

УДК 539.3

И.И.Аникьев, М.И. Михайлова, Е.А. Сущенко

**ПОВЕДЕНИЕ УПРУГОЙ ПЛАСТИНЫ С БОКОВЫМ РАЗРЕЗОМ ПРИ
ДЕЙСТВИИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ**

Введение. В современной технике широко используются конструкции из тонкостенных элементов, в которых могут иметь место конструктивные, технологические, эксплуатационные и другие особенности в виде отверстий, вырезов, разрезов и трещин. Изучению влияния перечисленных выше особенностей на деформированное состояние, потерю устойчивости и разрушение элементов конструкций посвящено большое число публикаций, например [1 - 5].

В данной работе приведены экспериментальные исследования тонкой упругой пластины с боковым разрезом, заземленной по двум противоположным сторонам, при нормальном падении на нее ударной волны ступенчатой формы.

1.Методика исследования. Опыты проводились по методике, приведенной в [1]. Ударноволновая нагрузка создавалась в ударной трубе диафрагменного типа. Испытывалась прямоугольная пластина из стеклотекстолита СФ-1-150 (ГОСТ 10316-78). Плотность материала пластины $\rho = 1,7 \text{ г/см}^3$, модуль упругости $E = 2,6 \cdot 10^{10} \text{ Па}$.

Пластина толщиной 2,5 мм предварительно заземлялась по двум коротким сторонам между массивными стальными рамками, а затем пакет в сборе располагался на торце измерительной секции ударной трубы. Рабочий размер пластины составлял 210x140 мм и совпадал с размером внутреннего сечения канала ударной трубы.

При испытании пластина подвергалась действию одинаковых по амплитуде и ступенчатых по форме волн, при которых давление, действующее на поверхность объекта, равнялось давлению в отраженной ударной волне и составляло $0,1 \cdot 10^5 \text{ Па} \pm 10 \%$ при длительности $8 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

Вначале испытывалась пластина без разреза. В дальнейшем поэтапно производился боковой разрез пластины, начиная от середины одной из длинных (свободных) сторон, параллельно

защемленным сторонам. Ширина разреза равнялась примерно 0,5 мм. Отношение длины разреза L к ширине пластины a в трех сериях опытов составляло 0,14; 0,26; 0,37.

Регистрация деформаций пластины велась фольговыми тензорезисторами с базой 1мм и 3 мм. Тензорезисторы располагались по линиям, ориентированным вдоль свободных (ось x) и защемленных (ось y) сторон (рис.1, а,б). Каждой линии присваивался номер от 1 до XIII, а также указывалось на каком расстоянии l/a от оси x она находилась. Начало координат располагалось в середине свободной стороны, где брал начало разрез. На рис. 1, а схематично показан вариант разреза длиной $L_2/a = 0,26$; на рис. 1, б – $L_3/a = 0,37$. Составляющие деформаций в направлении оси x регистрировались вдоль линий 1 - VII и IX (рис. 1, а); в направлении оси y – вдоль линий VIII, X – XIII (рис. 1, б). Линии VII – X располагались вдоль оси y на минимально возможном расстоянии от краев разреза и далее от оси y . Вдоль указанных линий тензорезисторы наклеивались на обе поверхности пластины друг под другом, что позволяло регистрировать изменение деформаций во времени на нагружаемой (ε_x^+ , ε_y^+) и свободной (ε_x^- , ε_y^-) поверхностях пластины. Определение изгибных и мембранных деформаций проводилось по известным формулам:

$$\varepsilon^M = (\varepsilon^+ + \varepsilon^-) / 2; \varepsilon^u = (\varepsilon^+ - \varepsilon^-) / 2. \quad (1)$$

