

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫХ ТРУБ

В. П. Ярцев, М. А. Загородникова

ФГБОУ «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор П. В. Монастырев

Ключевые слова и фразы: асбестоцемент; долговечность; механотермический процесс; напряжение; прочность; работоспособность; разрушение; термофлуктуационная теория разрушения; энергия активации.

Аннотация: С позиции термофлуктуационной теории разрушения твердых тел рассмотрена проблема повышения прочности и долговечности асбестоцементных труб. На основании полученных результатов дан прогноз работоспособности асбестоцемента с учетом внешних воздействий, а также учтено влияние защитных покрытий на прочность и долговечность асбестоцементных труб.

В процессе эксплуатации асбестоцементные трубы подвергаются различным силовым, температурным и химическим воздействиям. Чтобы узнать реальный срок службы материала, необходимо наблюдение и изучение его в течение всего периода эксплуатации, что в реальных условиях практически невыполнимо. Кроме того, на долговечность значительное влияние оказывают такие факторы, как неоднородность материала, перенапряжения, вызванные различным происхождением компонентов, попеременное увлажнение-высушивание, степень уплотнения смеси компонентов, пустоты от недоуплотнения и другие факторы.

Долговечность и эксплуатационная надежность асбестоцементных труб определяется структурой композиционного материала асбестоцемента. Ее особенности связаны с микродисперсным армированием цементного камня волокнами асбеста, анизотропностью, обусловленной ориентацией волокон асбеста и значительной технологической пористостью [1].

Для асбестоцементных материалов резко проявляется температурно-временная зависимость прочности. В связи с этим прогнозирование долговечности целесообразно проводить с позиции термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования твердого тела.

Ярцев Виктор Петрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений», e-mail: kzis@nnn.tstu.ru; Загородникова Мария Александровна – магистрант кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ТамбГТУ, г. Тамбов.

Суть концепции состоит в том, что при любых температурах механическое разрушение является происходящим во времени механотермическим процессом, реализуемым через элементарные акты разрыва межатомных (химических) связей. Время само по себе роли не играет, оно лишь увеличивает количество тепловых флуктуаций, необходимых для реализации процессов разрыва связей [2]. Разрушение происходит не в результате подходящих условий, а является результатом необратимых изменений, которые накапливаются с момента приложения любой нагрузки и приводят к разрушению тела на части [1].

Процесс описывается уравнением, с помощью которого возможно прогнозировать долговечность и время эксплуатации материала в широком диапазоне нагрузок и температур [3]

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma \sigma}{RT} \left(1 - \frac{T}{T_m} \right) \right], \quad (1)$$

где τ_m – минимальная долговечность (период колебания кинетических единиц: атомов, молекул, сегментов), с; U_0 – максимальная энергия активации процесса разрушения, кДж/моль; γ , β – структурно-механические константы, кДж/(моль·МПа); T_m – предельная температура существования твердого тела (температура разложения), К; R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К); σ – напряжение, МПа; T – температура, К.

В целях прогнозирования долговечности проведены длительные испытания образцов асбестоцементной трубы БНТ 100 ГОСТ 1839–80 на поперечный изгиб при заданных значениях напряжений и температур. Образцы выпилены в форме балочек с размерами $130 \times 10 \times 9$ мм.

При различных фиксированных параметрах σ и T испытано по 12 образцов в одинаковых условиях и определено время до их разрушения. В результате получены зависимости долговечности от напряжения при поперечном изгибе, представленные на рис. 1, а, из которого видно, что зависимость представляет собой семейство прямых линий, образующих «прямой пучок», и сходящихся в одной точке – «полюсе». Для данного материала четко проявляется температурно-временная зависимость прочности. С повышением температуры уменьшается угол наклона прямой, то есть уменьшается долговечность при данном значении напряжения.

