

УДК 620.17

Оценка механических свойств трубной стали типа 15ХМ при термомеханическом нагружении

Кунавин Сергей Алексеевич^(*)

kun-serg@mail.ru

Скоробогатых Владимир Николаевич

VNSkorobogatykh@cniitmash.com

Нахабина Мария Сергеевна

MSNakhabina@cniitmash.com

Хаймин Сергей Валерьевич

SVKhaymin@cniitmash.com

Мельников Алексей Петрович

APMelnikov@cniitmash.com

АО «НПО «ЦНИИТМАШ», Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрено влияние механического нагружения (статического и циклического) в интервале температур $T = 20–400$ °С на сопротивление разрушению основного металла и сварного соединения горячекатаной трубы $219,1 \times 12,5$ мм, изготовленной из стали 15ХМ. Установлено, что все значения разрушающих напряжений располагаются выше значений расчетной кривой выносливости и удовлетворяют требованиям нормативной документации.

Ключевые слова: механические испытания, структура металла, прочность, пластичность, механизмы разрушения, малоцикловая усталость

Введение. Стали типа 15ХМ, нашли широкое применение в изделиях тепловой энергетики, особенно при производстве трубопроводов энергетического машиностроения [1, 2]. Для эффективного использования данной стали для изделий (трубопроводов) атомной энергетики необходимо провести комплексное экспериментальное исследование механических свойств металла труб при различных условиях термомеханического нагружения.

Материалы и методы; результаты. В настоящей работе проведены исследования основного металла и сварного соединения горячекатаной трубы диаметром 219,1 мм и толщиной стенки 12,5 мм. Металл трубы имеет феррито-перлитную структуру. Испытания проводили на цилиндрических образцах, вырезанных из обечайки трубы в тангенциальном направлении в интервале температур $T = 20–400$ °С.

Механические испытания образцов исходного основного металла показали, что в диапазоне температур $T = 150–300$ °С происходит возрастание значений временного сопротивления σ_B и условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ по сравнению с комнатной температурой, при этом значения прочностных характеристик выше установленных в нормативных документах на 20–60 % в зависимости от температуры испытания.

Характеристики пластичности: относительное удлинение δ_5 и относительное сужение ψ также выше нормативных значений соответственно на 6–38 % (минимальное при $T = 375$ °С, максимальное при $T = 350$ °С) и на 35–73 % (минимальное при $T = 375$ °С, максимальное при $T = 150$ °С).

Значения σ_B для сварного соединения также выше минимальных значений, указанных в нормативных документах, на 11–15 %.

Циклические испытания в области малоциклового усталости (МЦУ) при отнулевом цикле изменения синусоидальной нагрузки показали, что с повышением температуры испытания кривая усталости при $T = 400^\circ\text{C}$ располагается немного выше кривой при $T = 20^\circ\text{C}$. Для сварного соединения повышение температуры до $T = 400^\circ\text{C}$ приводит к снижению сопротивления усталостному разрушению. При всех температурах испытания кривая выносливости основного металла лежит выше кривой усталости сварного соединения.

Для всех образцов основного металла и сварного соединения реализуется один и тот же макромеханизм разрушения (МР) по типу «чашка-конус». На поверхности разрушения образцов обоих вариантов отчетливо выявляется ямочный рельеф, свидетельствующий о вязком характере разрушения.

В области МЦУ реализуется два типа разрушения: квазистатический и смешанный, когда зарождению усталостной трещины предшествует накопление макро и микропластической деформации. При обеих температурах испытания условной границей реализации данных типов разрушения является $N_p \sim 2 \cdot 10^4$ циклов. При $N_p > 2 \cdot 10^4$ реализуется смешанный характер разрушения.

Заключение. Сравнение с обобщенной расчетной кривой выносливости, приведенной в нормативных документах по оценке прочности и ресурса работы материалов атомной энергетики, показало, что все значения разрушающих напряжений при циклическом нагружении, где реализуется смешанный и усталостный характер разрушения располагаются выше значений расчетной кривой выносливости.

Список источников

- [1] Петреня Ю.К. *Физико-механические основы континуальной механики повреждаемости*. Санкт-Петербург, АОТ «НПО ЦКТИ», 1997, 147 с.
- [2] Луценко В.А., Голубенко Т.Н., Луценко О.В. Особенности кинетики распада и структурообразования в хромомолибденованадиевой стали при непрерывном охлаждении от различных температур аустенизации. *Литье и металлургия*, 2016, № 3 (84), с. 1–5.