

**А.Л. Елькин, К.Ю. Аристов, В.П. Ануфриев**

ЗАО «Сибур-Химпром»

**Л.Г. Тархов, А.С. Ширкунов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

**ВИХРЕТОКОВОЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ  
ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
ТРУБ РАДИАНТНЫХ ЗМЕЕВИКОВ И ПАРОВЫХ  
ЭКРАНОВ ПЕЧЕЙ ПИРОЛИЗА**

*Выполнен анализ применимости и апробация различных методов неразрушающего контроля для полной диагностики состояния радиантных змеевиков печей пиролиза. Выявлено, что для данной цели целесообразно применение метода вихретоковой дефектоскопии, отличающегося высокой производительностью. Подтверждена достоверность показаний метода вихретоковой диагностики путем сопоставления с данными ультразвуковой толщинометрии выявленных дефектных участков и прямым измерением размеров вырезанных фрагментов труб.*

В процессе эксплуатации печей пиролиза производства этилена и пропилена радиантные змеевики и паровые экраны находятся в наиболее жестких условиях, обусловленных высокими температурами стенок труб (порядка 750–950 °С), значительной скоростью газового потока (200–300 м/с), составом парогазовой среды (непредельные углеводороды, соединения серы, соли жесткости, ионы натрия и хлора). Вышеперечисленные факторы вызывают деградацию металла труб, что приводит к существенному снижению ресурса и преждевременному выходу из строя (разрушению) элементов радиантных змеевиков печей пиролиза.

Деградацию металла труб можно условно подразделить на четыре вида:

1) эрозионный механический износ (абляция) частицами коксоотложений внутренней поверхности двойников с утонением стенки до сквозного разрушения;

2) ползучесть металла труб и двойников вследствие локального перегрева стенки от снижения теплопроводности отложениями кокса и солей жесткости, вызывающая деформацию («вспучивание»), утонение и трещинообразование с последующим разрушением стенки труб;

3) высокотемпературная газовая коррозия с образованием на внутренней поверхности труб и двойников язв и кратеров до сквозного разрушения;

4) структурно-фазовые изменения металла труб и двойников (образование  $\sigma$ -фазы, науглероживание и межкристаллитная коррозия), вызывающие увеличение хрупкости металла и трещинообразование.

В процессе периодического обследования радиантных змеевиков печей пиролиза выявление мест эрозионного износа (как правило, участки изменения направления движения потока) не представляет технической сложности и определяется ультразвуковой толщинометрией стенки двойника по наружному радиусу. Места, подверженные ползучести (остаточная деформация – «отдулины»), выявляются визуальным и измерительным контролем наружного диаметра труб и двойников с последующей ультразвуковой толщинометрией.

Высокотемпературная газовая коррозия и структурно-фазовые изменения (язвенные образования на внутренней поверхности труб, межкристаллитная коррозия, зарождающиеся микро- и макротрещины), представляющие опасность в силу их очаговости и лавинообразного характера развития до сквозного разрушения металла стенки труб, могут быть выявлены и позиционированы только методом сплошного неразрушающего контроля (рентгенографическая и ультразвуковая дефектоскопия или сплошная ультразвуковая толщинометрия).

Анализ эксплуатации печи пиролиза П-001/7 процесса получения этилена и пропилена в ЗАО «Сибур-Химпром», а также результаты исследования дефектных фрагментов радиантных змеевиков выявили многочисленные участки труб змеевиков печи с характерными признаками высокотемпературной газовой и межкристаллитной коррозии, что определяет необходимость сплошного контроля для оценки технического состояния металла труб и двойников радиантных змеевиков и паровых экранов печи.

В силу особенности месторасположения и конструктивного исполнения змеевиков и паровых экранов печей пиролиза, а также значительной (более 300 м<sup>2</sup>) площади контроля, сплошная рентгенографическая или ультразвуковая дефектоскопия и ультразвуковая толщинометрия не представляется технически возможной.

Проведенная в июле 2011 г. работа по диагностированию технического состояния радиантных змеевиков и паровых экранов печи П-001/7 с применением системы акустико-эмиссионного контроля показала неудовлетворительную эффективность данного метода по выявлению локальных критических утонений и развивающихся трещинообразований стенок трубных элементов.

