

Ю.Н.КОРЫТКО, канд. техн. наук, ст.преп., НТУ «ХПИ»

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТОЛСТОСТЕННОГО ЦИЛИНДРА АВТОКЛАВА ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО СИНТЕЗА

У статті представлені результати проведених розрахункових досліджень довговічності товстостінного циліндра – одного з основних конструктивних елементів промислових автоклавів. Проміжні результати порівнюються з експериментальними даними. Набуте значення кількості циклів зміни термосилового навантаження до руйнування циліндра.

The numerical results of long-term strength investigations of thick-walled cylinder – one of the main structural elements of technical autoclave, are described in the paper. The intermediate results were verified by comparison the computed and experimental data. The critical number of loading and heating cycles was obtained.

В статье представлены результаты проведенных расчетных исследований долговечности толстостенного цилиндра – одного из основных конструктивных элементов промышленных автоклавов. Промежуточные результаты сравниваются с экспериментальными данными. Получено значение циклов изменения термосилового нагрузки до разрушения цилиндра.

Актуальность темы. Многие элементы конструкций в энергетической, авиационной, транспортной, химической, атомной и других отраслях промышленности функционируют в условиях периодического изменения внешних температурно-силовых полей. Такие условия работы влияют на скорость и характер изменения напряженно-деформированного состояния при ползучести и, как следствие, на ресурс конструкции. В настоящее время предложены модели для описания ползучести и накопления повреждаемости в материале конструкций при циклическом изменении рабочих температур [1, 2]. Указанные модели, реализованные в современных программных средствах, позволяют проводить анализ конструктивных элементов и получать уточненные данные относительно ресурса конструкций. В работе представлены результаты исследований длительной прочности толстостенного цилиндра корпуса автоклава гидротермального синтеза. Промежуточные численные результаты сравнивались с экспериментальными данными, отличие между ними не превысило 10-12 %, что позволило сделать вывод о корректности моделей исследования циклической термоползучести.

Модель толстостенного цилиндра автоклава. Промышленные автоклавы используются для гидротермального синтеза минералов, таких как кварц, кальцит, цеолит и другие. Цилиндры автоклавов работают при высоких давлениях и температурах, необходимых для процесса гидротермального синтеза, в частности температура стенки сосуда достигает 450-500 °С. Конструктивный элемент за весь период своей работы испытывает тысячи циклов нагружения и изменения температуры. При этом, согласно условиям работы автоклава, 9/10 времени толстостенный цилиндр находится под дейст-

вием одновременно силового нагружения и неоднородного температурного поля, оставшуюся часть времени – только под действием силовой нагрузки.

Цилиндр автоклава гидротермального синтеза является толстостенным телом вращения, его объем составляет 1500 дм^3 , внутренний диаметр – 600 мм, толщина стенки – 225 мм, изготовлен из стали 25Х2МФА. Согласно данным работы [3], цилиндр находится под внутренним давлением $p = 120 \text{ МПа}$, нагружен давлениями на уплотнительной поверхности $p_1 = 234 \text{ МПа}$ и $p_2 = 130 \text{ МПа}$, а также давлением от шпилек $p_3 = 200 \text{ МПа}$. Для оценки влияния силового и температурного факторов на длительную прочность цилиндра проведены исследования отдельно для двух вариантов нагружения: воздействие только рабочих давлений (p, p_1, p_2, p_3) и совместное действие рабочих давлений и неоднородного температурного поля. Расчетная модель представлена на рис. 1. Конечно-элементная модель построена в программе «Divider 2.6с» [4], модель содержит 10240 треугольных элементов, 5231 узел.

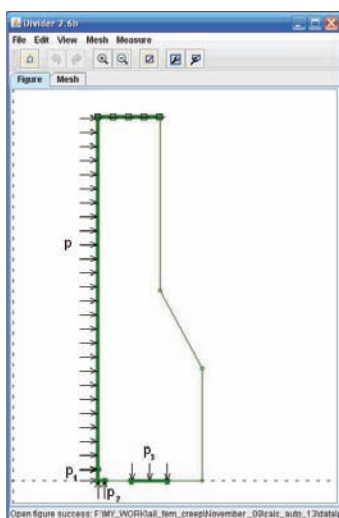


Рисунок 1 – Модель цилиндра автоклава

Расчетные исследования цилиндра автоклава. В результате проведения расчетных исследований напряженно-деформированного состояния построены эпюры осевых и окружных напряжений, соответствующие указанной конфигурации силовых нагрузок толстостенного цилиндра автоклава, а именно давления p, p_1, p_2, p_3 . Полученные графики представлены на рис. 2, 3, на которых обозначено: кривая 1 – данные, полученные авторами работы [3], кривая 2 – значения, полученные с помощью программного комплекса для расчетов термоциклической ползучести, символами «х» отмечены экспериментальные данные. Рис. 2, 3 свидетельствуют об удовлетворительном совпадении результатов расчетов и экспериментальных данных.

