

## ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ

УДК.621.052.08

А.Н. Смирнов, В.В. Муравьёв, Н.М. Макаров, В.Л. Князьков

### ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ ТЕПЛОУСТОЙЧИВЫХ СТАЛЕЙ

Металлические конструкции объектов повышенной опасности эксплуатируются в сложных напряжённых условиях зачастую при высоких температурах и давлениях под воздействием агрессивных сред. В настоящее время большая часть объектов повышенной опасности отработала расчётный срок, в связи с этим весьма актуальна оценка их остаточного ресурса. При длительной эксплуатации оборудования, особенно при высоких температурах и давлениях, в микроструктуре металла происходят значительные изменения, заключающиеся в распаде перлитной составляющей, сфероидизации и коагуляции карбидов, происходит и снижение механических характеристик.

В тепловой энергетике наиболее повреждаемыми элементами являются обогреваемые трубы поверхностей нагрева, поэтому оценка их фактического состояния представляет большой практический и научный интерес. Существующие стандартные методы контроля металла в тепловой энергетике не дают возможность в полной мере оценить реальное состояние труб теплообмена.

Возможность акустического контроля микроструктуры и механических свойств металлов установлена в [1,2]. В настоящей работе сделана попытка промышленного использования акустического метода для выявления зон в металле труб поверхностей нагрева с пониженными механическими характеристиками и определения численных значений прочностных свойств с целью прогнозирования остаточного ресурса оборудования.

Акустические измерения были проведены на металле труб конвективного пароперегревателя (КПП-2) блока № 8 Томь-Усинской ГРЭС. Исследовали вырезки труб из котлов 13А и 13Б, пакетов 34,38,60,71 КПП-2. По результатам анализа повреждаемости именно в этих пакетах происходит максимальное разрушение труб. Трубы эксплуатируются при следующих параметрах пара: Т -545°C, Р -2,5 МПа. Число часов эксплуатации металла КПП-2 корпуса А – 108344, корпуса Б – 99769.

Как ранее было отмечено, при длительной эксплуатации в металле труб происходят структурные изменения, вызывающие

снижение механических свойств. Состояние окалины на наружной и внутренней поверхности труб служит косвенным методом оценки рабочей температуры металла, от которой зависит степень распада микроструктуры и как следствие изменение механических свойств. Совместно с результатами измерения толщины стенки после длительной эксплуатации анализ состояния окалины служит основанием для дальнейшего исследования металла.

Визуальный контроль вырезанных труб показал, что их наружная поверхность покрыта плотным слоем окалины; на «огневой» стороне – красно-коричневого цвета, на «тыльной» – тёмно-коричневого, на внутренней поверхности – слоистая окалина серого цвета. Данные измерений геометрических размеров исследованных труб показывают, что в процессе длительной эксплуатации произошли незначительные изменения толщины стенки, минимальная толщина стенки труб составляет 3,7 мм, при nominalной - 4,0 мм.

Акустические характеристики измеряли с применением многофункциональной акустической системы «Астрон» и измерителя структурных превращений ИСП-12.

