



XIII ВСЕСОЮЗНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

III ТЕОРИЯ
ПЛАСТИН И
ОБОЛОЧЕК

НАУЧНЫЙ СОВЕТ АН СССР
ПО ПРОБЛЕМАМ ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ АН СССР
ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

XIII ВСЕСОЮЗНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ТЕОРИИ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК

Часть третья

К - Л

Таллин - 1983

О ГЛАВЛЕНИЕ

Кабриц С.А., Колпак Е.П., Кыльтчанов К.М., Прасникова С.С., Черных К.Ф. Нелинейная теория оболочек из оластомеров.....	7
Кан С.Н., Тугаев А.С., Цветков А.В. Модифици- рованный энергетический метод в задачах устой- чивости тонкостенных конструкций.....	13
Каримбаев Т.Д., Жумабаев М.Ж. Термонапряжен- ное состояние цилиндрических оболочек с упру- гим заполнителем.....	19
Карташов Г.Г., Кузнецов Н.Д. Свойства спектра свободных колебаний панелей и пластин из компо- зиционных материалов.....	25
Качаловская Н.Е., Ларионова Е.А., Петров В.В., Сладковский А.В., Сохач Ю.В. Исследование по- ведения сферического баллона высокого давления с конструкционными особенностями, изготовленного из композиционного материала.....	31
Каюк Я.Ф., Рутицкий Я.Я. О теоретическом описа- нии деформирования композитной оболочки при помощи концепции смеси.....	37
Кепич Т.Ю., Мазур К.И., Нуркиянов А.М., Сав- ченко В.И. Исследование спирально-многослой- ных оболочек поляризационно-оптическим методом	43
Киладзе Е.А., Цхведиани А.Ш. Нелинейные колеба- ния многослойной цилиндрической оболочки (с анизотропными слоями) с учетом влияния закреп- ления кромок.....	49
Колдунов В.А., Кудинов А.Н., Люшин П.А., Му- дарисов Ш.Ш., Черепанов О.И. Анализ напряжен- но-деформированного состояния оболочечных кон- струкций с учетом анизотропии на основании пространственной численной схемы расчета.....	55

Исследование поведения сферического баллона высокого давления с конструкционными особенностями, изготовленного из композиционного материала

Н.Е.Качаловская, Е.А.Ларионова, В.В.Петров,

А.В. Сладковский, Ю.В. Сохач

Прочность сферических (или близких им по форме) баллонов зачастую определяют переходные районы от собственно-композиционной оболочки к металлическим фланцам либо районы изменения кривизны вдоль образующей. Соединение разнородных материалов, обладающих различным характером деформирования под нагрузкой, является источником расслоений вследствие появления высоких касательных (разъединяющих) напряжений. При высоких уровнях нагрузки вязкоупругость КМ значительно снижает прочностные характеристики узла, т.е. способствует выскальзыванию соприкасающейся части металлического фланца из-под охватывающей его оболочки из КМ. Анализ различных подходов к расчету НДС рассматриваемого узла показал, что наиболее приемлемым является использование МКЭ.

На рис. I приведена расчетная схема и схема кинетично-элементной дискретизации многослойной оболочки вращения. Резиновый слой 1 покрывается двумя рядами треугольных симплекс-элементов вращения (тороидальных), композиционная оболочка 2 - тремя рядами и металлический элемент 3 - двумя рядами. Общее количество осесимметричных элементов равно 421, количество узлов - 255.

На основе стандартной методики сборки /I/ составляется матрица жесткости [K] всего КЭ-комплекса. В конечном итоге задача сводится к решению системы алгебраических уравнений методом Гаусса.

Программа расчета НДС написана на языке ФОРТРАН-4. При решении задачи при давлении $P = 100$ ати получено поле перемещений многослойной сферической оболочки, причем, максимальное

перемещение фланца в направлении оси Z равно 1,77 см. При помощи графопостроителя ЕС ЭВМ получен чертеж КЭ-сетки в начальном состоянии и после нагружения.

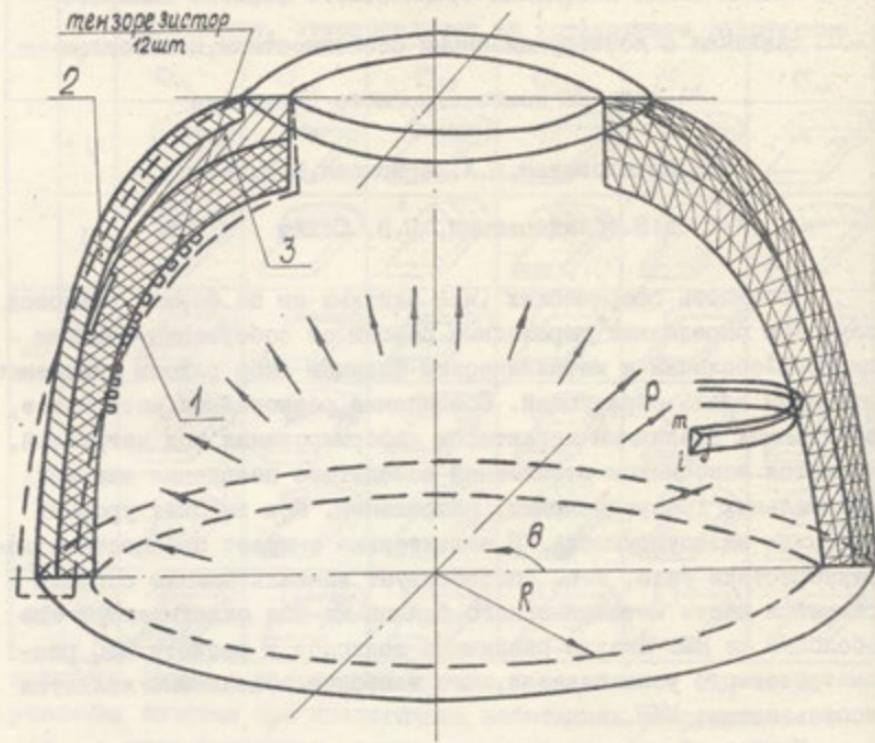


Рис. I.

Расчетная схема, схема установки тензорезисторов и схема КЭ-дискретизации.

Для экспериментального определения перемещений поверхности баллона из КМ применялись голографический метод двух экспозиций и оптическая схема в сходящихся пучках. Баллон жестко крепили на голографическом столе с помощью специальных приспособлений и дважды голографировали до и после приложения внутреннего давления. Такие интерферограммы получали с 8 секторами и, располагая их средние части рядом, составляли интерференционный портрет (развертку) всей оболочки (рис. 2).



Рис. 2.

Развертка голограммической интерферограммы поверхности сферического баллона.

Полученные интерференционные портреты, кроме нерегулярностей, обусловленных несовершенствами и дефектами, включали также полосы, характеризующие форму изгиба поверхности баллона и применяемую оптическую схему. Проанализировав оптическую схему, нетрудно получить формулу расшифровки голограммических интерферограмм сферического баллона.

$$W = \frac{\left(N + \frac{1}{2} \right) \lambda}{\sum_{i=1}^2 \frac{h_i \sin \gamma - R + (R + l_i) \cos \gamma \cos \beta + L_i \cos \gamma \cos \beta}{\sqrt{(R \sin \gamma - h_i)^2 + (l_i + R \cos \gamma \cos \beta)^2 + (L_i - R \cos \gamma \sin \beta)^2}} \quad (I)}$$

где λ - длина волны излучателя; W - величина радиальных перемещений оболочки; R - радиус оболочки; h_i , l_i , L_i - величины, связанные с геометрией схемы; γ , β - углы, определяющие положение рассматриваемой точки на сфере; N - номер интерференционной полосы.

Величина погрешности вычисления W по этой формуле минимальна при $\gamma=0$, $\beta=0$ и увеличивается с ростом α , β . При $\gamma=45^\circ$, $\beta=0$ погрешность составляет величину порядка 0,15%.

В данной работе под действием внутреннего давления большинство точек поверхности корпуса имеют преимущественно радиальные смещения, что дает возможность пользоваться формулой (I). С этой целью оптическая схема установки настраивалась так, что ее чувствительность к радиальным перемещениям была максимальна.

Существует несколько подходов к определению координат дефектов и места начала разрушения, например, для выделения дефектов в оболочке ее интерференционный портрет сравнивают с портретом аналогичной бездефектной модели (эталонной конструкции). Операция вычитания интерференционных полос, вообще говоря, трудоемка и требует привлечения специальных средств считывания и обработки информации.

Для экспресс-анализа интерферограмм исследуемых баллонов можно использовать упрощенный и менее точный способ. На интерферограмме контролируемого объекта визуально определяется сектор с наиболее густыми интерференционными полосами. На его участках, имеющих монотонный характер изменения полос, определяется отношение плотностей полос к плотностям полос на таких же участках эталонной картины. Таким образом, получается карта относительных плотностей. Зона повышенных значений относительных плотностей есть место локализации дефекта — концентриатора напряжений, а место локализации наибольшей величины этого отношения является наиболее вероятным местом начала разрушения изделия.

Описанный выше способ определения места начала разрушения работает весьма эффективно, если в рассматриваемой конструкции существуют ярко выраженные дефекты, которые и являются источником образования начальных трещин, расслоений, непреклеев, включений и др.

При расшифровке голограммических интерферограмм видны неоднородности деформирования сферической оболочки, вызванные наличием металлического фланцевого соединения. Исследуя эту часть баллона с помощью МКЭ, можно разработать рекомендации по совершенствованию конструкции. Успешность таких попыток проверялась сравнением голограммических интерферограмм исходного и измененного баллона.

Проведено сравнение распределений прогибов оболочки, по

лученных при расшифровке голограммических интерферограмм и графических данных, полученных при расчете по МКЭ для полей перемещений (рис. I. Пунктиром обозначено деформированное состояние). Анализ результатов показал возможность наличия отрицательных прогибов оболочки вблизи полюсного отверстия, которые могут достигать 1 см при внутреннем давлении 100 ати и локальном радиусе 25 см.

При исследовании с помощью МКЭ влияния ползучести на НДС баллона вязкоупругие деформационные свойства представлялись в виде, аналогичном упругому, но с заменой составляющих матрицы упругой податливости соответствующими функциями времени. Было использовано описание кривых ползучести при помощи простейшей модели наследственного типа /3/, а также эмпирических представлений ползучести КМ /4/. Остаточные деформации, вызванные ползучестью, определялись при помощи голограммической интерферометрии следующим образом. Баллон голографировался в недеформированном состоянии, затем нагружался до расчетного давления и выдерживался определенное время. После снятия давления производилось повторное голографирование на эту же фотопластинку. Полученные при этом интерференционные картины соответствовали накопленным остаточным деформациям, вызванным ползучестью оболочки из КМ. Интерференционный портрет, отражающий остаточные деформации баллона, подобен голограммической интерферограмме, представленной на рис. 2, но со значительно меньшим уровнем деформаций.

Исследование отставаний или непроклеев внутренних резиновых слоев в процессе нагружения проводилось при помощи специальной тензометрии. На внутренней поверхности оболочки в местах наибольших деформаций, установленных по голограммическим интерференционным портретам, вдоль меридиана оболочки устанавливалась цепочка из 12-ти малобазных фольговых тензорезисторов (тип 2ФКПА-1-50Б или КФ-4) (рис. I). Сигналы тензорезисторов усиливались тензоусилителями типа ТДА-3 и записывались на двенадцатиканальном регистрирующем устройстве в процессе всего эксперимента. Для учета армирования по МКЭ предварительно определяли экспериментально механические характеристики низкомодульного материала и жесткостные параметры датчика (постановка тестирования на задаче /5/). В мес-

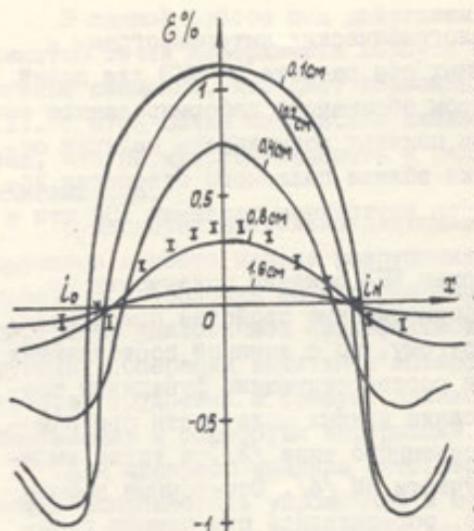


Рис. 3. Результаты исследования деформирования в области непроклея для различных толщин резинового слоя.

эксперименту). Полученные по данной методике расчетные кривые приведены на рис. 3 для различных толщин резинового слоя. Знаком I отмечены экспериментальные точки, полученные в результате опроса 12 тензорезисторов. Толщина резинового слоя в эксперименте составляла 8 см. Предложенная методика позволила производить контроль зон непроклея в процессе нагружения оболочки.

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. - М.: Мир, 1975.

2. Богомолов А.С., Ромашев Е.С., Селезнев В.Г. Количественная оценка некоторых случаев нагружения цилиндрических оболочек в голографической интерферометрии. - Прикладная механика, 1975, т. II, в. 10.

3. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. - М.: Наука, 1977.

4. Фудзии П., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов. - М.: Мир, 1982.

5. Александров В.М., Галаджев Р.С., Соловьев А.С. К расчету погрешностей тензоизмерений. - Измерительная техника, 1966, № 2.

те предполагаемого непроклея в направлении его возможного развития устанавливалась цепочка малобазных тензорезисторов и баллон вакуумировался. По показаниям всех тензорезисторов при определенном давлении строилась кривая зависимости поверхности деформации от координаты. Затем давление незначительно изменялось и строилась новая кривая. Точки пересечения кривых определяли границы зоны непроклея. МКЭ был применен для определения деформаций резинового слоя при вакуумировании (расчет, аналогичный