химического состава показал, что основной металл – сталь 15X5М, корневой шов выполнен электродами аустенитного класса с Cr-Ni системой легирования (~14 % никеля, ~9 % хрома), заполняющий шов выполнен электродами с химическим составом, близким по составу стали 15X5М.

Исследованиями ряда авторов (ИЭС им. Е.О. Патона) установлено, что аустенитный металл шва для сварного соединения стали 15X5М при температуре эксплуатации 350...450°С должен иметь не менее 19% никеля. Сварка таких разнородных соединений характерна также и тем, что они в подавляющем большинстве случаев отличаются друг от друга коэффициентом линейного расширения. В силу этого сварные соединения остаются напряженными даже после их термообработки. Более того, в разнородных сварных соединениях, подвергнутых термообработке или эксплуатируемых в условиях высоких температур, из-за существенного различия коэффициентов линейного расширения сплавляемых металлов в зоне сплавления создается резкое изменение (скачок) напряжений, нередко даже с переменной знака. Это усугубляет напряженное состояние сварного соединения и особенно зоны сплавления – наиболее слабого участка. Образование в зоне сплавления структурной неоднородности может настолько сильно изменить свойства сварного соединения, что оно преждевременно разрушится. Такое воздействие на металл аустенитных швов обуславливает образование ферромагнитных фаз феррита и мартенсита, наличие которых существенно влияет на работоспособность сварных соединений при эксплуатации, снижая коррозионную стойкость, уменьшая вязкость разрушения и повышая склонность к трещинам. Таким образом появление магнитных свойств у металла аустенитных швов связано в первую очередь со структурой и образованием зон феррита и мартенсита.

В связи с этим проведено обследование металла сварных соединений на отобранных образцах с помощью импульсного микропроцессорного коэрцитиметра КИМ-2 производства НПЦ «Кропус» по методике АО «ВНИИНЕФТЕМАШ» СТО 00220302/67-006–2012. Коэрцитиметрия выполнена по току размагничивания, приведены средние значения 5 замеров в каждой зоне. Ток размагничивания сварного шва (по центру и зоне термического влияния) составил 0,0082...0,0093 А/см; основного металла (слева и справа от сварного шва) – 0,0048...0,0054 А/см.

Анализ результатов показал, что магнитные характеристики основного металла и металла сварных швов (центр шва и зона термического влияния) носят неравномерный характер с разбросом значений в 1,5–2 раза.

На металле сварных швов наблюдается рост коэрцитивной силы, металл становится более магнитно-жестким с недопустимыми значениями коэрцитивной силы.

Кроме того, проводился контроль содержания ферритной фазы в металле швов. В наибольшей степени требованиям такого отвечает вихретоковый метод контроля по СТО 00220302/67-001/1–2012, в том числе по размеру и параметрам датчиков. Для контроля использовали вихретоковый дефектоскоп «Вектор» (НПЦ «Кропус») и специализированные вихретоковые преобразователи, предназначенные для работы по стали, удовлетворяющие требованиям по чистоте и шероховатости поверхности. Контроль сварного соединения проводили в трех зонах:

- выпуклости сварного шва;
- сопряжения сварного шва и основного металла;
- основного металла в пределах зоны термического влияния.

Установлено, что в сварных соединениях представленных образцов наблюдается высокая неоднородность распределения ферритной фазы по всем трем зонам; по зоне сварного шва неоднородность превышает регламентированные 10 %.

В ходе дальнейших работ при вырезке образцов для механических испытаний и металлографии металл шва полностью высыпался.

Исследованиями структуры установлено равномерное выделение карбидных частиц и наличие мартенсита на участках, примыкающих к зоне сварного шва. По мере удаления от сварного шва наблюдаются участки с бейнитной и бейнитно-ферритной структурой. На участках неполной перекристаллизации присутствуют крупные зерна феррита с зернами бейнитной структуры.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что причиной разрушения металла трансферного трубопровода стали различные структурно-механические неоднородности свойств сварных соединений и воздействие на металл активной коррозионной среды. Образование таких дефектов, как правило, связано с нарушениями технологий сварки, термообработки и недостаточным контролем на этапах изготовления и эксплуатации трубопровода.

Диагностика диффузора воздушного нагнетателя по акустическим характеристикам. При пуске воздушного нагнетателя Н-107 произошло разрушение диафрагм ротора. Для определения причин разрушения из фрагментов диафрагм были изготовлены образцы для исследования химического состава, механических свойств и анализа структуры, т.е. была выполнена стандартная и затратная во времени процедура по вырезке, изготовлению, испытаниям.

Анализ структуры показал, что имеет место значительная графитизация чугуна. По результатам измерения скорости ультразвуковых колебаний и предела прочности образцов была построена зависимость этих величин и разработана специальная методика СТО 00220302/67-010–2015 «Методика контроля структуры и механических характеристик серых и высокопрочных чугунов». Акустический контроль производили дефектоскопом УИУ «Сканер».

Для оценки механических свойств без вырезки образцов на двух других диффузорах были проведены измерения скорости распространения ультразвуковых колебаний.

На основании полученных результатов установлено, что скорость распространения ультразвуковых колебаний элементов диафрагм составляют ~3700...3900 м/с, временное сопротивление (по паспорту) равно 211...218 МПа, фактическое минимальное временное сопротивление составило 90 МПа (по ГОСТ 1412 временное сопротивление $\sigma_b \geq 150$ МПа).

Выполненные замеры акустических характеристик позволили сделать вывод, что поставленные изделия (новые диафрагмы ротора) по качеству не соответствуют заявленной документацией и сертификатами свойствам. Для предотвращения риска аварийных ситуаций было рекомендовано провести модернизацию нагнетателя путем замены чугунных элементов стальными с установкой новых диафрагм.

