

ДИАГНОСТИКА

УДК 620.172

ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ ПЕЧНЫХ ТРУБ УСТАНОВОК КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

В.К. КАРПИНЧИК
(ОАО «Нафтан», г. Новополоцк)

Рассмотрена длительная прочность печных труб из сталей 15X5M, 15X5M-У и 10X2M1 установок каталитического риформинга. Получен банк данных по длительной прочности среднехромистых сталей.

Для изготовления змеевиков трубчатых печей установок риформинга нефтеперерабатывающих предприятий используют среднехромистые стали типа 15X5M, 15X5M-У и 10X2M1 и их зарубежные аналоги [1]. Трубы печных змеевиков из этих сталей на установках каталитического риформинга обладают достаточной жаропрочностью, коррозионной стойкостью в среде топочных газов, сопротивлением водородной хрупкости и науглероживанию. Указанные выше свойства обеспечиваются легированием феррита сталей хромом и молибденом: хром повышает жаростойкость, температуру рекристаллизации и препятствует графитизации; молибден увеличивает жаропрочность, уменьшая ползучесть металла, и предотвращает тепловую хрупкость [2, 3,4].

В процессах каталитического риформинга улучшенная сталь 15X5M-У как более прочная нашла широкое применение по сравнению со сталью 15X5M [1, 2]. Процентное содержание легирующих элементов (5 % Cr; 0,5 % Mo) в этих сталях совпадает. Повышение прочности стали 15X5M-У достигается термообработкой, заключающейся в нормализации при 950 °С с последующим высоким отпуском при 720 °С и охлаждением на воздухе. Термообработка повышает предел прочности и текучести, что позволяет уменьшить толщину стенки труб.

Несмотря на то, что печные трубы из сталей 15X5M, 15X5M-У и 10X2M1 широко используются, отсутствуют данные о длительной прочности и допустимых напряжениях в этих сталях при больших сроках эксплуатации на установках риформинга. Это не позволяет достоверно оценить работоспособность и ресурс печных змеевиков.

Цель работы - получение данных по длительной прочности и допустимым напряжениям в сталях 15X5M, 15X5M-У и 10X2M1 после эксплуатации при температуре 570 °С на установках каталитического риформинга.

Значения длительной прочности сталей, полученные при испытаниях образцов после различных сроков эксплуатации, позволяют получить реальные допустимые напряжения металла и оценить ресурс дальнейшей безопасной эксплуатации печных змеевиков.

Номинальные допустимые напряжения $[\sigma]$ при температуре свыше 450 °С определяются из соотношения [4]:

$$[\sigma] = \sigma_{\text{дп}}^t / n,$$

где $\sigma_{\text{дп}}^t$ – длительная прочность при рабочей температуре, МПа; n – коэффициент запаса прочности – 1,5.

В табл. 1, 2 и 3 приведены экспериментальные данные по длительной прочности и соответствующим ей допустимым напряжениям в исследуемых сталях при температуре эксплуатации 570 °С и различных сроках эксплуатации. Там же для сравнения приведены нормативные значения длительной прочности этих сталей [5, 6].

Таблица 1

Длительная прочность и допустимые напряжения для стали 15X5M-У
при температуре эксплуатации 570 °С

РТМ 26-02-67-84 РД 10-249-98			Экспериментальные данные после эксплуатации $t_{\text{эксп}}$			L
$t_{\text{эксп}}$, ч	$\sigma_{\text{дпн}}$, МПа	$[\sigma]$, МПа	$t_{\text{эксп}}$, ч	$\sigma_{\text{дпн}}$, МПа	$[\sigma]$, МПа	
100000	46,0	30,6	108000	48,0	32,0	1,04
150000	43,0	28,6	152000	46,0	30,6	1,07
200000	40,0	26,6	192000	38,0	25,3	0,93
250000	39,0	26,0	240000	30,0	20,0	0,77
300000	38,0	25,3	300000*	28,0	18,6	0,74

* – данные, полученные экстраполяцией

О степени снижения длительной прочности в процессе эксплуатации можно судить по отношению L :

$$L = \sigma_{длн}^t / \sigma_{длн}^н$$

где $\sigma_{длн}^t$ – величина длительной прочности стали, полученная экспериментально после определенного срока эксплуатации, МПа; $\sigma_{длн}^н$ – величина длительной прочности стали нормативная, МПа.