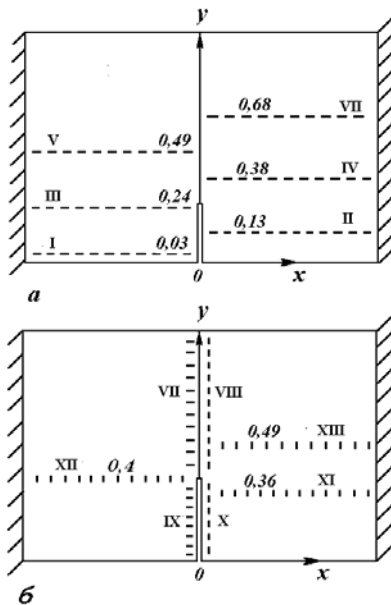


Рисунок 1

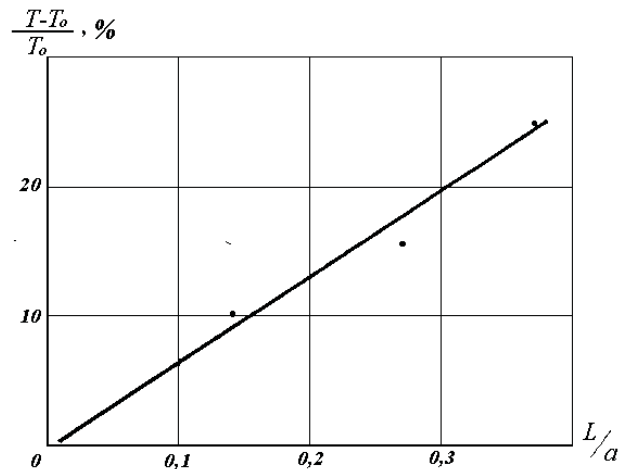


Рисунок 2

Сигналы тензорезисторов регистрировались на экране персонального компьютера с помощью быстродействующего устройства ввода – вывода и обработки аналоговой и цифровой информации L1250, работающей в четырехканальном режиме в полосе частот 0 – 25 кГц.

2. Результаты исследования. Анализ осциллограмм показал, что все элементы пластины с боковым разрезом (исключая зоны вблизи краев разреза) после падения ударной волны совершали затухающие квазигармонические колебания. При этом они, как и колебания сплошных пластин и пластин с центральным разрезом [1], происходили не относительно нуля, а относительно некоторого постоянного уровня, соответствующего значению давления в ступенчатой ударноволновой нагрузке.

Из полученных осциллограмм следовало также, что по мере увеличения длины разреза происходило возрастание периода колебаний T . Период колебаний линейно возрастал с ростом L / a (рис. 2). Разрез длиной, равной 0,37 ширины a , приводил к увеличению периода колебаний в сравнении со сплошной пластиной на ~25%.

Деформации вдоль обеих осей на линиях 1X и X вблизи краев разреза представляли собой нерегулярные высокочастотные колебания с амплитудами, составляющими не более 10% деформаций элементов пластины вблизи защемления.

Деформированное состояние пластины определялось по осциллограммам в момент развития первого максимума колебаний. Известно [1], что сплошная упругая пластина с аналогичными граничными условиями, прогибаясь в направлении распространения волны, испытывала вдоль оси x преимущественно изгиб и слабое растяжение, одинаковое вдоль всей длины пластины, исключая небольшие участки вблизи защемления, где оно падало до нуля. При этом деформация растяжения срединной поверхности пластины составляла около 10% значения изгибной деформации в её середине.

С появлением бокового разреза в деформированном состоянии пластины возникали существенные изменения. Картина деформирования оставалась симметричной относительно прямой, проходящей через начало координат, линию разреза и его продолжение, т.е. относительно оси y . В связи с этим на графиках

представлены деформации половины пластины справа или слева от оси симметрии.

На рисунках. 3 - 5 изображены типичные эпюры деформаций элементов пластины с ненагружаемой стороны ε_x^- вдоль линий I, III, V (рис. 1, а). Номера линий указаны в правом верхнем углу. Сплошная кривая на каждом из рисунков иллюстрирует изменение вдоль соответствующей линии деформации ε_x^- пластины без разреза. Пунктирная линия, проведенная длинными штрихами, показывает результаты измерений при длине разреза $L_1/a = 0,14$; штрих-пунктирная линия – при $L_2/a = 0,26$; пунктирная линия с короткими штрихами – при $L_3/a = 0,37$.

