

УДК 539.376

А.М. Локощенко*НИИ механики МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва*

СПЛЮЩИВАНИЕ ДЛИННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕГО РАВНОРАСПРЕДЕЛЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

Проанализированы различные подходы при исследовании цилиндрических оболочек под действием внешнего равномерно распределенного давления. Рассмотрены оболочки, изготовленные из склерономных или реономных материалов, при малых и больших перемещениях, при разных видах начальных несовершенств и т.д. Основное внимание уделяется анализу поведения оболочек при больших перемещениях. Изучено сплющивание оболочек, находящихся в условиях установившейся или неустойчивой ползучести, при учете степенной и дробно-степенной моделей. Анализ результатов известных испытаний оболочек показал хорошее соответствие экспериментальных и теоретических значений времен сплющивания.

Ключевые слова: цилиндрические оболочки, деформирование, сплющивание, ползучесть, внешнее равномерно распределенное давление.

Тонкая длинная цилиндрическая оболочка часто является составным элементом сложных конструкций. В тех случаях, когда такая оболочка находится под действием внешнего равномерно распределенного давления при комнатной температуре, необходимо знать предельное давление, которое оболочка в состоянии выдержать. Если такая оболочка находится под действием внешнего давления при высоких температурах, то анализ ее поведения в основном связан с определением времени, в течение которого она может выдерживать заданное давление. Цилиндрические оболочки, как правило, имеют настолько большую длину по сравнению с размерами поперечного сечения, что влиянием краевых закреплений можно пренебречь. В этих условиях исследуется поведение колец единичной ширины. Особый интерес представляет определение зависимости времени до сплющивания кольца от формы и размеров его начальных несовершенств.

В данной статье приведен обзор различных подходов при исследовании поведения кольца с начальными несовершенствами под действием внешнего равномерно распределенного давления. При этом рассмотрены решения задач о деформировании колец из склерономных и реономных материалов, при малых и больших перемещениях, при разных видах начальных несовершенств и т.д.

При решении этих задач рядом ученых (в частности, [1]) предполагалось, что в процессе деформирования кольцо все время остается слегка овальным и его радиальное отклонение от круглого кольца пропорционально косинусу двойного полярного угла. Такая гипотеза позволяет исследовать деформирование кольца только при относительно малых прогибах, т.е. при радиаль-

ных перемещениях, малых по сравнению со средним радиусом исходного кольца. С.А.Шестериков в 1966 г. предложил подход для исследования деформирования кольца, при котором его перемещения имеют порядок среднего радиуса. С этой целью форма срединной линии кольца аппроксимируется кривой, полученной сопряжением двух дуг окружности, изменения радиусов которых во времени определяются из решения задачи. В этой постановке исследуется деформирование кольца вплоть до сплющивания. В различных задачах рассматриваются предложения о закреплении точки сопряжения дуг окружностей или о возможности перемещения этой точки в процессе сплющивания. При исследовании колец из склерономного материала получены решения для линейно- и нелинейно-упругого, упруго-идеального пластического материала, материала с линейным упрочнением. Изучено сплющивание колец, находящихся в условиях установившейся или неустойчивой ползучести, при учете степенной или дробно-степенной зависимости интенсивности скоростей деформаций ползучести от интенсивности напряжений. В качестве характеристики начального несовершенства рассматривается кольцо как с двумя осями симметрии (овал), так и с одной осью симметрии (локальная вмятина). В некоторых задачах интегрирование напряжений вдоль поперечного сечения кольца приводит к громоздким выражениям, в этих случаях для исключения такого интегрирования используется предложенная Ю.Н. Работновым двухслойная модель кольца.

При исследовании ползучести овального кольца вводятся в рассмотрение две малые величины: отношение толщины кольца к его среднему

радиусу и характеристика начальной овальности. В зависимости от соотношения этих величин получены различные приближенные зависимости времени до сплющивания от уровня начальной овальности. При исследовании ползучести кольца с локальной вмятиной форма срединной линии аппроксимируется кривой, полученной сопряжением трех дуг окружности; получено условие, при котором форма исходного несовершенства оказывает существенное влияние на время сплющивания.

