К экспертизе печей литейного производства и оценке их остаточного ресурса

С.В. Мальцев эксперт ООО «Техника»

С.В. Сафонов эксперт ООО «Техника»

В.В. Симиниченко эксперт ООО «Техника»

Д.О. Надов эксперт ООО «Техника»

В.А. Скаков эксперт ООО «Техника»

В процессе проведения экспертизы промышленной безопасности плавильных печей литейного производства, таких как: САТ, ППС, ПВР, Колеман и других, как электрических так и работающих на газовом топливе, обследованию подвергаются следующие основные элементы: металлический кожух; огнеупорная футеровка; тигель; электрические нагревательные элементы или газовые горелки со всем газовым оборудованием находящемся между входной задвижкой и газовой горелкой. Из вышеперечисленных основных элементов печей: тигли; электрические нагревательные элементы, газовые горелки являются заменяемыми по мере их износа или выхода из строя, огнеупорная футеровка (кладка) так же по мере её износа периодически перекладывается. А вот металлический кожух и газовое оборудование являются элементами долго эксплуатирующимися, во всяком случае, ремонт или замена их проводится гораздо реже. Следовательно, состояние тиглей; электрических нагревательных элементов, газовых горелок, огнеупорной футеровки (кладки) не может быть положено в основу оценки остаточного ресурса. Из чего следует, что остаточный ресурс необходимо определять: для электрических печей по состоянию металлического кожуха; для газовых печей по состоянию либо металлического кожуха, либо газового оборудования.

При оценке остаточного ресурса по состоянию газового оборудования используется методика оценки остаточного ресурса технологических трубопроводов РД 10-400-01 [1] с учётом выявленных фактических толщин стенок элементов газового оборудования (труб, гибов, переходов, тройников) и максимально допустимого давления согласно РД 10-249-98 [2].

Остаточный ресурс (лет) определяется по формуле: $$\tau_0 = \frac{\hat{E}(S_{\min} - S_R)}{\tilde{N}}$$

Где: С - скорость коррозии металла трубопровода, [мм/год];

К - коэффициент, зависящий от категории и срока службы трубопровода, без замены = 1,0;

S_{min} – минимальная фактическая толщина стенки элемента газового оборудования (трубы, гиба, перехода, тройника);

S_R – расчётная (или отбраковочная) толщина стенки (мм).

Расчётная толщина стенки (мм) определяется по формуле: $$S_R = \frac{PD_e}{2\varphi[\sigma]^{20} + P}$$

Где: Р - рабочее давление (МПа);

D_e - диаметр (мм) элемента газового оборудования (трубы, гиба, перехода, тройника);

φ - коэффициент снижения прочности сварного соединения;

$[\sigma]^{90}$ - номинальное допускаемое напряжение (МПа).

При оценке остаточного ресурса по состоянию металлического кожуха предлагается в качестве оценочного критерия использовать изменение механических свойств металла, из которого изготовлен кожух.

Большинство плавильных печей литейного производства имеют цилиндрическую форму. Кожух этих печей представляет собой цилиндрическую сварную оболочку, внутри которой находится огнеупорная кладка и тигель. Состояние металлического кожуха этих печей значительно влияет на состояние и работоспособность огнеупорной кладки (для пламенных газовых печей ещё и на газоплотность огнеупорной кладки).

Несущая способность кожуха может быть рассчитана в соответствии с теорией оболочек, результатом расчётов является выбор марки стали и толщины стенки. Выбором толщины стенки задаётся прочность конструкции, а выбором марки стали – уровень механических свойств.

Основными дефектами металлических кожухов печей являются: деформационные вмятины или выпучины; образование зон локального перегрева металла кожуха (обычно появляются в результате нарушения огнеупорной кладки); дефекты, возникающие в результате утечки жидкого металла и попадания его на кожух; трещины в сварных соединениях кожухов печей.

Деформационные дефекты в нормативно-технической литературе ни как не нормируются, исходя из этого предлагается определять величину критического прогиба, из соблюдения условия $\sigma_\rho \leq [\sigma]_t$

Где: σ_ρ – эквивалентное напряжение в зоне максимальной кривизны ρ;

$[\sigma]_t$ – допускаемое напряжение при максимальной температуре стенки кожуха, выбирается по ГОСТ 14249-89 [3].

Если вышеупомянутое условие выполняется, то выявленный дефект не является недопустимым для дальнейшей безопасной эксплуатации печи.

В области дефектов таких как: образование зон локального перегрева металла кожуха; дефекты, возникающие в результате утечки жидкого металла и попадания его на кожух, изменяется структура металла кожуха печи и соответственно механические свойства металла. При выявлении подобных дефектов весьма затруднительно оценить остаточный ресурс. Изменения механических свойств металла кожуха печи могут быть настолько значительными, что потребуется замена этих участков кожуха.

Дефекты в виде трещин в сварных соединениях кожухов печей необходимо считать недопустимыми в случаях их протяжённости более 10% от длины шва, так как возникает опасность их развития во время работы печи, в результате знакопеременных термических нагрузок.

Наиболее влиятельным в отношении работоспособности кожуха печи является дефект – деградация механических свойств металла под длительным воздействием невысокой температуры. В течении времени воздействия невысокой температуры в структуре металла возможно протекание процессов термического и термодеформационного старения, первой стадии рекристаллизации (что рассмотрено в труде Диагностика металлов. Горицкий В.М. [4]).

Данные по исследованию и оценке деградации прочностных свойств кожухов печей в диапазоне температур 200…250 °С и эксплуатации порядка 10 лет показывают, что значительных

изменений не происходит. Было выявлено снижение пластических свойств в сравнении с указанными в ГОСТ 5520-79 [5]. Показателем исчерпания ресурса пластичности металла является отношение $\sigma_т/\sigma_в$

Где: $\sigma_т$ – предел текучести (кгс/мм^2);

$\sigma_в$ – временное сопротивление (кгс/мм^2).

