

УДК 669.141.24:539.5

Р.Н. ФИСЕНКО, инженер (НИ ТПУ)
М.Г. ЧЕЧЁТКИН, магистрант (НИ ТПУ)
г. Томск

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ В ОБРАЗЦАХ ИЗ СТАЛИ МАРКИ 12Х1МФ, ИМЕЮЩИХ РАЗНУЮ ИСТОРИЮ

Введение. Для изготовления труб пароперегревателей и паропроводов котлов в отечественной энергетике нашла широкое распространение сталь марки 12Х1МФ, которая на протяжении многих лет вызывает интерес у исследователей [1, 2]. В связи со значительным физическим износом энергетического оборудования в России проблема диагностирования текущего состояния трубопроводов пара и горячей воды не теряет своей актуальности, в частности, представляет большой интерес точное определение состояния предразрушения элементов энергооборудования.

Цель и задачи работы. Среди прочих методов изучения прочностных свойств материалов и диагностирования их текущего физического состояния, метод твердости выделяется своей простотой и наглядностью, в связи с чем многие экспериментаторы используют его достаточно часто (особенно при изучении сварных соединений) [2-4]. Основным материалом для изготовления энергетического оборудования чаще всего является сталь. Известно, что между твердостью и многочисленными другими характеристиками сталей существует связь [5, 6]. Например, определение твердости (в том числе в конкретной локальной области), позволяет исследователям оценивать прочность.

Особенности технологии изготовления, условия хранения, транспортировки и эксплуатации стальных изделий влияют на структуру металла. Так как последняя определяет свойства металла, то твердость может служить хорошим диагностическим критерием текущего состояния материала [2]. Оценка данного положения на примере котельных труб из стали марки 12Х1МФ явилась целью данной работы. При этом были обозначены следующие задачи:

- изучение распределения микротвердости по толщине стенки и на поверхности шести труб, имеющих разную историю;
- разработка и апробация новых подходов к анализу полученных экспериментальных данных.

Подготовка образцов и экспериментальное оборудование. Для изучения микротвердости по толщине стенки и на наружной поверхности

были выбраны шесть труб из стали 12Х1МФ (см. табл. 1), из них три вышли из строя в процессе эксплуатации с разными параметрами и временем наработки, а три не эксплуатировались. В последних микротвердость определялась два раза: по толщине стенки и на наружной поверхности, а в трубах, побывавших в эксплуатации микротвердость определялась восемь раз (см. рис. 1), два раза вблизи разрыва на наружной поверхности (линии c' и d'), два раза вблизи разрыва по толщине стенки (линии a' и b') и, соответственно, два раза вдали от разрыва на наружной поверхности (линии c и d) и два раза вдали разрыва по толщине стенки (линии a и b). Так как основным оборудованием для проведения экспериментов был микротвердомер ПНТ-3, то при подготовке образцов из трубы вырезалось два кольца.

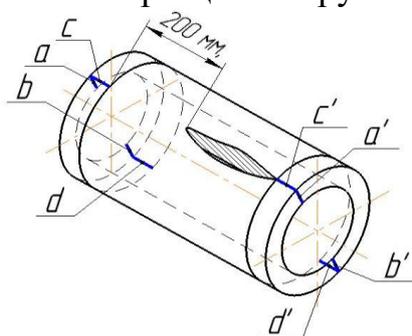


Рисунок 1 – Схема измерения микротвердости на исследуемых образцах
Таблица 1 – Краткая характеристика исследуемых образцов

| № образца | Параметры эксплуатации (приблизительная средняя температура стенки труб – t , °С; наработка – τ , ч.) | Возраст образца, лет (ориентировочный) | Типоразмер трубы, мм |
|-----------|--|--|---------------------------------|
| 1 | Не эксплуатировался | 18-30 | Труба $\varnothing 32 \times 5$ |
| 2 | Не эксплуатировался | 3-5 | Труба $\varnothing 32 \times 5$ |
| 3 | Не эксплуатировался | 3-5 | Труба $\varnothing 32 \times 5$ |
| 4 | 500-510 °С; 150000 ч. | 35-40 | Труба $\varnothing 32 \times 5$ |
| 5 | 560 °С; 130000 ч. | 30-35 | Труба $\varnothing 32 \times 5$ |
| 6 | 575-580 °С; 16500 ч. | 13-15 | Труба $\varnothing 38 \times 5$ |