В связи с этим в марте 2012 г. для данной цели был испытан метод сплошного вихретокового (ВТ) неразрушающего контроля с применением матричных ВТ-преобразователей. Преимущества данного метода в сравнении с другими методами неразрушающего контроля заключаются в том, что требования к состоянию диагностируемой поверхности минимальны, обеспечивается сплошность и высокая скорость контроля, а также высокая точность и воспроизводимость выявления дефектов.

Использование методики диагностирования с применением матричных вихретоковых преобразователей (ВТПМ) позволяет:

- ◆ определить и позиционировать участки труб и двойников радиантных змеевиков печи, подверженных высокотемпературной газовой коррозии и эрозионному износу и имеющих локальные язвенные утонения на внутренней поверхности;
- ◆ определить и позиционировать участки труб и двойников радиантных змеевиков и паровых экранов печи, имеющих развивающиеся трещинообразования основного металла и сварных соединений;
- ◆ определить величины локального утонения (степени дефектности) стенки труб и двойников, подверженных высокотемпературной газовой коррозии и эрозионному износу;
- ◆ оценить сходимость результатов контроля ВТ-методом и ультразвуковой толщинометрии;
- ◆ оценить техническое состояние радиантных змеевиков и паровых экранов печи П-001/7.

Для непосредственного выполнения измерений были разработаны и изготовлены матричные вихретоковые преобразователи для сплошного контроля прямолинейных цилиндрических и криволинейных тороидальных поверхностей элементов трубной системы радиантных змеевиков и паровых экранов печей пиролиза производства этилена и пропилена. Изготовленные ВТПМ позволяют за один проход сканировать поверхность диагностируемого участка трубы охватом более 90° по окружности поперечного сечения. Калибровка канала измерения вихретокового дефектоскопа «Политест УВТП 5460» проведена по по-

роговым значениям параметров искусственных дефектов (выполненных путем высверливания) с утонением стенки до 20, 40, 50, 60, 80 и 100 % (сквозное) на эталоне-образце из трубы диаметром 140 мм и толщиной стенки 8 мм, изготовленной из стали TP310S по ASTM-A 312M-09 (аналог 10X23H18 по ГОСТ 5632).

За период с 19.03.2012 по 22.03.2012 было проведено диагностическое вихретоковое обследование элементов трубной системы радиантных змеевиков и паровых экранов печи пиролиза П-001/7, получена картограмма схемы расположения и степени максимальной дефектности (% от номинальной толщины стенки). При обследовании было выявлено и позиционировано: 21 место с дефектностью (местным утонением стенки) от 40 до 50 %, 14 мест – с утонением до 60 %, в том числе два двойника (предположительно с эрозионным износом), 12 мест – с утонением до 70 %, 9 мест – с утонением до 80 %, один участок «вздутия» – без утонения, а также одно дефектное сварное соединение.

На участках с выявленной дефектностью более 60 % была проведена ультразвуковая толщинометрия. Результаты толщинометрии (частично представлены в таблице) подтверждают наличие выявленных вихретоковым контролем локальных утонений стенки труб и двойников.

**Проверка толщины стенок радиантного змеевика печи П-001/7  
с дефектностью более 60 % (по ВТ методу) методом  
ультразвуковой толщинометрии**

Номер дефекта	Первоначальный диаметр и толщина стенки трубы, мм	Отбраковочная толщина стенки трубы, мм	Толщина стенки трубы по периметру, мм
1	140×8	4,5	3,5; 3,7
2	140×8	4,5	4,0; 5,3
3	140×8	4,5	4,6; 4,8
4	140×8	4,5	2,5; 3,3
5	140×8	4,5	4,1; 4,2
6	140×8	4,5	5,6; 6,0
7	140×8	4,5	4,7; 5,5
8	140×8	4,5	5,8
9	140×8	4,5	5,9; 6,3
10	140×8	4,5	2,3
11	140×8	4,5	2,5; 3,5
12	140×8	4,5	3,8
13	140×8	4,5	4,5; 5,3; 5,5
14	140×8	4,5	4,3; 4,8
15	142×16 (отвод)	4,5	5,2; 6,3; 6,7; 7,0; 7,4
16	142×16 (отвод)	4,5	4,2; 4,4; 7,0; 8,5

На основании проведенного анализа результатов вихретокового контроля и ультразвуковой толщинометрии было принято решение о замене ряда труб и двойников. Из числа дефектных труб, подлежащих замене, проведена вырезка четырех фрагментов с выявленной ВТ методом дефектностью более 80 % (фотография одного из вырезанных фрагментов представлена на рисунке). На внутренней поверхности фрагментов труб имеются язвенные разрушения (как локальные, так и протяженные), характерные для высокотемпературной газовой коррозии. Остаточная толщина стенки, измеренная ультразвуковой толщинометрией, – 2,5 мм.

