ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.791.05:620.179

Н.В. Абабков, А.Н. Смирнов, Э.В. Козлов

ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ В ДЛИТЕЛЬНО РАБОТАЮЩЕМ И НАПЛАВЛЕННОМ МЕТАЛЛЕ БАРАБАНОВ КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В настоящее время в России более 80% промышленного оборудования отработало свой расчетный срок (в энергетике более 90%). Естественно, разрушение технических устройств, либо их элементов может привести, и приводят, к техногенным катастрофам с человеческими жертвами. Поэтому особо актуальной является проблема обеспечения (управления) безопасной эксплуатации потенциально опасного оборудования [1].

В процессе длительной эксплуатации энергооборудования при высоких температурах и давлениях в металле происходят сложные физико-химические процессы, связанные в первую очередь с распадом перлитной составляющей микроструктуры, коагуляцией и сфероидизацией карбидов, образованием микропор, либо клиновидных микротрещин [1].

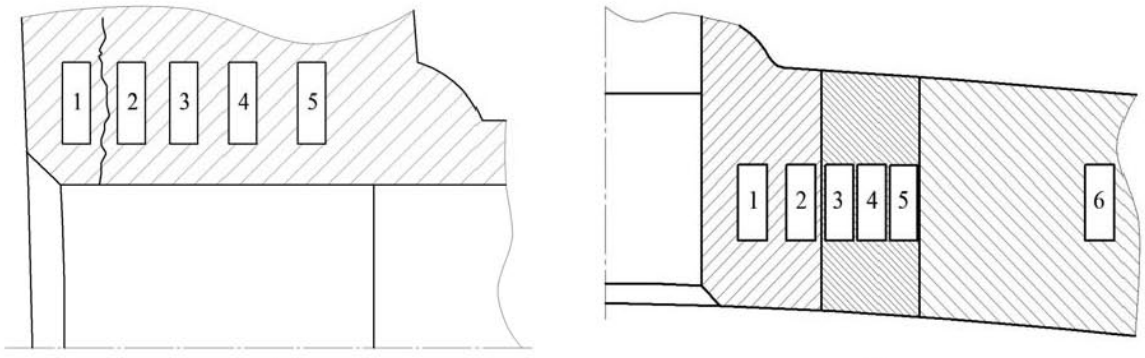
Скорость распада микроструктуры, образования и роста микроповрежденности зависит как от температуры, так и от рабочего давления, кроме того, существенную роль оказывает число пусков и остановов оборудования. Большую опасность с точки зрения надежности энергооборудования представляют барабаны котлов высокого давления [2].

В настоящей работе исследовали длительно работающий поврежденный металл барабана котла № 1 Южно-Кузбасской ГРЭС. Тип котла – ПК-10. Барабан котла диаметром 1490 мм с толщиной стенки 95 мм. Давление в барабане – 11,0 МПа; температура – 316 °С. Барабан изготовлен в 1950 году из специальной молибденовой стали (типа 20М), Время эксплуатации барабана составляет 320 033 часов эксплуатации. Повреждение представляет собой трещину, расположенную на поперечном мостике 1–2-ого ряда водоопускных труб на нижней образующей барабана (рис. 1).

Рис.1. Трещина на наружной поверхности нижней образующей барабана между 1 и 2 очками (поперек барабана)

Целью нашей работы является измерение и сравнение микротвердости в длительно работающем и наплавленном металле барабанов котлов высокого давления.

Измерения проводили на образцах длительно работающего (рис. 2, *а*) и наплавленного



а) *б)*

Рис. 2. Схема измерения микротвердости в образцах: а – длительно работающего металла; б - наплавленного металла барабанов котлов высокого давления

(рис. 2, *б*) металла барабанов котлов высокого давления [2].

Для измерения микротвердости использовался микротвердомер ПМТ-3М, тест-объектом являлся свежий скол кристалла поваренной соли (NaCl). Измерения проводились: 1) в зоне основного металла в различных его участках, 2) в зоне сварного шва в направлении, перпендикулярном границе сварного шва, и 3) в зоне магистральной трещины (проходящей в основном металле) в направлении, перпендикулярном трещине [2]. Схематическое изображение таких областей приведено соответственно на рис. 3.