Экспериментальные данные. В процессе работы на образцах 4, 5 и 6 проводилось по 8 измерений (см рис. 1), а на образцах 1, 2 и 3 по два. Микротвердость определялась с шагом 100 микрон. В процессе эксплуатации некоторые участки трубы стали тоньше по толщине, что повлияло на количество точек в зависимостях. На наружной поверхности (например, для образцов 4, 5 и 6 это линии c , d , c' и d') микротвердость определялась всегда 15 раз (не для получения зависимости, а для статистики). Всего было получено 30 зависимостей. Для упрощения и структурирования исследованным зонам образцов были присвоены номера с 1 по 15, где 1 2 3 – образцы в состоянии поставки (номер зоны совпадает с номером образца),

4;8;12 – принадлежат группе b^I , 5;9;13 – группе a^I , 6;10;14 – группе b и 7;11;15 – группе a (см. рис. 1).

Для примера на рисунках 2, 3 и 4 частично представлены полученные результаты.

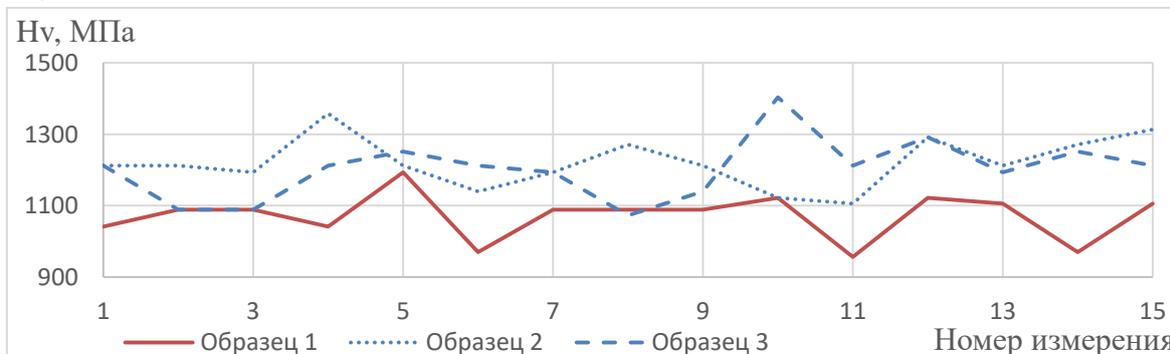


Рисунок 2 – Микротвердость на наружной поверхности (образцы 1, 2 и 3)

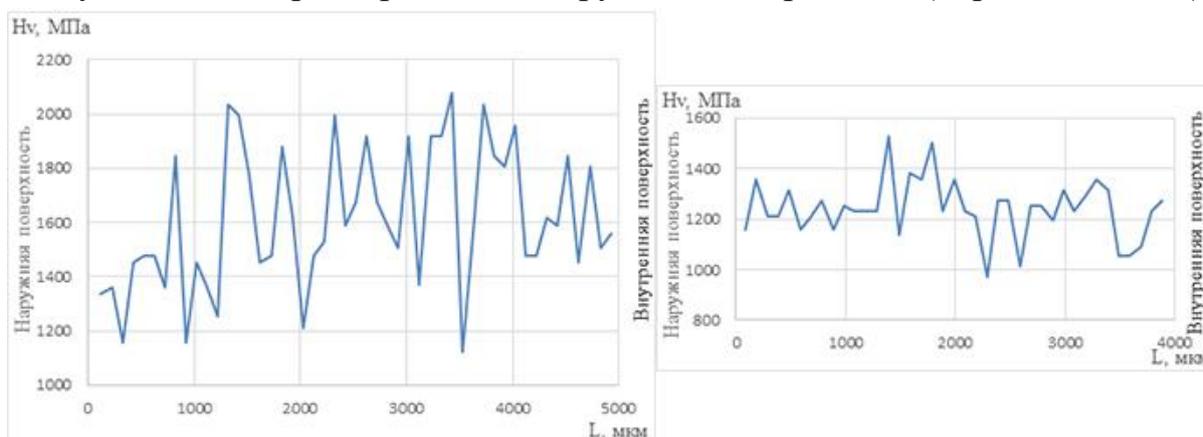


Рисунок 3 – Распределение микротвердости по толщине стенки трубы (слева образец № 1, справа образец № 4, зона 5 (линия АI))