Анализ известных серий испытаний оболочек в условиях установившейся ползучести под действием внешнего гидростатического давления показал, что разработанный метод приводит к значениям времен сплющивания, которые хорошо согласуются с полученными экспериментальными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты №№ 11-08-00007 и 11-08-90401).

Перечень ссылок

1. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. М.-Л. Гостехиздат. 1946. 532 с.
2. Алиев Р.Л., Локощенко А.М., Шестериков С.А. Большие прогибы нелинейно-упругого кольца под внешним давлением. Вестник Моск. ун-та. Мат., мех. 1969. №3. С. 97-102.
3. Локощенко А.М. Вязко-упругое идеально-пластическое кольцо под внешним давлением.

Вестник Моск. ун-та. Матем., мех. 1969. № 6. С. 117-123.

4. Локощенко А.М., Шестериков С.А. Упруго-идеально-пластическое кольцо под внешним давлением. «Инж. ж. МТТ». 1970. № 3. С. 125-126.

5. Локощенко А.М. Определение времени сплющивания цилиндрической оболочки в нестационарных условиях. В сб. «Деформирование и разрушение твердых тел». Научн. тр. Ин-та мех. МГУ. № 23. М. 1973. С. 21-25.

6. Локощенко А.М. Поведение цилиндрической оболочки под внешним равномерно распределенным давлением. В сб. «Научн. труды. Ин-т механики МГУ». М. 1975. № 37. С. 15-24.

7. Афанасьева А.В., Локощенко А.М. Поведение упруго-пластического кольца под действием внешнего равномерно распределенного давления. В сб.: «Деформирование и разрушение твердых тел». Ин-т механики МГУ. 1985. С. 139-148.

8. Локощенко А.М., Шестериков С.А. Сплющивание цилиндрических оболочек при ползучести // Механика твердого тела. 1985. № 3. С. 113-118.

9. Локощенко А.М., Шестериков С.А. Сплющивание цилиндрических оболочек под внешним равномерно распределенным давлением в условиях ползучести // Механика твердого тела. 1992. № 5. С. 144-149.

10. Локощенко А.М., Юмашева М.А. Деформирование цилиндрической оболочки под внешним давлением в условиях ползучести // Механика твердого тела. 2000. № 6. С. 129-133.

Поступила в редакцию 23.06.2011

А.М. Локощенко. Сплющивання довгої циліндричної оболочкі під дією зовнішнього порівну розподіленого тиску

Проаналізовано різні підходи при дослідженні циліндричних оболонок під дією зовнішнього порівну розподіленого тиску. Розглянуто оболонки, виготовлені з склеронічних або реологічних матеріалів, при малих і великих переміщеннях, при різних видах початкових недосконалоостей і т.д. Основна увага приділяється аналізу поведінки оболонок при значних переміщеннях. Вивчено сплющивання оболонок, що знаходяться в умовах сталі чи несталі повзучості, за участю степенної та дрібно-степенної моделей. Аналіз результатів відомих випробувань оболонок показав добру відповідність експериментальних та теоретичних значень часів сплющення.

Ключові слова: циліндричні оболонки, деформування, сплющивання, повзучість, зовнішнє порівну розподілений тиск.

A.M. Lokoshchenko. Flattening of long cylindrical shell under external even pressure

The various methods are analysed at study of behaviour of cylindrical shells under external even pressure. The shells are considered, which are manufactured from scleronomical or rheological materials, at small and large movings, at the various kinds of initial imperfections etc. The basic attention is allotted to analysis of deforming of shells at large movings. The shell flattening is studied, which are deformed at unstable or stable creep, investigation is conducted at using of various models. The analysis of results of known shell tests at creep demonstrated the good correspondence of experimental and theoretical values of flattening times.

Key words: cylindrical shells, deforming, flattening, creep, external even pressure.