Оценка соответствия аппарата воздушного охлаждения заявленным изготовителем свойствам. Аппарат воздушного охлаждения был изготовлен из двухфазной стали 2205. Содержание структурных фаз регламентировано и приведено в техническом паспорте изготовителя (феррита и аустенита по примерно 50 %). При пуске аппарата произошло разрушение распределительной камеры. В режиме экспресс-анализа выполнен контроль ферритной фазы металла сварных соединений, что также дало возможность из-за значительных разбросов значений оценить технологию и качество сварки. В ходе дальнейших исследований по вырезкам образцов выявлены недопустимые дефекты сварных соединений, обусловленные неправильной величиной погонной энергии сварки. Выбранные изготовителем аппарата режимы сварки и контроля не обеспечили заявленных в технической документации структурно-механических характеристик сварных соединений.

Таким образом, на основании изложенного можно сделать следующие выводы.

Для предотвращения риска аварийных ситуаций в условиях увеличенного межремонтного пробега и повышенной коррозионной активности изношенность оборудования рекомендуется отслеживать и контролировать магнитные и акустические характеристики структуры материалов.

Выявленные тенденции коррозионного состояния эксплуатирующегося оборудования указывают на необходимость контроля структуры сварных соединений по магнитным свойствам и содержанию ферритной фазы в металле с помощью коэрцитиметрии и ферритометрии. Полученные данные необходимо отмечать в паспорте оборудования, проводить статистическую обработку и дополнительные расчеты скорости коррозии и структурной изношенности. Это позволит расширить диапазон методов экспресс-оценки состояния металла.

При закупках сложного и дорогостоящего оборудования в соответствии с требованиями ФНП «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» следует осуществлять квалифицированный входной и операционный контроль с применением наиболее эффективных средств технической диагностики по стандартам и методикам отечественных или зарубежных организаций.

Нормативная документация для выполнения диагностики по магнитным и акустическим характеристикам представлена ниже:

1. ГОСТ Р 53686–2009. Сварка. Определение содер-

жания ферритной фазы в металле сварного шва аустенитных и двухфазных феррито-аустенитных хромоникелевых коррозионно-стойких сталей.

2. ГОСТ 26364-90. Ферритометры для сталей аустенитного класса. Общие технические условия.

3. ГОСТ 30415-96. Сталь. Неразрушающий контроль механических свойств и микроструктуры металлопродукции магнитным методом.

4. ГОСТ 24297-2013. Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля.

5. СТО 00220302/67-006-2012. Коэрцитиметрическое обследование сосудов и аппаратов. АО «Вниинефтемаш».

6. СТО 00220302/67-001/1-2012. Вихретоковый метод неразрушающего контроля элементов сосудов и аппаратов. АО «Вниинефтемаш».

Список литературы

1. Сухотин А.М., Арчаков Ю.И. Нефтеперерабатывающая промышленность. Справочное руководство. Л. Химия, 1990.

2. Михеев М.Н., Горкунов Э.С. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. М.: Наука, 1993. 252 с.

Уважаемые господа!

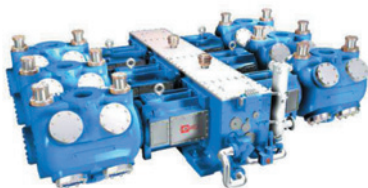


Московское представительство компании Ariel International Corporation приглашает Вас принять участие во 2-й ежегодной международной конференции на тему: «Компрессорные станции на базе Ariel».

От современного проектирования к надежной эксплуатации»

Конференция состоится 16-17 мая 2017 г. по адресу: Россия, Москва, Тверская улица, 26/1 (Марриотт Москва Гранд Отель, метро Маяковская)

По всем вопросам, связанным с регистрацией на мероприятие, просьба обращаться в московское представительство.



Контакты:

Сергей Лукьянов:

e-mail: slukyanov@arielcorp.com, russia@arielcorp.com

Тел: +7 (495) 721-11-13; **моб.:** +7 (963) 692-39-20.



**XIII МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ
ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ — ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ**

проводится в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 апреля 2014 г. № 541-р

17-19 мая 2017 г., Москва, ВДНХ, павильон 75, «Россия»

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ
ВЫСТАВКИ



ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Консолидация усилий власти, науки и бизнеса в развитии отечественного приборостроения для обеспечения нужд промышленности и оборонного комплекса страны, а также повышение эффективности российской системы измерений, совершенствование нормативной базы метрологии с учетом международных тенденций в целях поддержки инноваций и их продвижения.

ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА

129344, Москва, ул. Искры 31, корп. 1, Технопарк ВДНХ
Тел./Факс: +7 (495) 937-40-23 (многоканальный)
www.metrol.expoprom.ru
E-mail: metrol@expoprom.ru

ПРОГРАММА ФОРУМА

- METROLEXPO-2017**
Метрология и Измерения
13-я выставка средств измерений, испытательного оборудования и метрологического обеспечения.
- CONTROL&DIAGNOSTIC-2017**
Контроль и Диагностика
6-я выставка промышленного оборудования и приборов для технической диагностики и экспертизы.
- RESMETERING-2017**
Учёт энергоресурсов
6-я выставка технологического и коммерческого учета энергоресурсов.
- LABTEST-2017**
Лабораторное оборудование
5-я выставка аналитических приборов и лабораторного оборудования промышленного и научного назначения.
- PROMAUTOMATIC-2017**
Автоматизация
5-я выставка оборудования и программного обеспечения для производственных процессов.
- WEIGHT SALON 2017**
Весовой салон
Выставка весового оборудования.

Организаторы



Поддержка



Стратегический партнер



Генеральный спонсор



Ключевые партнеры выставки



Международные партнеры



Устроитель и выставочный оператор