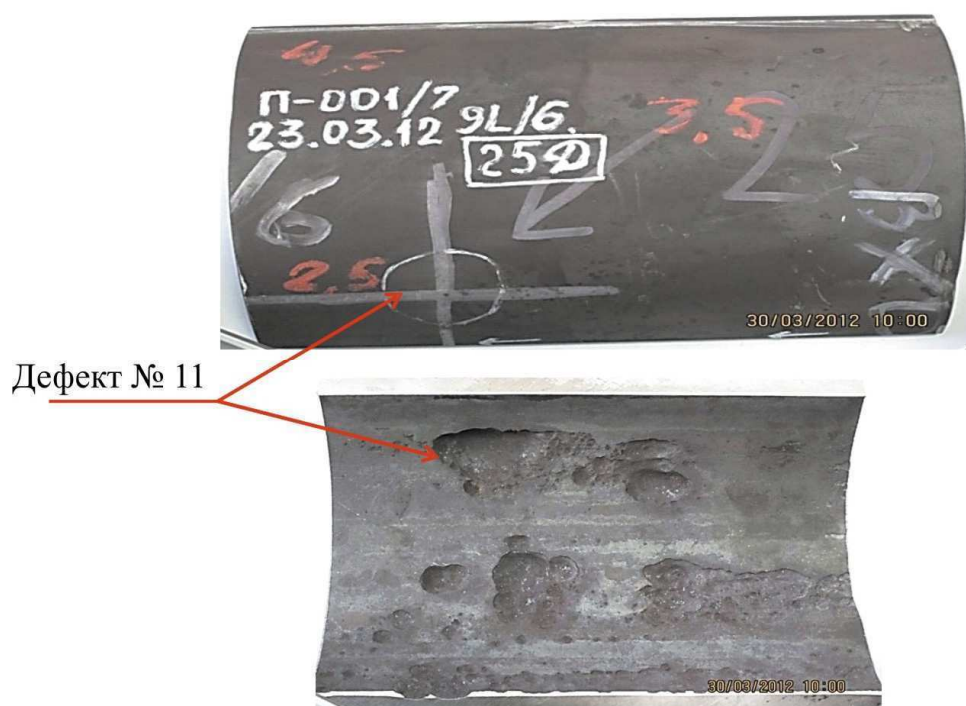


Рис. Фрагмент участка трубы с дефектностью, определенной методом ВТ контроля

Таким образом, доказано, что методика вихретокового диагностирования технического состояния элементов трубных систем радиантных змеевиков и паровых экранов печей пиролиза с применением матричных вихретоковых преобразователей позволяет выявлять, определять дефектность и позиционировать по длине и в поперечном сечении локально расположенные дефекты типа коррозионных язв, эрозионного износа, а также развивающиеся макротрещины. При этом существенным преимуществом метода является высокая производительность, позволяющая в сжатые сроки проводить полную диагностику состояния всего трубного змеевика.

Количественная оценка процента дефектности, определенная вихретоковым методом, в некоторой мере условна, так как искусственные дефекты эталона воспроизводят лишь величину коррозионного утонения (сверление на различную глубину) без учета возможного скопления нескольких единичных дефектов, площади и ориентации протяженности (поперечная или продольная) реальных дефектов объекта контроля.

В то же время конструктивное исполнение ВТПМ, примененное при диагностировании, не позволяет провести сканирование участков труб, примыкающих к подвескам змеевиков на расстоянии менее 100 мм.

В целях объективности оценки выявленной и позиционированной вихретоковым контролем дефектности толщины стенок и совершенствования ВТ метода необходимо проведение выборочной ультразвуковой толщинометрии или, в обоснованных случаях, вырезки образцов.

Получено 20.06.2012