

УДК 539.2

ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ СОСТАВНОЙ ОБОЛОЧКИ С УЧЕТОМ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ МАТЕРИАЛА ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОДОРОДНОЙ КОРРОЗИИ

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

Камышинский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: director@kti.ru

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

THE LONG-LIVED STRENGTH OF THE COMPOUND CONICAL SHELL IN VIEW OF DAMAGEABILITY OF A MATERIAL AT CREEPING AND A HIGH-TEMPERATURE HYDROGEN-TYPE CORROSION

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

Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Kamyshin, e-mail: director@kti.ru

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, damage-ability 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

В статье изложена разработанная авторами [1, 2, 5, 7] методика решения комплексной задачи по оценке прочности и долговечности стальных оболочек вращения с учетом деформаций и повреждаемости материалов вследствие ползучести и высокотемпературной водородной коррозии.

В качестве примера определено напряженно-деформированное состояние (НДС) 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 соответ-

ствии 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:

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

Здесь $k(p, T, \omega_c)$ – коэффициент, учитывающий влияние давления p , температуры T и степени поврежденности материала вследствие 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 распространяется 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 определяется следующим выражением [4]:

$$z = r_b \left[\left(1 + \frac{h}{r_b} \right)^f - 1 \right],$$

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

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, λ – константы материала; u, B – коэффициенты; T – тем-

пература; P_b – давление на внутренней поверхности оболочки.

Для исследования стадии распространения поврежденности материала оболочки в первом приближении используется метод, предложенный Л.М. Качановым [3], основанный на изучении перемещения фронта повреждаемости (поверхности, разграничивающей разрушенную и неразрушенную области 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 [6], можно оценить ее несущую способность и долговечность с учетом воздействия всех вышеперечисленных факторов.

В качестве примера рассмотрено НДС 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 рис. 1.

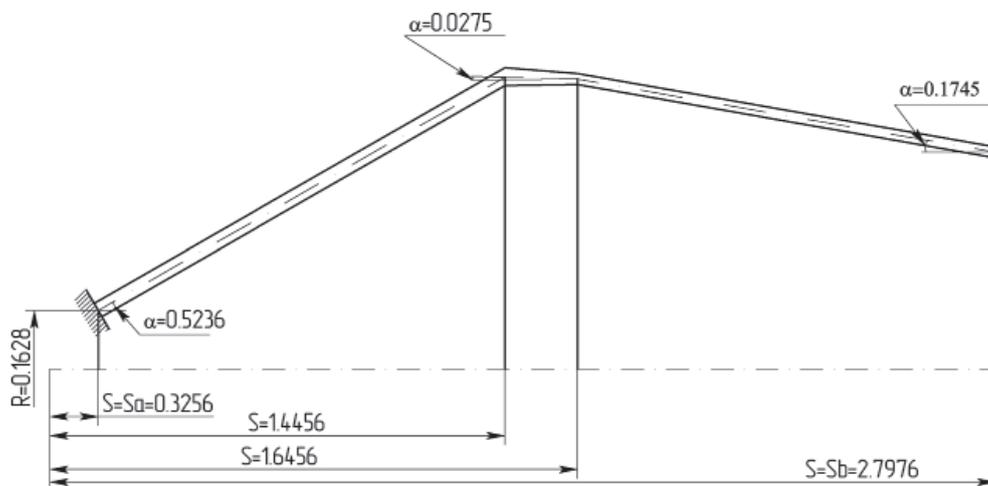


Рис. 1. Толщина первого участка 40 мм (конусность 30°), третьего – 30 мм (конусность 10°). Второй участок является переходным (конусность 1,575°)

Давление водорода осуществляется с внутренней стороны. Константы и коэффициенты материала в соотношениях (1), (2), (3) были взяты из [4]. Влияние уровня напряжений на скорость обезуглероживания в данном расчете не учитывалось.

Некоторые результаты расчета данной оболочки с учетом воздействия водорода приведены на рис. 2, 3.

Из графиков видно, что воздействие водородосодержащей среды снижает время до разрушения данной оболочки на 50–60%.

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

Предложенная авторами методика позволяет повысить точность расчета тонкостенных осесимметричных конструкций сложной формы, работающих в условиях высоких температур, ползучести материала и воздействия высокотемпературной водородной коррозии.