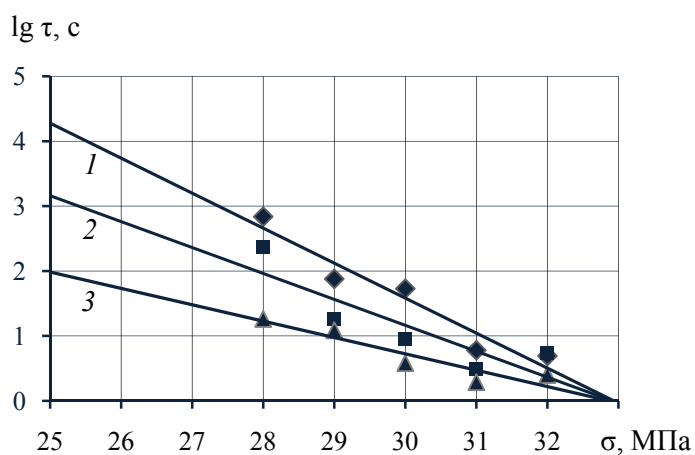
Для выявления аналитической зависимости, связывающей долговечность, напряжение и температуру, графики перестроены в координаты $\lg \tau - 10^3/T$ (рис. 1, б), из которых определены константы τ_m и T_m – координаты полюса (точка пересечения прямых).

С помощью уравнения

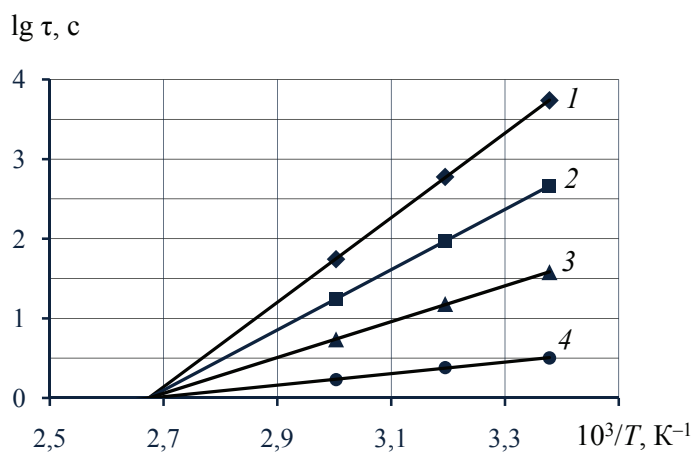
$$U = \frac{2,3R\Delta \lg \tau}{\Delta(10^3/T)}. \quad (2)$$

определены значения энергии активации U при заданных значениях напряжений, по которым построена зависимость в координатах $U - \sigma$ (рис. 2). При экстраполяции на $\sigma = 0$ определена величина U_0 ; по тангенсу угла наклона прямой – значение γ .

Полученные значения физических констант для асбестоцементной трубы представлены в таблице (строка 1). Значения величин U_0 и γ



a)



b)

Рис. 1. Зависимость долговечности асбестоцементных труб при поперечном изгибе:
a – от напряжения при различных температурах, °С: 1 – 23; 2 – 40; 3 – 60;
b – от температуры при различных напряжениях, МПа: 1 – 26; 2 – 28; 3 – 30; 4 – 32

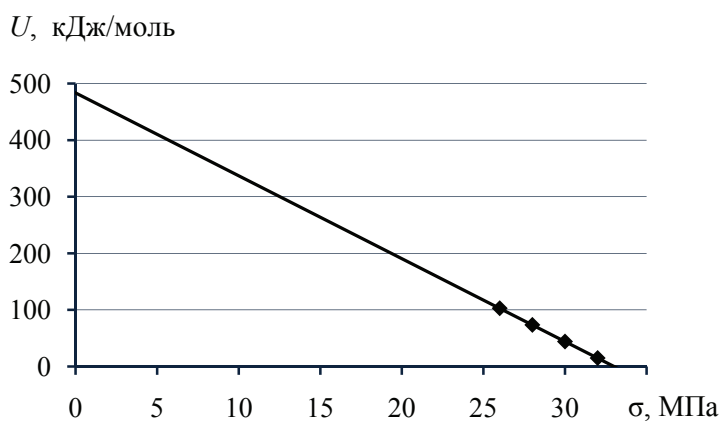


Рис. 2. Зависимость энергии активации от напряжения

**Значения констант для асбестоцементной трубы
при поперечном изгибе**

Условия	τ_m , с	U_0 , кДж/моль	γ , кДж/(моль·МПа)	T_m , К
Без воздействия агрессивных факторов	$10^{-0,00364}$	483,5	14,64	374
При выдержке в кислоте в течение:				
3-х суток	$10^{-1,4}$	386	10,51	467,3
7-ми суток	$10^{-2,3}$	367	10,2	492,6

указывают на то, что работоспособность асбестоцемента определяется параметрами асбестового волокна. Константа τ_m определяет, что разрушение асбестоцементных материалов происходит в результате колебания крупных кинетических единиц, а величина предельной температуры существования материала T_m указывает на определяющую роль термостойкости асбестового волокна [1].

