

УДК 539.2

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОДОРОДНОЙ КОРРОЗИИ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СОСТАВНОЙ КОНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Белов А.В., Поливанов А.А., Попов А.Г.

*Камышинский технологический институт (филиал)
ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»*

На основе системного подхода разработана методика решения комплексной задачи по оценке прочности и долговечности стальных оболочек вращения с учетом необратимых деформаций, повреждаемости материалов вследствие ползучести и высокотемпературной водородной коррозии.

В качестве примера определено напряженно — деформированное состояние составной конической оболочки при совместном учете факторов, влияющих на ее прочность и долговечность: воздействие высокой температуры, возникновение пластических деформаций, развитие деформаций ползучести, накопление повреждений в материале при ползучести и деградации механических свойств материала вследствие высокотемпературной водородной коррозии.

Ключевые слова: тонкостенные оболочки, высокотемпературная ползучесть, водородная коррозия.

В данной работе изложена разработанная авторами [1, 2, 3, 5] методика решения комплексной задачи по оценке прочности и долговечности оболочек вращения с учетом повреждаемости материалов вследствие ползучести и высокотемпературной водородной коррозии.

Определено напряженно — деформированное состояние составной оболочки при совместном учете факторов, влияющих на ее прочность и долговечность: воздействие высокой температуры, возникновение пластических деформаций, развитие деформаций ползучести, накопление повреждений в материале при ползучести и деградации механических свойств материала вследствие высокотемпературной водородной коррозии.

Задача решалась в термовязкоупруго-пластической постановке, с учетом повреждаемости материалов при ползучести и водородной коррозии.

Учет влияния высокотемпературной водородной коррозии на механические свойства материалов осуществляется с использованием модели воздействия на оболочку водородосодержащей среды [4], в соответствии с которой влияние водорода на свойства материала представляется в виде дифференциального уравнения для параметра химического взаимодействия водорода с материалом конструкции μ , изменяющегося от μ_0 до $\mu_{кр}$, принадлежащего интервалу (0; 1) и характеризующего степень повреждения материала вследствие водородной коррозии:

$$\frac{d\mu}{dt} = k \cdot \mu (1 - \mu) \quad (1)$$

с начальными условиями:

$$t = 0, \mu = \mu_0(p, T, \omega_c). \quad (2)$$

Здесь $k(p, T, \omega_c)$ — коэффициент, учитывающий влияние давления p , температуры T и степени поврежденности материала в следствии ползучести ω_c на кинетику химических превращений, приводящих к деградации физико-механических свойств материала.

Воздействие водорода на материал начинается с поверхности оболочки, непосредственно контактирующей с водородосодержащей средой, и проявляется в обезуглероживании материала. По мере проникновения водорода в материал этот процесс распространяются в глубь конструкции с образованием области обезуглероженного материала. Поверхность, разграничивающую области материалов в исходном и обезуглероженном состоянии, будем называть фронтом обезуглероживания.

Кинетика перемещения фронта обезуглероживания для оболочки определяться следующим выражением [4]:

$$z = r_b \left[\left(1 + \frac{h}{r_b} \right)^f - 1 \right], \quad f = 1 - \left[\frac{m \cdot \lambda \cdot \exp(B/T)}{t_{\text{фронта}} \cdot P_b^u} \right]^{2-u}, \quad (3)$$

где z — глубина обезуглероживания, отсчитываемая от поверхности контакта оболочки с водородом; h — толщина оболочки; r_b — внутренний радиус оболочки; $t_{\text{фронта}}$ — время, которому соответствует определяемая глубина обезуглероживания, m — константа материала.

Таким образом, исследуя историю изменения НДС оболочки с учетом перемещения фронта обезуглероживания и повреждаемости материалов при ползучести и высокотемпературной водородной коррозии, и используя соответствующие критерии мгновенной и длительной прочности, можно оценить ее несущую способность и долговечность с учетом воздействия всех вышеназванных факторов.

В качестве примера рассмотрено напряженно — деформированное состояние равномерно нагретой до температуры 500°C оболочки, находящейся под воздействием давления водорода.

Оболочка изготовлена из материала сталь 20 и имеет геометрические размеры, как показано на рисунке 1.

Исследуемая оболочка состоит из трех участков. По форме меридиана координатной поверхности все три участка оболочки являются коническими. Левый торец оболочки жестко заделан, правый свободен. Толщина первого участка 40 мм (конусность 30°), третьего — 30 мм (конусность 10°). Второй участок является переходным (конусность 1,575°). Давление водорода осуществляется с внутренней стороны.

В работе [6] определено упругопластическое напряженное состояние оболочки такого типа, находящейся в условиях неизотермического нагружения, без воздействия водородосодержащей среды и внешних сил. В отличие от этого, определим на-

пряженно — деформированное состояние ной температуре и внутреннем давлении во-
такой оболочки, находящейся при постоян- дорода.