Для оценки изменения структурных и механических характеристик строили тариро-

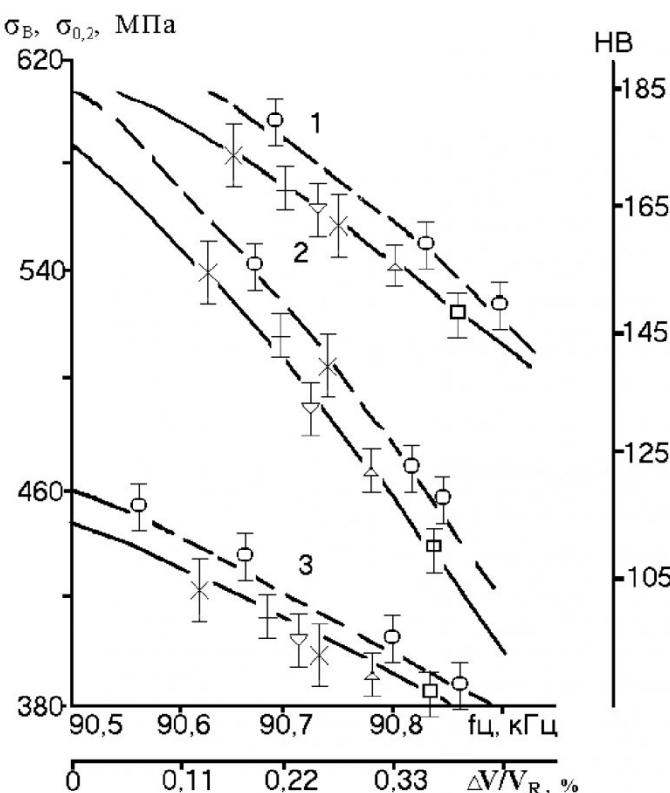


Рис. 1 Тарировочный график взаимосвязи частоты автоциркуляции (изменения скорости акустических волн) и твёрдости HB(1);  $\delta_b$ (2);  $\delta_{0,2}$ (3) сталей 12Х1МФ (сплошные линии) и сталей 12Х2МФСР (штриховые)

вочные кривые для сталей 12Х1МФ и 12Х2МФСР, из которых изготовлены исследуемые трубы. Предварительно образцы подвергали термической обработке по следующему режиму: закалка с охлаждением в масле и последующим отпуском при различных температурах.

Регистрировали частоту автоциркуляции, твердость, пределы прочности и текучести. Зависимости частоты автоциркуляции от механических характеристик сталей 12Х1МФ и 12Х2МФСР приведены на рис. 1. Указаны средние и 90%-е доверительные интервалы, вычисленные с использованием распределения Стьюдента по результатам измерений трех образцов, подвергнутых одинаковой термической обработки.

Монотонный характер изменения акустических характеристик при изменении механических свойств может служить основанием для внедрения и

исследования на огневой и тыльной сторонах, но и построить индикаторы изменения механических свойств. Наиболее удобная форма такого представления - использование полярной системы координат, где радиус-вектор, проведенный под соответствующим углом к полярной оси будет характеризовать значения анализируемой прочностной характеристики.

Для практической реализации метода на вырезанных участках труб зачищали поверхность для акустических измерений. Участки для замеров выбирали таким образом, чтобы ось симметрии, проходящая через поперечное сечение трубы, пересекала середину тыльной и огневой сторон, а расположенные по обе стороны полуокружности делились на четыре части. По результатам акустических измерений с помощью тарировочных графиков проведен расчет механических характеристик образцов, изготовленных из вырезов труб котлов 13А и 13Б с огневой и тыльной сторонами. Расчеты показали снижение прочностных характеристик ниже допустимых значений. Согласно ТУ 14-3-46-075, для стали 12Х1МФ, из которой изготовлено часть исследованных труб, значения предела прочности должны располагаться в интервале от 450 до 650 МПа, а относительное удлинение должно быть не менее 21%. Для стали 12Х2МФСР предел прочности должен быть не менее 480 МПа, а предел текучести не ме-

Таблица

Клеймо	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_5$ , %	Клеймо	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_5$ , %
Котел 13 А				Котел 13Б			
136о	497	359	-	135о	601	457	23,7
136т	553	402	-	135т	605	500	20,5
132о	442	306	-	135о	472	351	-
132т	521	353	-	135т	529	382	-
131о	429	304	-	133о	478	313	-
131т	518	371	23,2	133т	604	430	-
				134о	460	324	-
				134т	607	478	20,5