После 10 лет эксплуатации это соотношение заметно возростает, что говорит о возможности протекания процессов термического и термодеформационного старения, первой стадии рекристаллизации. Можно сказать, что снижение пластичности стали свидетельствует о начале процессов термического старения. Из труда [6] следует, что все ощутимые влияния на свойства ферритно-перлитных сталей начинаются после 20 лет воздействия невысокой температуры. Учитывая вышеизложенное, предлагается следующая методика оценки остаточного ресурса кожухов печей литейного производства.

Рассмотрим номограмму (рис.1) на которой по оси ординат отложено отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_в$ для низколегированных малоуглеродистых сталей, по оси абсцисс – время эксплуатации.

Линия 1 построена для металла, подвергавшегося нагреву до температуры 200 °С, линия 2 - для металла, подвергавшегося нагреву до температуры не выше 40 °С.

В соответствии с РД 03-421-01 [7] за допустимый предел принято отношение $[\sigma_{0,2}/\sigma]=0,8$, за нормативный ресурс принято время эксплуатации $t_н=20$ лет. Линия 1 построена из предположения, что за 20 лет эксплуатации отношение $[\sigma_{0,2}/\sigma]$ достигнет максимально допустимого значения.

Предлагаемая методика предусматривает определение фактической твёрдости стали, пересчёт полученного значения твёрдости в значения $\sigma_{0,2}$ и σ по формулам, приведённым в РД 26.260.12-99 [8]. После этого определяется отношения $\sigma_{0,2}/\sigma$ и по номограмме определяется остаточный ресурс.

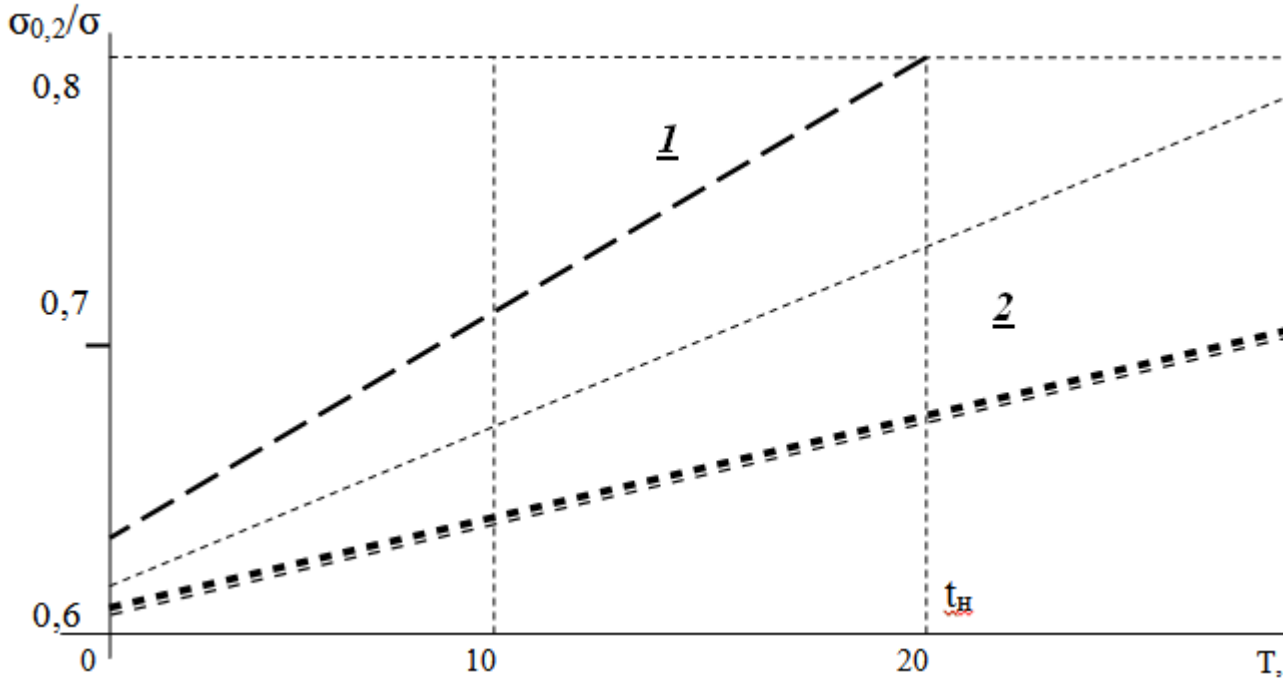


Рис. 1 Номограмма для определения остаточного ресурса кожухов печей литейного производства

Список литературы:

1. РД 10-400-01 Нормы расчета на прочность трубопроводов тепловых сетей.

2. РД 10-249-98 Нормы расчета на прочность стационарных котлов.

3. ГОСТ 14249-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность.

4. Горицкий В.М. Диагностика металлов. – М.: Металлургиздат, 2004. – 402 с.

5. ГОСТ 5520-79 Прокат листовой из углеродистой, низколегированной и легированной стали для котлов и сосудов работающих под давлением.

6. Пенкин А.Г., Терентьев В.Ф., Маслов Л.И. Оценка остаточного ресурса работоспособности трубных сталей с использованием методов акустической эмиссии и кинетической микротвёрдости. – М.: Интерконтакт Наука, 2004.-70 с.

7. РД 03-421-01 Остаточный срок службы сосудов и аппаратов.

8. РД 26.260.12-99 Продление срока службы резервуаров для жидкой двуокиси углерода.