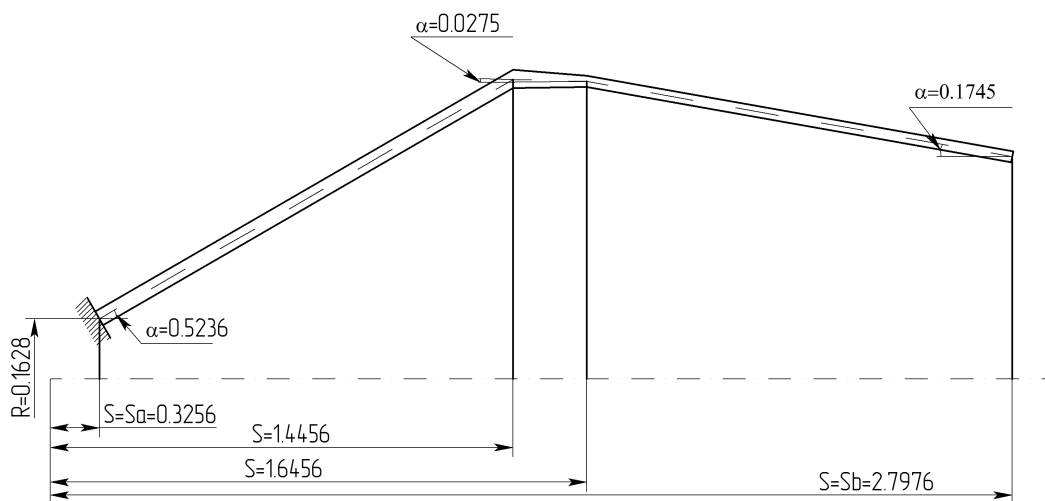


Рис. 1.

Константы материала в соотноше-
ниях были взяты из [4], которые для ста-
ли 20 при данных условиях нагруже-
ния принимают следующие значения:
 $k=1,49 \cdot 10^{-5}$ (МПа)*u, ч; $u=1,73$; $B=13500$;
 $\lambda=5$. Влияние уровня напряжений на ско-

рость обезуглероживания в данном расчете
не учитывалось.

Некоторые результаты расчета дан-
ной оболочки с учетом воздействия водоро-
да приведены на рис. 2-3.

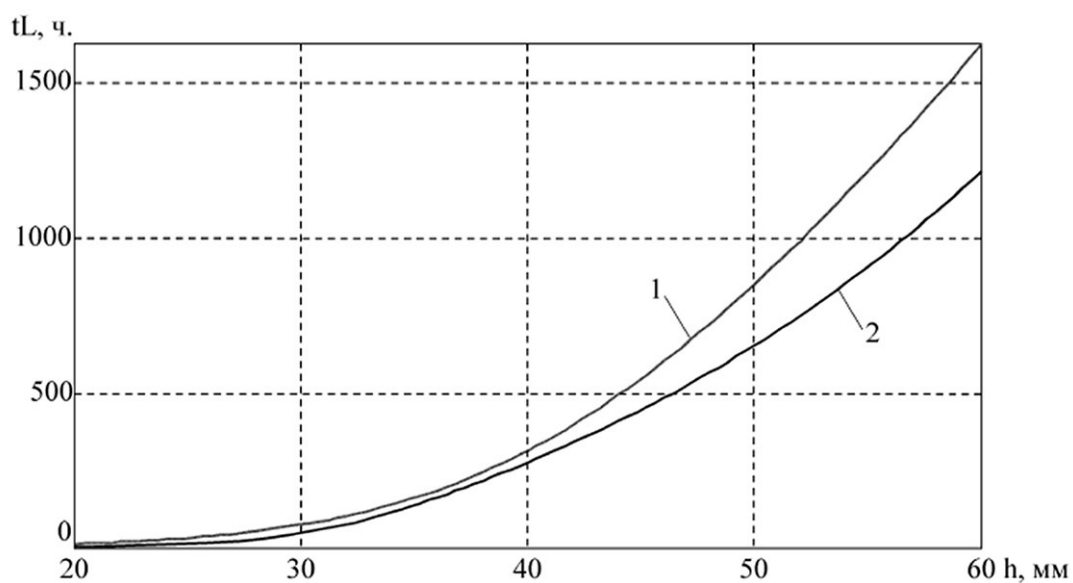


Рис. 2.

На рисунке 2 приведен график зависимости времени локального разрушения от толщины стенки первого участка при неизменном давлении $P = 2,5$ МПа. Кривая 1 соответствует расчету без учета воздействия водородосодержащей среды, кривая 2 — с учетом воздействия водородосодержащей среды.

Из графика видно, что воздействие во-

дородосодержащей среды существенно снижает время до разрушения данной оболочки.

Наиболее нагруженными точками оболочки являются точки внутренней поверхности, при этом локальное разрушение во всех случаях происходит в точке этой поверхности с меридиональной координатой $S = 0,457$ м.