При известных значениях физических констант рассчитывается по формуле (1) долговечность, а также другие параметры работоспособности асбестоцемента (прочность и термостойкость) при заданных напряжении, температуре и времени эксплуатации.

Например, зададим параметры условий эксплуатации, близкие к реальным, для безнапорных асбестоцементных труб. Пусть $T = 295$ К, $\sigma = 0,2$ МПа. Тогда по формуле (1) долговечность будет равна более 150 годам. Однако в реальных условиях этот срок будет значительно меньше, так как формула не учитывает атмосферных воздействий, процессов коррозии, сезонных перепадов температуры и влажности и других параметров.

Ранее проведены исследования асбестоцементных труб под действием агрессивной среды [1]. В условиях эксплуатации, близким к реальным для канализационных труб (серная кислота 10%-й концентрации), изучено влияние агрессивной среды на долговечность асбестоцемента.

В таблице приведены значения физических констант, полученные по результатам исследований.

Из таблицы видно, что воздействие агрессивной среды приводит к изменению констант. При увеличении времени выдержки в кислоте температура полюса T_m несколько увеличивается, U_0 и γ снижаются незначительно (около 5 %), а величина τ_m уменьшается почти в 10 раз.

Сравнивая значения констант, представленные в таблице, можно сделать вывод, что воздействие агрессивной среды значительно снижает долговечность асбестоцемента. Подставляя константы, полученные при воздействии кислоты, в формулу (1), при тех же параметрах T и σ получаем в первом случае значение долговечности 90 лет, а во втором – около 30 лет.

В связи с негативным характером воздействия агрессивной среды на асбестоцемент, для защиты труб необходимо применять специальные защитные покрытия. Причем, так как долговечность напрямую зависит от прочности материала при постоянной температуре, то повышение долговечности возможно осуществить путем увеличения прочности асбестоцементных труб с помощью этих покрытий.

Влияние защитных покрытий при воздействии внешней среды приводит к изменению прочности и долговечности материала. Однако характер зависимости сохраняется, следовательно, для прогнозирования долговечности при обработке покрытием можно также пользоваться формулой (1).

Итак, долговечность асбестоцементных труб можно прогнозировать. Термофлуктуационный подход к разрушению позволяет рассчитать их работоспособность в широком диапазоне нагрузок, температур и времени эксплуатации.

Список литературы

1. Кожухина, О. Н. Прогнозирование работоспособности асбестоцементных труб с защитным покрытием / О. Н. Кожухина, В. П. Ярцев // Эффективные строительные конструкции: теория и практика : сб. ст. IV Междунар. науч.-тех. конф. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Рос. акад. архитектуры и строит. наук, Пенз. гос. ун-т архитектуры и стр-ва, О-во «Знание». – Пенза, 2005. – С. 213 – 215.
2. Ратнер, С. Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? / С. Б. Ратнер, В. П. Ярцев. – М. : Химия, 1992. – 320 с.
3. Регель, В. Р. Кинетическая природа прочности твердых тел / В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский. – М.: Наука, 1974. – 560 с.

References

1. Kozhukhina O.N., Yartsev V.P. *Effektivnye stroitel'nye konstruksii: teoriya i praktika* (Efficient building construction: theory and practice), Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference, Penza, 2005, pp. 213-215.
2. Ratner, S. B. *Fizicheskaya mekhanika plastmass. Kak prognoziruyut rabotosposobnost'?* / S. B. Ratner, V. P. Yartsev. – Moscow: Khimiya, 1992, 320 p.
3. Regel', V.R. Slutsker A.I., Tomashevskii E.E. *Kineticheskaya priroda prochnosti tverdykh tel* (Kinetic nature of the strength of solids), Moscow: Nauka, 1974, 560 p.

Prediction of Durability of Asbestos-Cement Pipes

V. P. Yartsev, M. A. Zagorodnikova

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: activation energy; asbestos-cement; durability; failure; mechanical-thermal process; operation capacity; resistibility; stress; thermo-fluctuation strength theory.

Abstract: The problem of improving strength and durability of asbestos-cement pipes was examined in conformity with the thermo-fluctuation approach to fracture of solids. Based on these results we can predict the performance of asbestos cement taking into account external influences, and also consider the impact of protective coatings on the strength and durability of cement pipes.

© В. П. Ярцев, М. А. Загородникова, 2014

Статья поступила в редакцию 02.09.2013 г.