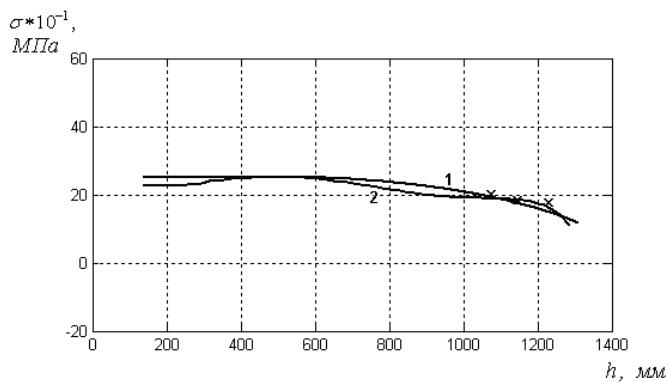


Рисунок 2 – Окружные напряжения в цилиндре автоклава

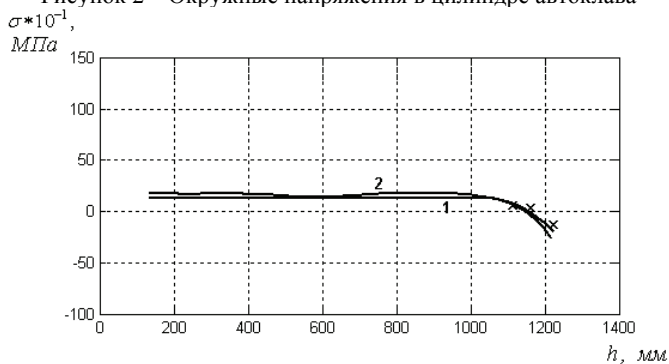


Рисунок 3 – Осевые напряжения в цилиндре автоклава

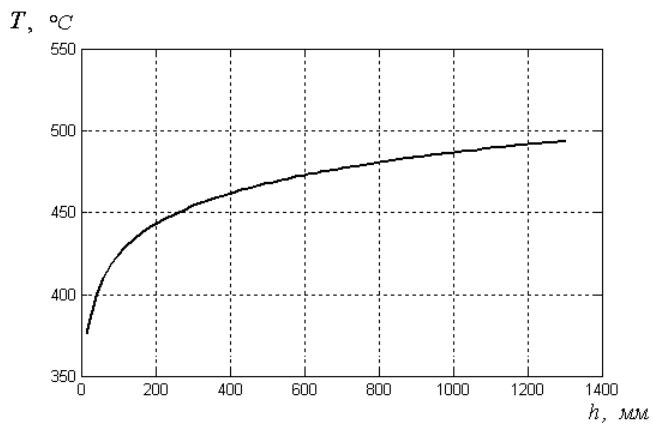


Рисунок 4 – График изменения температуры по высоте цилиндра

В рабочих условиях цилиндр находится также и под действием температурного поля, которое изменяется вдоль образующей цилиндра от 362 °С внизу до 494 °С возле крышки. График изменения температуры по высоте модели носит нелинейный характер и представлен на рис. 4.

При совместном действии внутреннего давления, нагрузки на уплотнительной поверхности и нагрузки от шпилек, а также неравномерно распределенного по высоте цилиндра температурного поля распределение интенсивности напряжений в пределах упругости по сечению цилиндра имеет вид, представленный на рис. 5.

Оценка длительной прочности. Циклическая долговечность автоклава гидротермального синтеза определяется долговечностью корпуса, а именно долговечностью толстостенного цилиндра. В современной практике проектирования используется нормативная документация, в которой описана методика оценки долговечности сосудов, функционирующих в условиях периодического изменения нагрузок, с помощью расчетных кривых усталости или специальных формул [3]. Однако, для низколегированных сталей, таких как сталь 25Х2МФА, из которой изготовлен толстостенный цилиндр автоклава, расчетные кривые и упомянутые специальные формулы можно использовать только при условии значения рабочей температуры не превышающей 350°С [3]. Поскольку в конкретных рассматриваемых условиях эксплуатации температура стенок цилиндра может повышаться до 400°С и выше, то для таких случаев необходимо проводить исследования, направленные на установление характеристик длительной прочности с учетом циклического характера изменения температуры в конструктивном элементе.