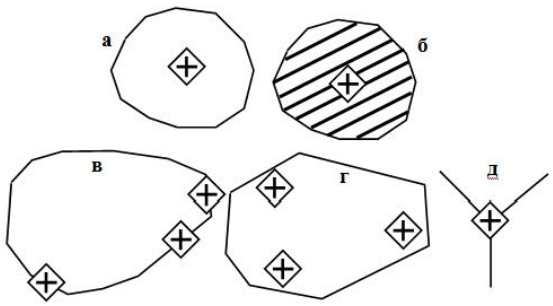


Рис. 3. Схематическое изображение участков основного металла, в которых проводились измерения микротвердости

Нагрузка на образец была выбрана 15 г. Значение микротвердости определяли по методу Виккерса [2]:

$$H_F = \frac{1.854 \cdot P}{d_{cp}^2}, \qquad (1)$$

где P – нагрузка (кгс), приложенная к наконечнику, d_{cp} – среднее значение длины диагонали отпечатка четырехгранной пирамидки (мкм). При этом:

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(d_{i_1} + d_{i_2})}{2n} \qquad (2)$$

где d_{i_1} и d_{i_2} – соответственно длины диагоналей i-того отпечатка четырехгранной пирамидки, n – число измерений. Среднеквадратическое отклонение σ_d и относительная погрешность измерения S_H вычисляются по формулам:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(d_{cp} - \frac{d_{i_1} + d_{i_2}}{2}\right)^2}{n-1}} \qquad (3)$$

$$S_H = \frac{H_B - H_F}{H_B} \cdot 100\%, \qquad (4)$$

где H_B – номинальное значение микротвердости. Т.к. значение H_B нам неизвестно, то относительная погрешность измерения S_H не вычислялась.

Все измерения микротвердости были выполнены для образцов длительно работающего ос-

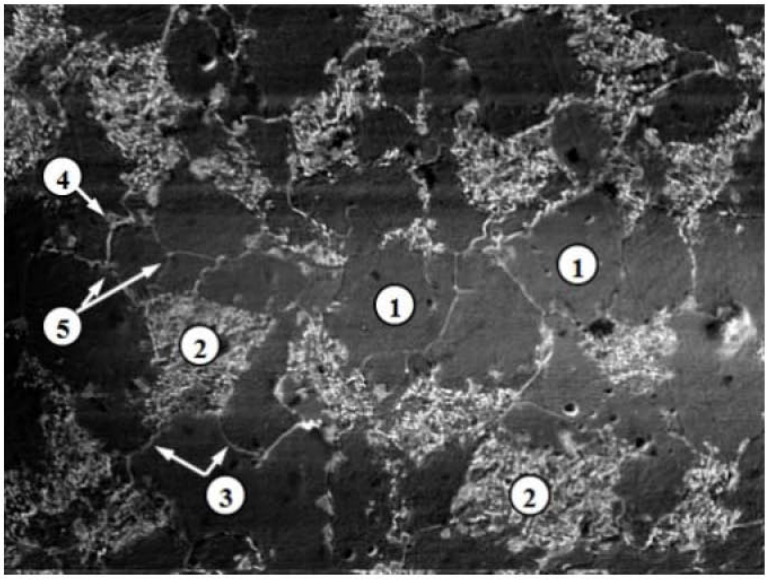


Рис. 4. Схема измерений микротвердости

Таблица 1. Средние значения микротвердости вблизи специальных участков зеренной структуры (ГПа)

Состояние образца	Зерно феррита (1)	Граница ферритного зерна (2)	Вблизи границы ферритного зерна (3)	Тройной стык ферритных зерен (4)	Зерно перлита (5)
Исходный	0.891 ± 0.032	1.185 ± 0.173	1.226 ± 0.485	1.294 ± 0.485	1.518 ± 0.312

Таблица 2. Средние значения микротвердости вблизи специальных участков зеренной структуры (ГПа)

Состояние образца	Зерно феррита (1)	Граница ферритного зерна (2)	Вблизи границы ферритного зерна (3)	Тройной стык ферритных зерен (4)	Зерно перлита (5)
Отпущенный	0.877 ± 0.064	1.063 ± 0.245	1.202 ± 0.181	1.540 ± 0.678	1.044 ± 0.145

новного металла и для образцов наплавленного металла барабанов котлов высокого давления.