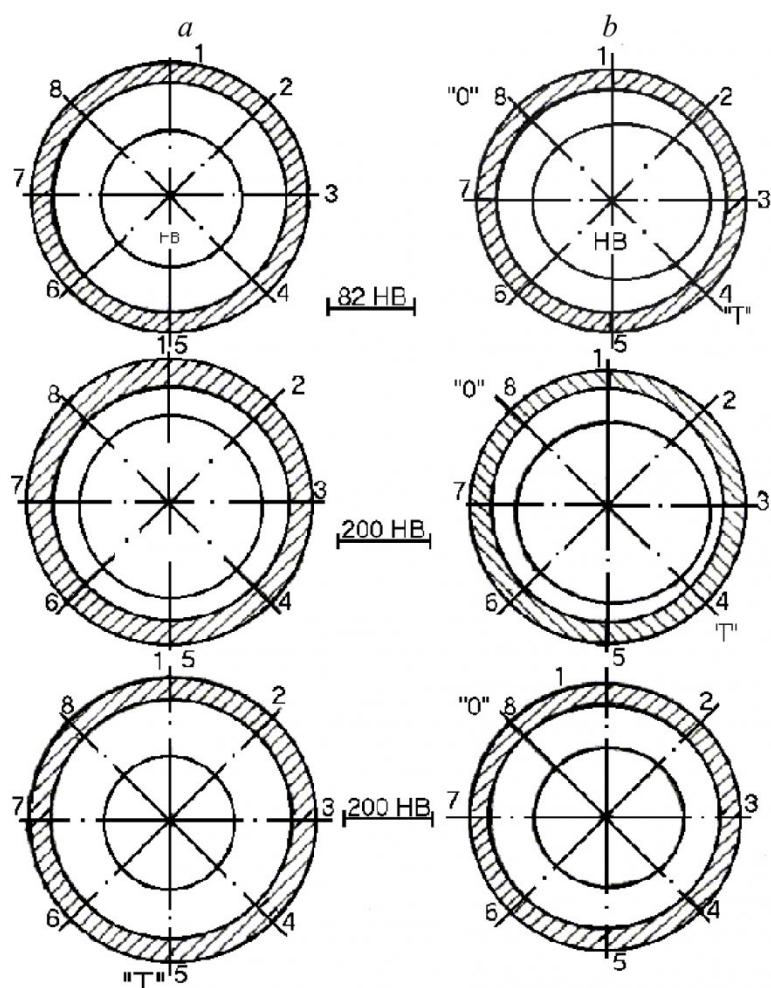


Рис. 2 Индикатрисы распределения механических свойств по сечению трубы: а – совпадение результатов разрывных и акустических измерений; б – ошибка разрывных испытаний в определении огневой «О» и тыльной «Т» сторон (смещение на 45°)

нее 280 МПа. Результаты измерений для точек 1(о) и 5(т) - см. рис. 2 - представлены в таблице (о - огневая сторона, т - тыльная).

Пользуясь тарировочным графиком (рис.1), можно определить механические характеристики для сталей 12Х1МФ и 12Х2МФСР. Причем, если для точек 1 и 5 (рис.2) соответствующим огневой и тыльной сторонам, имелись данные пределов прочности и текучести, найденные при разрывных испытаниях, то для остальных точек внешней поверхности труб подобная информация отсутствовала и акустические измерения являлись единственным косвенным методом их оценки.

Сравнение показаний в точках 1 и 5 для каждого из исследо-

ванных образцов показало совпадение результатов обоих методов в пределах ошибки (5-8 МПа), характерной для разрывных испытаний. Из индикатрис распределения по сечению труб значений твердости, определенной акустическим методом получен рельеф ее изменения, аналогичный изменениям твердости, замеренной стандартным методом.

По индикатрисам (рис.2) можно проследить изменения механических свойств от огневой к тыльной стороне трубы. Анализ показывает, что ориентация точек 5 (рис.2), выбранная по максимальным механическим свойствам не всегда отвечает реальному расположению трубы в котле. Так на образце 131 (рис.2а) произошло смещение огневой и тыльной сторон на 45° против часовой стрелки, аналогичная картина наблюдается и на некоторых других образцах.

Результаты микроструктурного исследования, выполненного специалистами Службы металлов и Сварки ОАО «Кузбассэнерго», показали, что микроструктура труб резко отличается по периметру шлифов с огневой и тыльной сторонами. На огневой стороне микроструктура феррито-карбидная с мелкими участками бейнитной матрицы (рис.3а)