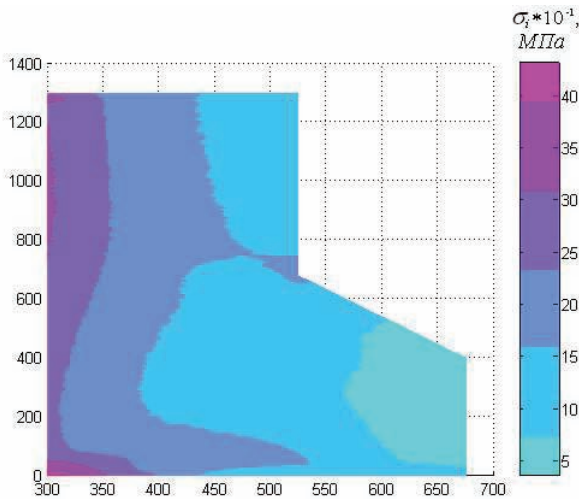


Рисунок 5 – Распределение интенсивности напряжений, вызванных силовыми и температурными нагрузками

В работе [3] приведены данные испытаний стали 25Х2МФА, образцы для экспериментов были изготовлены из тех же заготовок, что и элементы автоклава. Приведенные в [3] экспериментальные данные позволили определить константы, необходимые для расчетов [5]. Авторы работы [3] оценивали циклическую долговечность автоклава по максимальным напряжениям в цилиндре и амплитуде напряжений в цикле и получили количество циклов до разрушения, равное 45 000.

В работе проведены исследования ползучести и длительной прочности толстостенного цилиндра автоклава с помощью метода расчета долговечности при периодическом изменении температур и нагрузок [1, 2] и с использованием специального программного обеспечения [6]. Получено критическое количество циклов нагружения, при котором заканчивается процесс скрытого разрушения в цилиндре и возможно появление макродефектов. Это количество циклов составило 42 800 циклов. Полученные результаты хорошо согласовываются с данными, представленными в работе [3]. Отличие численных результатов не превышает 10 %.

Выводы. На основе определения характеристик ползучести стали 25Х2МФА, в результате проведения комплексного анализа температурных полей и напряженно-деформированного состояния цилиндра автоклава, сделан вывод о том, что для рассматриваемых автоклавов гидротермального синтеза при рассмотренном режиме эксплуатации циклическая долговечность не превышает 43 000 циклов. Полученные результаты доказывают, что предложенная в [1, 2] методика анализа долговечности и остаточного ресурса при ползучести удовлетворительно описывает изменение характеристик длительной прочности элементов конструкций при периодическом изменении температуры с учетом особенностей термосилового нагружения.

Список литературы: 1. *Бреславский Д.В.* Ползучесть и повреждаемость при циклическом изменении температур и напряжений / *Д.В.Бреславский, Ю.Н.Корытко, О.К.Морачковский, О.А.Татарина* // Прочность материалов и элементов конструкций: труды международной научно-технической конференции, 28-30 сентября 2010 г. – К.: Ин-т проблем прочности им. Г.С.Писаренко НАН Украины. – 2011. – С. 185-192. 2. *Бреславский Д.В.* Модель циклічної термоповзучості для тіл обертання / *Д.В.Бреславський, Ю.М.Коритко, О.К.Морачковський* // Проблеми прочності. – 2011. – № 2. – С. 33-46. 3. *Татаринов В.Г.* О циклической долговечности сосудов для гидротермального синтеза минералов под высоким давлением / *В.Г.Татаринов, А.П.Корчагин, Л.М.Штеренлихт, Д.Т.Малова, С.Г.Татарина, Л.М.Лобова* // Расчеты на прочность: Сб. статей под ред. *В.И.Мяченко*. – 1988. – С. 200-209. 4. Свідозтво про реєстрацію авторського права на твір. № 34779. Україна. Комп'ютерна програма «Divider 2.6с»: комп'ютерна програма / *Д.В.Бреславський, П.М.Лисак, Ю.М.Коритко*. – Дата реєстрації 2.09.2010. 5. *Коритко Ю.М.* Розробка методу розрахунку довговічності елементів конструкцій при періодичній зміні температур і навантажень: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.09 / *Коритко Юлія Миколаївна*. – Харків, 2011. – 206 с. 6. *Бреславский Д.В.* Программные средства для конечно-элементного моделирования двумерных задач теории ползучести / *Д.В.Бреславский, Ю.Н.Корытко, П.М.Лисак* // Вісник НТУ «ХП». – Харків: НТУ «ХП». – 2007. – № 38. – С. 24-29.

Поступила в редколлегию 13.10.2011