по толщине стенки трубы в образце № 4, зона 5 (линия A^I)

Как показала практика обработки экспериментальных данных микротвердометрии сами по себе зависимости, примеры которых изображены на рисунке 3 мало информативны (особенно, когда их большое количество). В этой связи была предложена следующая методика: толщина стенки делится на отдельные сегменты (в данной работе их три: А – сегмент ближайший к наружной поверхности (1/3 от толщины стенки), С – сегмент ближайший к внутренней поверхности (1/3 от толщины стенки) и В – сегмент по центру) (см. рис. 4). В каждом сегменте определяется среднее значение микротвердости (H_{Vcp}), а также среднее из трех минимальных (H_{Vcp}^{min}) и среднее из трех максимальных значений (H_{Vcp}^{max}). Дальнейшему анализу, прежде всего подвергаются величины: H_{Vcp} и разница $H_{Vcp}^{max} - H_{Vcp}^{min}$ (см. рис. 5, 6). При этом предполагается, что чем больше значение разницы, тем хуже структура исследуемого металла. Последнее обстоя-

тельств очень актуально при анализе последствий механических или термических воздействий на исследуемый материал.

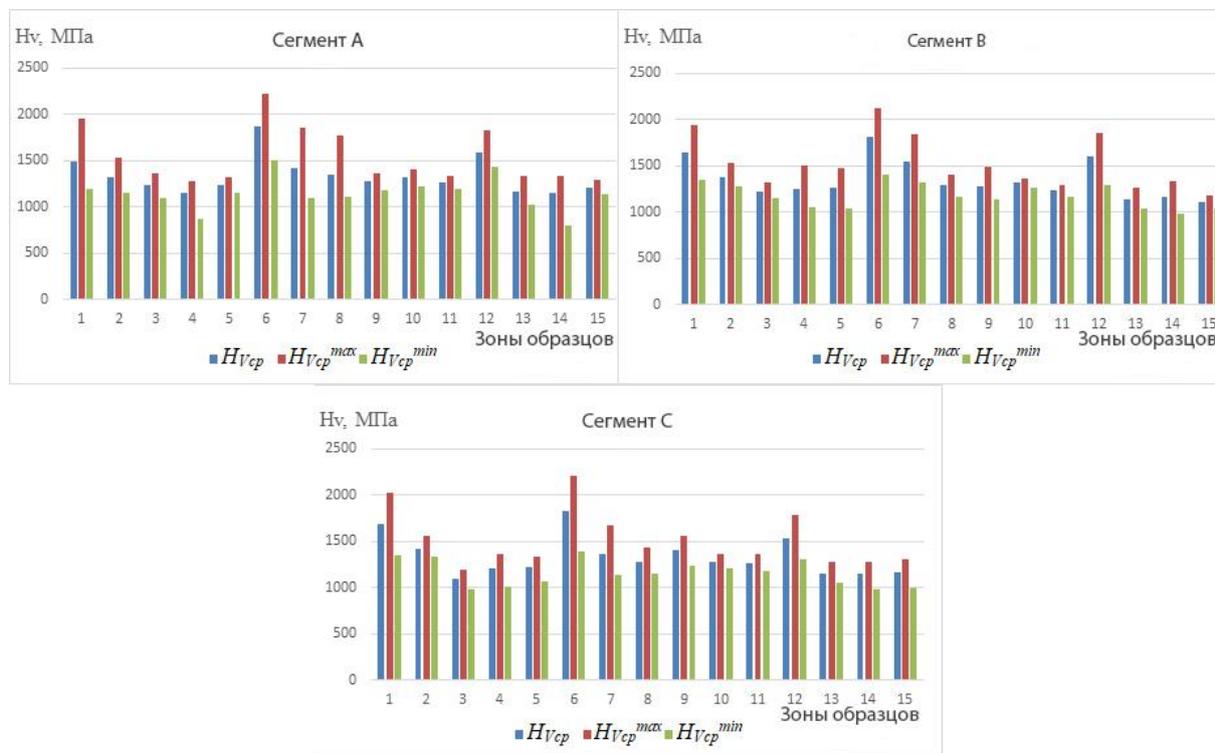


Рисунок 4 – Диаграмма микротвердости в сегментах А, В и С

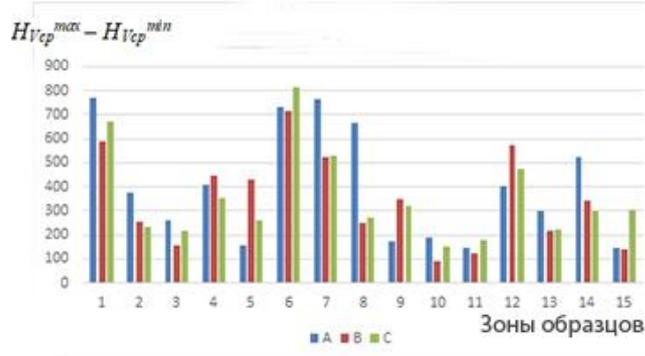


Рисунок 5 – Разность $H_{Vcp}^{max} - H_{Vcp}^{min}$ для различных сегментов образцов

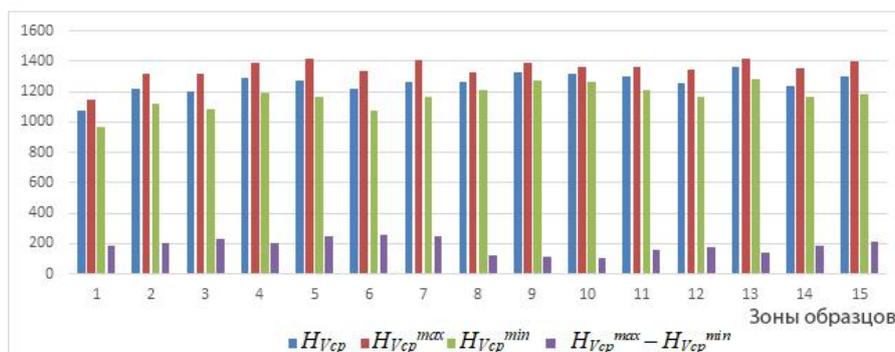


Рисунок 6 – Микротвердость на наружной поверхности образцов труб

Выводы. По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Микротвердость, измеренная на наружной поверхности трубы, не совпадает со значением микротвердости, определенным в районе наружной поверхности трубы, при измерениях по толщине стенки. Это обстоятельство может быть связано с текстурами, которые появляются при производстве труб.

2. Образцы, в состоянии поставки не показывают одинаковые свойства, что затрудняет диагностику по микротвердости (см. рис. 2).