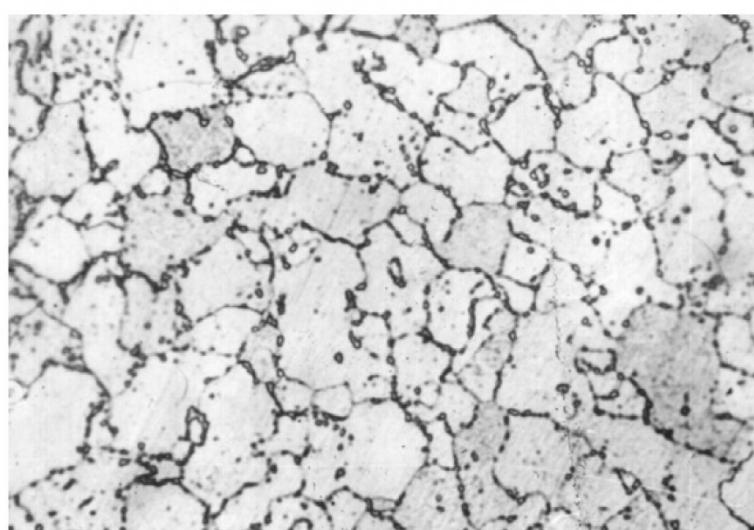
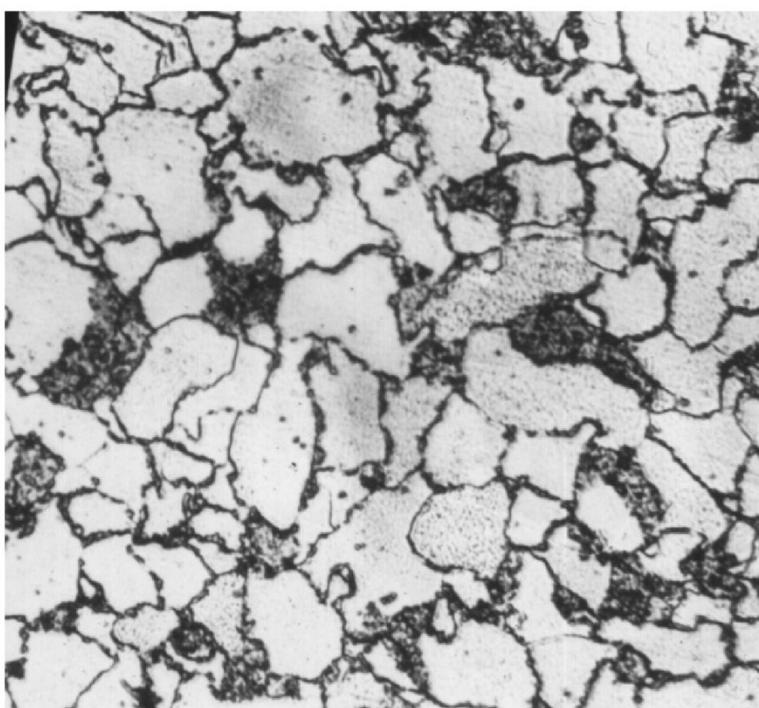


Рис. 3. X 500 .Микроструктура трубы из стали 12Х1МФ с «огневой» стороны



*Рис. 4. X 500. Микроструктура трубы из стали 12Х1МФ с тыльной стороны*

Карбиды расположаются преимущественно по границам

зерен. На тыльной стороне все трубы имеют нераспавшуюся феррито-бейнитную структуру (рис.3б). Таким образом, выявленные резкие изменения микроструктуры, рельеф механических свойств, зафиксированный акустическим методом позволили сделать вывод о перегреве металла труб до температур, превышающих расчетные и необходимости замены поверхностей нагрева.

Акустические методы оценки механических свойств длительно работающего металла являются средствами технического диагностирования, так как позволяют оценить остаточный ресурс объекта повышенной опасности. Эти методы могут быть использованы при ремонтах различного оборудования, что должно привести к снижению повреждаемости труб теплообмена.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугай Н.В., Лебедев А.А., Левитан Л.Я. и др. Определение взаимосвязи механических и акустических характеристик стали 12Х1МФ. Дефектоскопия, 1982, № 2, с. 85-86.
2. Муравьёв В.В., Билута А.П. и др. Ультразвуковой контроль качества термообработки сварных швов паропровода из стали 12Х1МФ. Современные физические методы и средства неразрушающего контроля. – М.: о – во «Знание», 1988. – с. 26 – 28.
3. Шарко А.В. Современное состояние и перспективы развития акустических методов контроля прочности свойств конструкционных материалов (обзор). – Дефектоскопия, 1983, № 5, с.72–87.

□ Авторы статьи:

Смирнов Александр Николаевич - доц. каф. технологии металлов	Муравьёв Виталий Васильевич - профессор СибГУПС	Макаров Николай Матвеевич - ведущий специалист ОАО «Кузбассэнерго»	Князьков Виктор Леонидович - ведущий специалист ОАО «Кузбассэнерго»
---	---	---	--