Таблица 2

Длительная прочность и допустимые напряжения для стали 15X5M по результатам испытаний при 570 °С

$\tau_{эксп}$, ч	РТМ 26-02-67-84 РД 10-249-98		После эксплуатации, 150000 ч		L
	$\sigma_{длн}$, МПа	[σ], МПа	$\sigma_{длн}$, МПа	[σ], МПа	
100000	42,0	27,4	50,0	33,3	1,19
150000	39,0	25,4	47,0	31,3	1,20
200000	38,0	24,0	42,0*	28,0	1,10
250000	37,0	23,0	40,0*	26,6	1,08
300000	35,0	22,3	38,0*	25,3	1,08

* – данные, полученные экстраполяцией

При наработке 108000 ч и 152000 ч значения длительной прочности стали 15X5M-У, по сравнению с нормативными значениями, не снижаются. После эксплуатации в течение 192000 ч значение длительной прочности уменьшилось на 5 %, а параметр L составил 0,95. При наработке 240000 ч и 300000 ч эта тенденция еще более усиливается, значение длительной прочности уменьшилось на 23 % ($L = 0,77$) и 26 % ($L = 0,77$).

Таким образом, эксплуатационные условия оказывают влияние на работоспособность стали 15X5M-У уже после 192000 ч. Поэтому для металла теплоэнергетического оборудования допускается снижение значения длительной прочности до 20 % [4].

Из сопоставления прочностных свойств сталей 15X5M-У и 15X5M (см. табл. 1 и 2), после эксплуатации более 100000 ч при высоких температурах, следует, что преимущество стали 15X5M-У, полученное за счет термообработки, по сравнению со сталью 15X5M сохраняется. Однако с увеличением срока эксплуатации различие прочностных свойств сталей 15X5M-У и 15X5M заметно снижается, что связано с диффузионным перераспределением легирующих элементов между твердым раствором и карбидной фазой, приводящим структуру улучшенной стали 15X5M-У в более стабильное состояние, близкое к состоянию стали 15X5M после отжига.

Экстраполяция значений длительной прочности стали 10X2M1 после эксплуатации в течение 157620 ч на значения наработки 250000 ч и 300000 ч (см. табл. 3) показывает их снижение по сравнению с нормативными данными на 15 %.

Таблица 3

Длительная прочность и номинальные допускаемые напряжения образцов стали 10X2M1 после эксплуатации в течение 157620 ч при температуре 570 °С

$\tau_{эксп}$, ч	ГОСТ 5520-79, РД 10-249-98		После эксплуатации 157620 ч		L
	$\sigma_{длн}$, МПа	[σ], МПа	$\sigma_{длн}$, МПа	[σ], МПа	
10^5	46,0	30,6 (ГОСТ)	42,0	28,0	0,91
$2 \cdot 10^5$	39,0	28,6 (ГОСТ)	37,0	24,6	0,95
$2,5 \cdot 10^5$	41,0	27,9 (ГОСТ)	35,0*	23,3	0,85
$3 \cdot 10^5$	39,0	26,0	33,5*	22,3	0,85

* - данные, полученные экстраполяцией

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- длительная прочность основного металла печных труб сталей марок 15X5M, 10X2M1 сохраняется на уровне нормативных требований при эксплуатации в условиях каталитического риформинга до 250000 ч. При продолжительности эксплуатации до 300000 ч и более наблюдается прогрессирующее снижение значений длительной прочности по сравнению с нормативными значениями;

- преимущество стали 15X5M-Y по сравнению со сталью 15X5M сохраняется при наработке до 150000 ч. С увеличением продолжительности эксплуатации различие прочностных свойств этих сталей уменьшается. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что при расчетном ресурсе более 200000 ч применение стали 15X5M-Y нерационально.

Полученный банк данных по длительной прочности среднехромистых сталей может быть использован при оценке работоспособности аналогичного нефтехимического оборудования, а также других объектов и сооружений промышленности и строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Середин В.В., Тарасенков П.М. Оборудование и трубопроводы установок каталитического риформинга и гидроочистки. - Л.: Гостоптехиздат, 1963. - 250 с.
2. Легированные стали для нефтехимического оборудования / В.Г. Дьяков, Ю.С. Медведев и др. - М.: Машиностроение, 1971. - 184 с.
3. Дьяков В.Г., Мещерякова В.В. Исследование свойств стали 10X2M1 // Химическое и нефтяное машиностроение. - 1972. - № 8. - С. 20 - 22.
4. Антикайн П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов. - М.: Энергосервис, 2001.-439 с.
5. РТМ 26-02-67-84. Методика расчета на прочность элементов печей, работающих под давлением.
6. РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды.