

УДК 539.3

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК,
ЗАПОЛНЕННЫХ СЫПУЧИМ МАТЕРИАЛОМ, ПРИ ИЗГИБЕ**

© 2011 г.

М.В. Петров, Т.Г. Федорова

Чувашский госуниверситет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары

basis-cheboksary@mail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Экспериментально исследуются деформирование и потеря устойчивости тонкостенных оболочек при изгибе, полых и заполненных железным порошком, предназначенных для автомобильной транспортировки сыпучих материалов. Поставлен эксперимент аварийного падения цистерны.

Ключевые слова: цистерна, потеря устойчивости, критическая сила, экспериментальный анализ, деформация.

В научной литературе известно множество работ по исследованию устойчивости тонкостенных оболочек [1], и только несколько работ, выполненных под руководством академика РАИИ В.Г. Баженова [2, 3], посвящены устойчивости тонкостенных оболочек, заполненных сыпучим материалом. Исследования выполнены с целью изготовления большегабаритных цистерн на предприятиях России для автомобильной перевозки сыпучих материалов (муки, зерна, цемента и т.д.). В конструкции полуприцепов-цистерн предусмотрено подъемное устройство, которое поднимает емкость с одного конца для выгрузки массы с другого конца. При подъеме емкость изгибается, есть опасность потери устойчивости в верхней зоне на середине длины, цистерна может переломиться. Цель экспериментов – определение критической массы загрузки цистерны, так как известно [1, 2], что результаты теоретических расчетов значительно отличаются от результатов экспериментов.

Опыты выполнены на образцах из алюминиевого сплава плотностью $\rho = 2.65 \text{ г/см}^3$, наружным диаметром $D = 65.6 \pm 0.1 \text{ мм}$, толщиной стенки $h = 0.1 \pm 0.01 \text{ мм}$. На концах имеются плоские днища. Эксперименты выполнены с жестким заземлением образцов на одном конце. Длина консоли 135 мм. Нагружение осуществлялось посредством увеличения массы груза, подвешенного на свободном конце (экспериментальная установка показана на рис. 1).

Проводились испытания: а) полый оболочки, б) оболочки, заполненной на 95% железным порошком. Перемещение нагружаемого торца оболочки измерялось индикатором часового типа ИЧ-10. Изменение диаметров образцов в вертикаль-

ном и горизонтальном направлениях в зоне потери устойчивости измерялось электронным штангенциркулем ИЦЦ-1, деформации замерялись четырьмя тензодатчиками, наклеенными по два датчика наверху и внизу в зоне потери устойчивости в продольном и окружном направлениях, фиксировалось значение критической нагрузки.

При достижении критической нагрузки в нижней части образца близко к заделке образует-



Рис. 1

ся локальная ромбическая вмятина, вытянутая в окружном направлении. При последующем увеличении приложенной нагрузки количество вмятин увеличивается как в окружном, так и в продольном направлении.

Получены линейные зависимости прогиба от нагрузки для всех опытов (рис. 2). На рисунке кривая 1 – пустой образец, кривая 2 – заполненный образец. В момент потери устойчивости происходит резкое увеличение прогиба. В докрити-

ческой стадии происходит упругое деформирование образцов. Для пустого образца критическое сжимающее напряжение, вычисленное по эмпирической формуле [1], отличается от полученного в эксперименте в пределах 10%. Это убеждает в правильности выполнения последующих опытов.

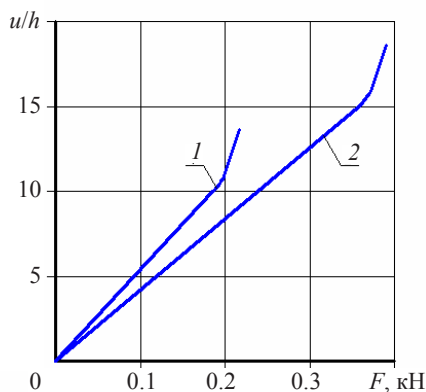


Рис. 2

Для заполненных на 95% объема железным порошком образцов при нагружении на конце силой, направленной вверх, критическая сила

определения критической длины цистерны. Образцы, заполненные железным порошком на 95% объема, опирались на концевые шарнирные опоры. Нагружение осуществлялось пошаговым методом посредством увеличения массы засыпки железного порошка и увеличения длины образцов, соответствующим смещением крайних опор определяли критическую длину. На рис. 3 изображены макет цистерны и форма потери устойчивости образца.