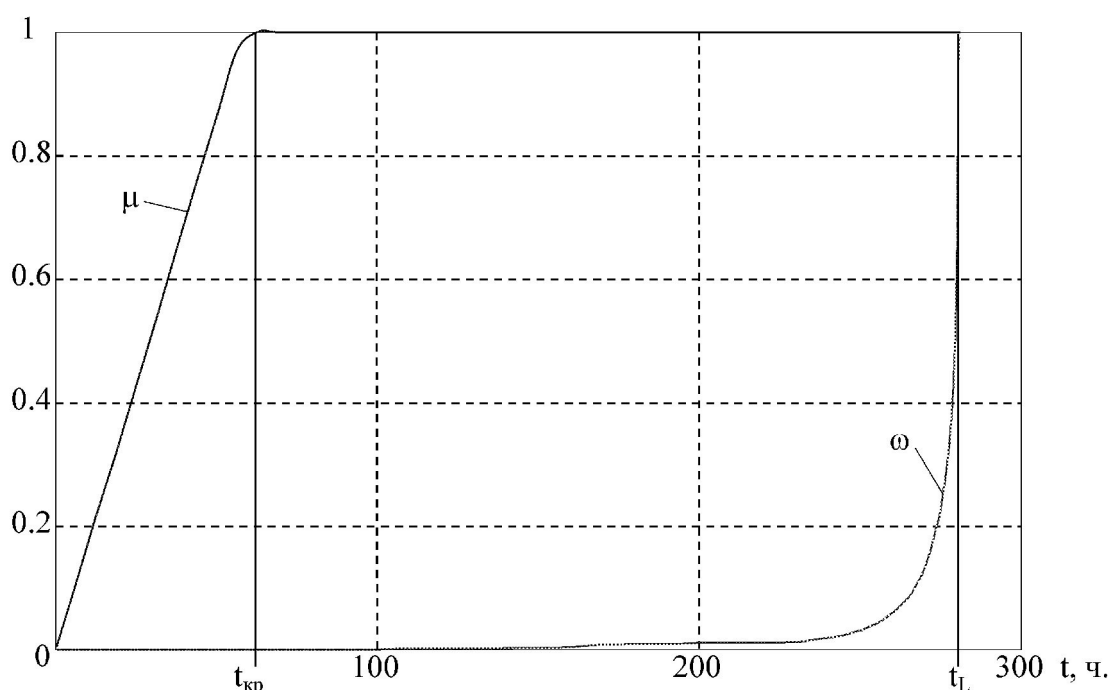


Рис. 3.

На рисунке 3 приведены графики показывающие изменение во времени параметров μ и ω в этой точке для толщины первого участка 40 мм и давления 2,5 МПа. При этом параметр μ достигает критического значения через 58 часов (завершение процесса обезуглероживания), а параметр ω — через 280 часов (начало процесса разрушения).

Список литературы

1. Белов А.В. Осесимметричное упруго-пластическое напряженно — деформированное состояние оболочек вращения с учетом повреждаемости материала при ползучести: Автореферат дисс. канд. техн. наук. — Киев, 1989. — 18 с.
2. Поливанов А.А. Осесимметричное упругопластическое деформирование многослойных оболочек вращения с учетом повреждаемости материала при ползучести: Автореферат дисс. канд. техн. наук. — Волгоград, 2004. — 19 с.

3. V. Bagmutov, A. Belov, A. Polivanov Damage Calculation Features of Multi-layered Shells of Rotation at Thermo-Viscous-Elasto-Plastic Strain // МЕХАНИКА, 2004, No 3(47) — p. 19-23.

4. Овчинников И.Г., Хвалько Т.А. Работоспособность конструкций в условиях высоко-температурной водородной коррозии: Саратов, 2003. 176 с.

5. Белов А.В., Поливанов А.А., Попов А.Г. Современные проблемы науки и образования №1 2008. — С. 48-53.

6. Методика решения осесимметричной задачи термовязкопластичности для слоистых оболочек на ЕС ЭВМ / Ю.Н. Шевченко, М.Е. Бабешко, И.В. Прохоренко.— Киев: Наук. думка, 1981. — 66 с.

INFLUENCE OF HIGH-TEMPERATURE HYDROGEN CORROSION ON BEARING STRENGTH OF THE COMPOUND CONIC SHELL OF THE DIFFICULT FORM

Belov A.V., Polivanov A.A., Popov A.G.

*Kamyshin Technological Institute (branch) of State Educational Establishment
of Higher Professional Education “Volgograd State Technical University”*

On the basis of the system approach a procedure of the solution to the complex problem to evaluate strength and durability of steel shells in view of irreversible deformation, damageability of materials due to creep and high — temperature hydrogen — type corrosion was developed.

Elasto-plastic stressed — strained state of a compound conical shell is defined as an instance at the same time taking into account the factors affecting its strength and durability: the affect of high temperature, occurrence of plastic deformation, development of creep strains, accumulation of faults to the material when creeping and degradation of mechanical characteristics of the material owing to high — temperature hydrogen — type corrosion.

Keywords: thin single shell, high-temperature creep, hydrogen hydrogen-type corrosion.