Микротвердость была исследована на следующих участках материала:

1. в теле зерен феррита (в центральной части);
2. в теле зерен перлита (в центральной части);
3. в границе зерна феррита;
4. вблизи границы зерна феррита (отпечаток пирамидки не касался границы зерна);
5. в тройном стыке ферритных зерен;

Перечисленные участки материала, в которых проводились измерения, представлены на рис. 4.

Полученные средние значения микротвердости в перечисленных участках приведены в табл. 1. Средние значения получены по 4-5 измерениям.

При анализе результатов измерения микротвердости установили, что наименее упрочненным участком исследуемого материала является тело зерна феррита, наиболее упрочненным – тело зерна перлита.

Кроме специальных участков зеренной структуры, была измерена микротвердость в районе трещины. Образец был протравлен так, чтобы четко выявлялась зеренная структура (границы

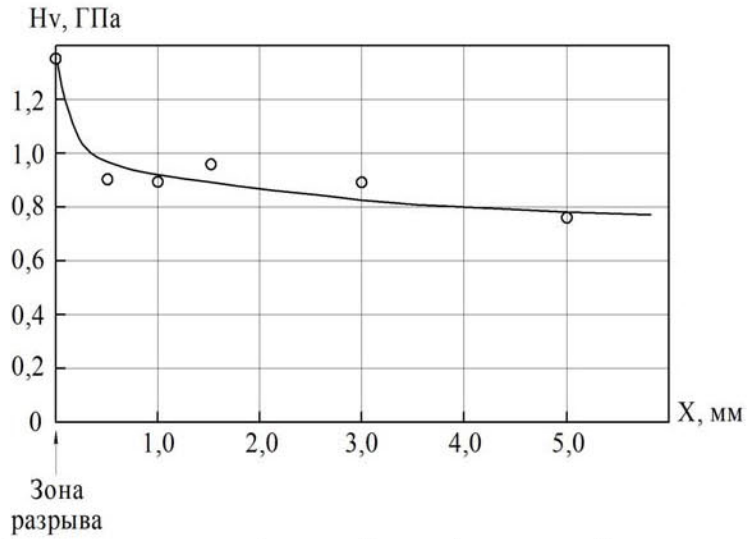


Рис. 5. Изменение микротвердости в образце длительно работающего металла по мере удаления от трещины

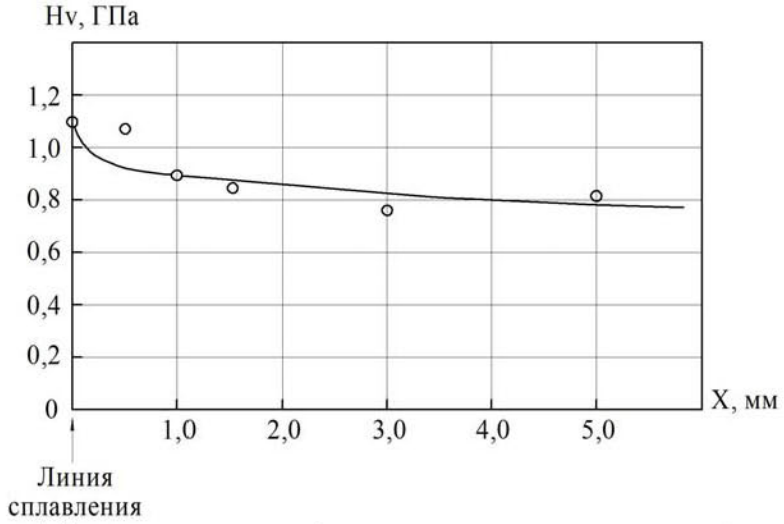


Рис. 6. Изменение микротвердости в зоне матрицы сварного соединения по мере удаления от линии сплавления

зерен и внутрезеренная структура). Измерения проводились в направлении, перпендикулярном трещине внутри ферритных зерен [2].

Полученные результаты измерений средних значений микротвердости представлены на рис. 5. Здесь наибольшие значения микротвердости выявлены вблизи зоны трещины и составляют 1,333 ГПа. По мере удаления от линии сплавления наблюдается монотонное уменьшение величины микротвердости до 0,756 ГПа.

Микротвердость на образцах наплавленного металла измеряли на тех же специальных участках, что и на образцах длительно работающего металла (см. рис. 4).