При подъеме для выгрузки сыпучего содержимого цистерна может упасть и переломиться. Чтобы исключить подобные явления, выполнены опыты на образцах. Образец заполнялся на 75–80% железным порошком и испытывался на падение. Один конец крепили шарнирно, второй, свободный конец, поднимали до вертикального положения, затем опускали. Образец падал, вращаясь вокруг шарнирной опоры, и ударялся о вторую концевую опору. Изменяя длину образцов, определили критическую длину, при которой образец терял устойчивость при падении, фиксировалась величина критической нагрузки, остаточная деформированная форма образца.

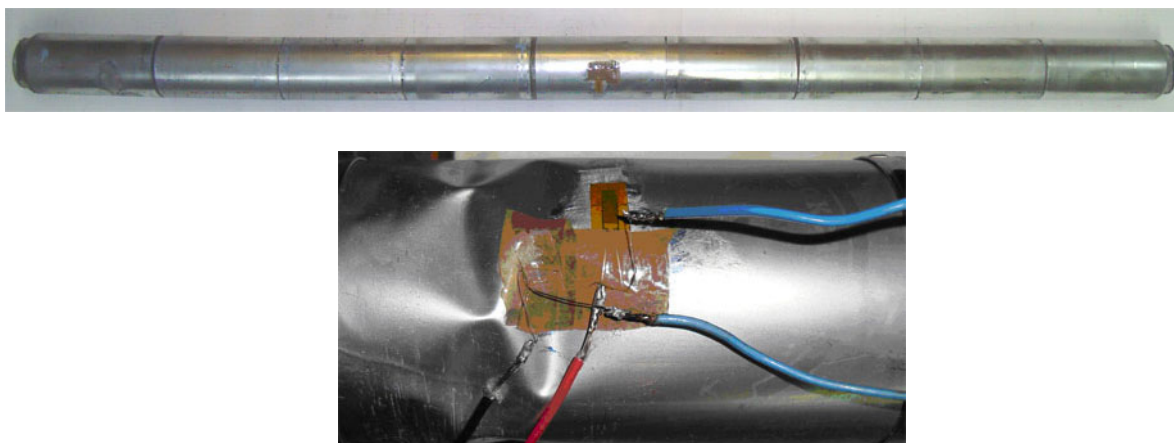


Рис. 3

оказалась такой же, как и для пустого образца. При нагружении силой, направленной вниз, критическая сила больше 1.8 раза, чем критическая сила для пустого образца. Масса загрузки препятствует образованию вмятин. Получаем, что применение загрузки увеличивает значение критической нагрузки и уменьшает влияние несовершенств на поведение образца.

Диаметры образцов в процессе нагружения увеличились на 0.45–0.63 мм в вертикальном направлении и уменьшились на 0.3–0.45 мм в горизонтальном направлении. В экспериментах фиксировалась остаточная деформированная форма образца.

Следующая серия опытов выполнена с целью

Результаты экспериментов переданы на предприятие, изготавливающее полуприцепы-цистерны.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №08-08-99049 Р-ОФИ.

Список литературы

1. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука, 1967. 984 с.
2. Баженов В.Г. и др. Численный анализ деформирования, потери устойчивости и закритического поведения большегабаритных емкостей для автомобильной транспортировки сыпучих грузов // Проблемы прочности и пластичности: Межвуз. сб. / Нижегород. ун-т. 2008. Вып. 70. С. 88–96.

3. Петров М.В. и др. Исследование потери устойчивости гладких и подкрепленных цилиндрических оболочек при изгибе // XXXVIII неделя науки СПбГПУ: Материалы междунар. науч.-практич. конф. Ч. IV. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. С. 36–37.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE LOSS OF STABILITY OF THIN-WALLED SHELLS FILLED WITH GRANULAR MATERIAL UNDER BENDING

M.V. Petrov, T.G. Fedorova

Deformation and loss of stability of thin-walled shells under bending that are hollow and filled with iron powder and designed for transporting granular materials by trucks are studied experimentally. An experiment with an accidental collapse of a cistern is carried out.

Keywords: cistern, stability loss, critical power, experimental analysis, deformation.