3. Деградация структуры при перегреве отчетливо просматривается при анализе микротвердости на разных участках труб.

4. Исследуемая характеристика может осциллировать весьма значительно (см. рис. 3), что говорит о наличии разных структур и свойств в разных областях по толщине стенки. Таким образом, анализируя эти колебания, например, через величину $H_{Vcp}^{max} - H_{Vcp}^{min}$, можно изучать последствия различных воздействий на материал (в том числе, восстановительную термическую обработку).

5. В связи с тем, что структура стали зависит от огромного количества факторов (времени, качества выплавки стали, условий транспортировки и т.д.), диагностика состояния предразрушения трубы по микротвердости в целом (по ГОСТированным параметрам) затруднительна. Однако, эта диагностика возможна на основе анализа данных по длине какой-либо конкретной трубы.

Список литературы:

1. Смирнов А.Н., Козлов Э.В. Субструктура, внутренние поля напряжений и проблема разрушения паропроводов из стали 12Х1МФ. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2004. – 163 с.

2. Куманин В.И., Ковалева Л.А., Гладышев Г.П., Шкляр М.И., Изменение плотности и механических свойств при эксплуатации паропроводных труб из стали 12Х1МФ // Теплоэнергетика, 1979. – № 6. – С. 55–58.

3. Ланин А.А., Ильин С.А., Прохорова Т.В. Исследование разнородных сварных стыковых соединений толстостенных труб системы паровпуска паровых турбин // Тяжелое машиностроение, 2008. – № 6. – С. 21–24.

4. Антикайн П.А., Борисов В.Е., Самарец Г.Н., Чесалкин А.В. Восстановительная термическая обработка углеродистой стали // Теплоэнергетика, 1993. – № 12. – С. 49–52.

5. Марковец М.П. Определение механических свойств металла по твердости. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.

6. Корнеев А.Е., Старченко Е.Г., Пронин В.П. Определение количества остаточного аустенита в сварных соединениях // Технология металлов, 2008. – № 5. – С. 24–27.