Полученные средние значения микротвердости приведены в табл. 2. Средние значения получены по 4–5 измерениям [2].

При анализе результатов измерения микротвердости установили, что наименее упрочненным участком исследуемого материала является тело зерна феррита, наиболее упрочненным – тело зерна перлита.

Кроме специальных участков зеренной структуры, была измерена микротвердость в линии сплавления. Образец был протравлен таким образом, чтобы четко выявлялась зеренная структура (границы зерен и внутрезеренная структура). Измерения проводились в направлении, перпендикулярном трещине внутри ферритных зерен.

Полученные результаты измерений средних значений микротвердости представлены на рис. 6 [2]. Ннаибольшие значения микротвердости выявлены вблизи линии сплавления и составляют 1,081 ГПа. По мере удаления от линии сплавления наблюдается монотонное уменьшение величины микротвердости до 0,76–0,812 Гпа [2].

Связь параметра кривизны-кручения кристаллической решетки с микротвердостью в различных участках ферритных зерен для специальной молибденовой стали представлен на рис. 7.

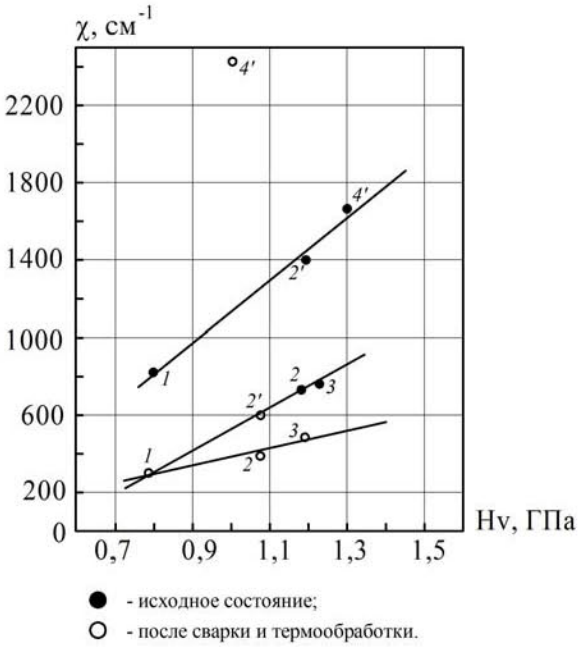


Рис. 7. Связь параметра кривизны-кручения кристаллической решетки с микротвердостью: 1 – тело ферритного зерна; 2 – граница двух ферритных зерен; 3 – вблизи границы ферритного зерна; 4 – тройной стык ферритных зерен; 2' – карбид на границе ферритного зерна; 4' – карбид в тройном стыке ферритных зерен

ВЫВОДЫ:

1. Выполнены измерения и проведено сравнение результатов измерения микротвердости в длительно работающем и наплавленном металле барабанов котлов высокого давления.

2. При анализе результатов измерения микротвердости установлено, что наименее упрочненным участком исследуемого материала является тело зерна феррита, наиболее упрочненным – тело зерна перлита. Наибольшее значение микротвердости для образцов длительно работающего металла выявлено вблизи магистральной трещины и составляет 1,333 ГПа, для образцов наплавленного металла – вблизи линии сплавления и равно 1,081 ГПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирнов, А. Н.* Структурно-фазовое состояние, поля внутренних напряжений и акустические характеристики в длительно работающем металле поврежденного барабана котла высокого давления / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, Э.В. Козлов и др. // Контроль. Диагностика. – 2012. – №7. – С. 13–17.

2. Диагностика, повреждаемость и ремонт барабанов котлов высокого давления / Н.В. Абабков, Н. И. Кашубский, В. Л. Князьков и др., под общ. ред. Смирнова А.Н. – М.: Машиностроение, 2011. – 256 с.

□ Авторы статьи:

Абабков
Николай Викторович,
канд. техн. наук, начальник отдела аспирантуры, докторантуры КузГТУ.
E-mail: n.ababkov@rambler.ru.

Смирнов
Александр Николаевич,
доктор техн. наук, профессор каф. технологии машиностроения КузГТУ,
тел. (384-2) 36-45-27

Козлов
Эдуард Викторович,
доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. каф. физики Томского государственного архитектурно-строительного университета.
E-mail: Kozlov@tsuab.ru