

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

1

DOI: 10.17223/9785946217408/307

**КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛА, ДЛИТЕЛЬНО РАБОТАЮЩЕГО
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

¹Аббатов Н.В., ¹Смирнов А.Н., ²Данилов В.И., ²Горбатенко В.В.

¹Кузбасский государственный технический университет
им. Т.Ф. Горбачева, Кемерово, Россия

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

В современных условиях большой объем оборудования теплоэнергетического комплекса в России уже выработал расчетные сроки эксплуатации. Однако экономическая ситуация в стране не позволяет произвести замену, и требует продолжать его использование, несмотря на риски возникновения технических, экологических и гуманитарных катастроф. Особенно это актуально в условиях Крайнего Севера и Сибири. Поэтому приходится уделять все большее внимание вопросам надежности оборудования, что в свою очередь требует развивать новые и совершенствовать существующие методики технического диагностирования и экспертизы промышленной безопасности. Так, например, для оценки состояния трубопроводов проводят «стресс-тест», то есть, на избранных участках нагружают до предела текучести с последующей проверкой герметичности. Однако использование в качестве характеристического параметра предела текучести материала физически слабо обосновано, так как он к конструктивной прочности прямого отношения не имеет. Параметры испытания могут быть уточнены путем анализа картин локализации пластического течения в нагружаемом материале. Для этих целей необходимо иметь данные о характере локализации деформации в материалах теплоэнергетического оборудования, эксплуатировавшегося в течение длительного срока, чему и посвящена настоящая работа.

Исследования характера локализации деформации были выполнены на образцах стали 20, вырезанных из разрушившейся после эксплуатации в течение 219 тысяч часов водоотпускной трубы фронтального экрана теплоэнергетической установки. Проводились механические испытания на одноосное растяжение с постоянной скоростью на испытательной машине Walter+Bai AG LFM-125 при одновременной регистрации картин локализации деформации методом цифровой корреляции изображений (DIC). Для сравнения те же самые эксперименты были выполнены на аналогичных образцах, вырезанных из трубы такого же типоразмера, которая в эксплуатации не была (исходное состояние). Обсуждение проводилось в рамках автоволновой теории локализации деформации [1].

Проведенные эксперименты показали, что после эксплуатации произошло более чем двукратное снижение пластичности стали с $22 \pm 1,9$ % до $9,7 \pm 1,1$ % и кардинальное изменение вида диаграммы нагружения. Если в исходном состоянии на диаграмме наблюдается характерная для низкоуглеродистых сталей площадка текучести, то после эксплуатации она отсутствует, следовательно, упругопластический переход в этом состоянии протекает без формирования полос Чернова – Людерса, а значит, на начальной стадии нагружения не происходит движения очагов локализованной деформации, пластическое течение развивается относительно однородно по всему объему образца до тех пор, пока не появляется зона стабильной локализации макродеформации. Эта зона с практически постоянным положением формируется задолго до достижения максимума деформирующего напряжения σ_B . По мере дальнейшего растяжения локальные деформации в этой зоне растут, а в остальном объеме образца почти не меняются, здесь в конечном итоге реализуется разрушение. Время появления устойчивой зоны локализации макродеформации t_{loc} коррелирует со временем достижения максимума напряжения t_B и с общим временем растяжения образца до разрушения t_{crac} .

Описанная эволюция картин локализации деформации, сопровождающаяся возникновением стабильных зон локализации деформации, проявляется и в исходном состоянии, и в любом другом. Следовательно, всегда можно определять времена появления t_{loc} , где в дальнейшем образуется шейка и происходит разрушение. В Таблице приведены значения t_{loc} для всех исследованных образцов. Видно, что после эксплуатации среднее время

Секция 6. Методы и средства неразрушающего контроля материалов и конструкций с иерархической структурой

появления устойчивой зоны локализации уменьшилось более чем в три раза, по сравнению с исходным состоянием.

Таблица

No.	Исходное состояние					После эксплуатации					
	1	2	3	4	Average	1	2	3	4	5	Average
t_{loc} , с	770	1070	780	1070	922±170	186	300	168	168	312	227±73
t_B , с	960	1367	951	1173	1112±198	354	468	420	366	414	404±46
t_{crac} , с	1342	1655	1187	1376	1390±195	590	793	709	651	599	688±84
a_1	0,52	0,67	0,70	0,82	0,69±0,09	0,68	0,43	0,28	0,29	0,67	0,47±0,20
a_2	0,80	0,78	0,82	0,90	0,82±0,05	0,52	0,64	0,40	0,46	0,75	0,51±0,10

Разброс времен t_{loc} для каждого из рассматриваемых состояний может быть обусловлено случайными колебаниями пластичности исследованных образцов выражаемой, например, относительным удлинением до разрыва δ . Так как нагружение происходит с постоянной скоростью v_{load} , между деформацией образца и временем существует прямая связь

$$\varepsilon_{loc} = \frac{v_{load} t_{loc}}{l_0}, \quad (1)$$

где l_0 – первоначальная длина образца. Тогда отношение времен t_{loc} и t_{crac} a_1 показывает долю однородной деформации от всей деформации материала до разрушения

$$a_1 = \frac{t_{loc}}{t_{crac}} = \frac{\varepsilon_{loc}}{\delta}. \quad (2)$$

Если произвести нормировку на время t_B , соответствующее максимальному напряжению σ_B , то можно определить долю однородной деформации до начала падающей части кривой нагружения a_2

$$a_2 = \frac{t_{loc}}{t_B} = \frac{\varepsilon_{loc}}{\varepsilon_B}. \quad (3)$$

Видно, что средние значения этих параметров a_1 и a_2 существенно отличаются для рассматриваемых состояний материала. Наибольшие различия наблюдаются для параметра a_2 , который к тому же обнаруживает наименьший разброс в каждой серии (0,82±0,05 для исходного состояния и 0,51±0,10 для состояния после эксплуатации).

В рамках автоволновой теории деформации [1] появление устойчивой зоны локализации связано с началом коллапса автоволны локализованной пластической деформации, то есть со стягиванием автоволны в шейку разрушения. В настоящей работе коллапс автоволны локализованной деформации характеризуется t_{loc} , ε_{loc} и параметром a_2 . Видно, что в исходном состоянии коллапс начинается значительно позднее, чем состоянии после эксплуатации. При этом длительность коллапса в обоих состояниях одинакова. Следовательно, при стресс-испытаниях однородное деформирование материала в исходном состоянии без опасности формирования критических зон локализации будет происходить даже, если в местах концентрации напряжений деформация будет достигать нескольких процентов. Предельное значение деформации здесь определяется параметром $a_2 = 0,82$. В состоянии после длительной эксплуатации параметр a_2 уменьшился до 0,51, то есть на 40 %, поэтому при стресс-испытаниях эксплуатировавшегося оборудования предельно допустимые значения деформации с учетом конструктивных особенностей должны быть на 40 % ниже.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук России на 2013-2020 годы при частичной финансовой поддержке гранта РНФ (соглашение №14-19-00724-П).

Литература

1. Зуев Л.Б., Данилов В.И., Баранникова С.А., Плосков Н.А. О природе упругопластического инварианта деформации // ЖТФ. 2018. Т. 88. № 6. С. 855-859.