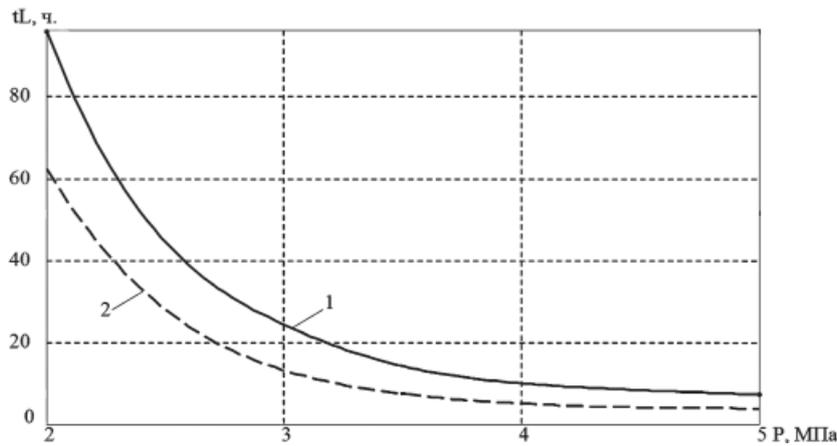


Рис. 2. Зависимость времени локального разрушения от внутреннего давления при постоянной толщине стенок оболочки: кривая 1 соответствует расчету без учета воздействия водородосодержащей среды; кривая 2 – с учетом воздействия водородосодержащей среды

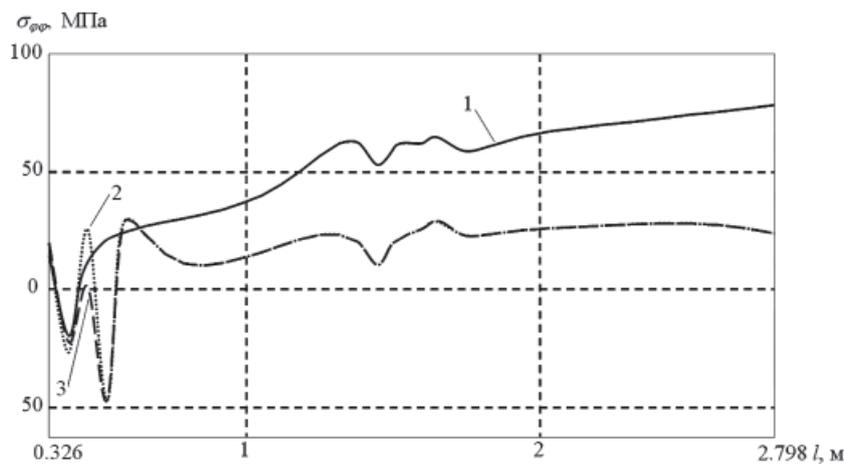


Рис. 3. Диаграммы окружных напряжений в этих точках в различные моменты времени для давления $P = 2,5$ МПа. Кривая 1 соответствует началу процесса нагружения; кривая 2 – моменту времени $t = 280$ ч. (непосредственно перед разрушением); кривая 3 – моменту времени $t = 281$ ч. (сразу после локального разрушения)

Список литературы

1. Белов А.В. Осесимметричное упругопластическое напряженно-деформированное состояние оболочек вращения с учетом повреждаемости материала при ползучести: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1989. – 18 с.
2. Белов А.В., Поливанов А.А., Попов А.Г. Современные проблемы науки и образования. – 2008. – №1. – С. 48–53.
3. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. – М.: Наука, 1974. – 311 с.
4. Овчинников И.Г., Хвалько Т.А. Работоспособность конструкций в условиях высокотемпературной водородной коррозии. – Саратов, 2003. – 176 с.
5. Поливанов А.А. Осесимметричное упругопластическое деформирование многослойных оболочек вращения с учетом повреждаемости материала при ползучести: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2004. – 19 с.
6. Методика решения осесимметричной задачи термо-вязкопластичности для слоистых оболочек на ЕС ЭВМ / Ю.Н. Шевченко, М.Е. Бабешко, И.В. Прохоренко. – Киев: Наук. думка, 1981. – 66 с.
7. Bagmutov V., Belov A., Polivanov A. Damage Calculation Features of Multi-layered Shells of Rotation at

Thermo – Viscous – Elasto – Plastic Strain // МЕХАНИКА. – 2004. – №3(47) – P. 19–23.

Рецензенты:

Клевцов Г.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Физика металлов и наноструктур» Оренбургского государственного университета, г. Оренбург;
 Халтурин В.Г., д.т.н., профессор кафедры ООС Пермского государственного технического университета Министерства образования и науки РФ, г. Пермь;
 Богданов Ё.П., д.т.н., профессор кафедры «Информационные системы в экономике» Волгоградского кооперативного института Российского университета кооперации (филиал), г. Волгоград;
 Богомолов А.Н., д.т.н., профессор, проректор по научной работе ГОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», г. Волгоград.
 Работа поступила в редакцию 09.03.2011.