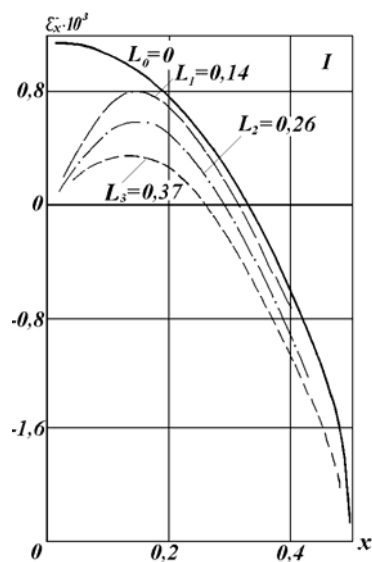


Рисунок 3

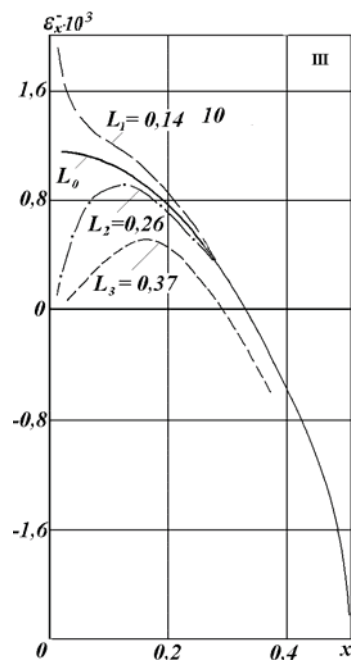


Рисунок 4

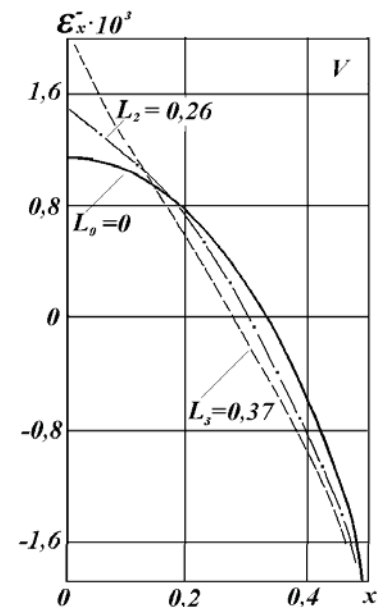


Рисунок 5

На рисунках видно, что на линиях, параллельных свободным сторонам пластины, закон изменения деформаций пластины ε_x^- зависит от того, где расположена линия относительно конца разреза. Так на линиях $y = const$, когда $l/a < L/a$ (рис.3, где $l_1/a = 0,03$), деформации достигают наивысшего положительного значения не в середине, как это наблюдалось при испытаниях сплошной пластины, а с обеих сторон разреза. При этом максимумы смещены в стороны заземленных краев. Значения деформаций в указанных максимумах не превышают значений деформаций сплошной пластины. Вблизи краев разреза деформации падают, стремясь к нулевому значению.

Наблюдалось также смещение точек перегиба (точки изменения знака деформаций) к её середине. Начиная от точки перегиба к

защемленному краю ненагруженная сторона пластины сжималась, при этом кривые $\varepsilon_x(x)$ не совпадали с аналогичными зависимостями для сплошной пластины. В некоторой области этого интервала деформации элементов пластины с боковым разрезом могут вдвое превышать деформации целой пластины.

На рисунке 4 показаны эпюры деформаций вдоль линии III, параллельной оси x и расположенной на расстоянии $l_{III}/a = 0,24$ от начала координат. Эта линия лежит ниже конца разреза при его длине, равной L_2 или L_3 и выше при разрезе длиной $L_1/a = 0,14$. В этом случае, начиная от точки перегиба, кривая деформаций проходит выше сплошной линии, характерной для пластины без разреза. Линия $l_V/a = 0,49$ (рис.5) проходила выше кончика разреза длиной $L_3/a = 0,37$. В элементах пластины, расположенных справа и слева от оси y выше кончика разреза наблюдалось значительное (близкое к двукратному) возрастание деформаций в сравнении с целой пластиной.

На рисунке.6 в прежних обозначениях приведены зависимости деформаций вдоль линии VII, являющейся продолжением разреза и совпадающей с осью y . Для сопоставления на оси ординат коротким штрихом показано значение ε_x^- (при $x = 0; 0 \leq y \leq a$) под действием такой же волны на целую пластину.

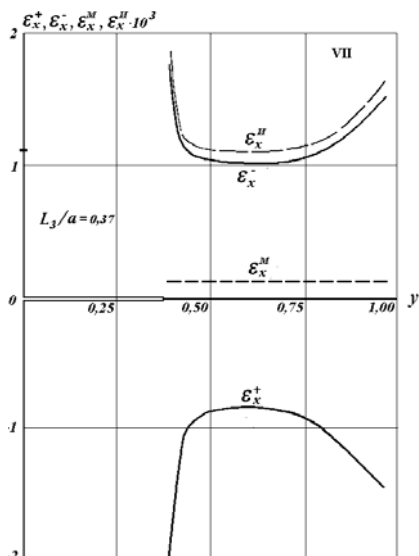


Рисунок 6

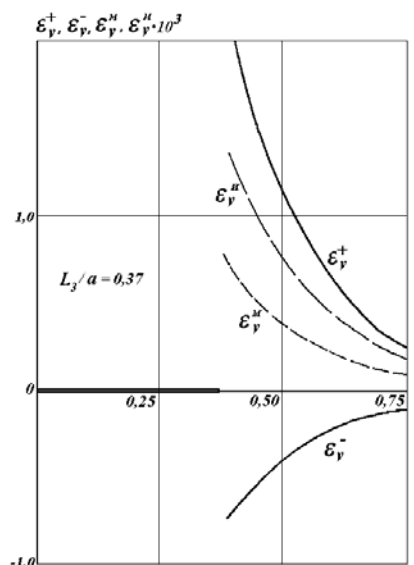


Рисунок 7

Неразрезанная часть пластины также как и целая пластина в направлении координаты x испытывает равномерное слабое растяжение. Однако деформации поверхностных элементов пластины и её изгибные деформации существенно возрастают с приближением

к кончику разреза, а также к неразрезанному свободному краю. Примерно треть неразрезанной части пластины, находящаяся в её середине, испытывает деформации, близкие по своим значениям к деформациям целой пластины.

Изменение ε_y^+ , ε_y^- , ε_y^m , ε_y^u вдоль линии VIII, являющейся продолжением разреза при $L_3/a = 0,37$, представлено на рисунке 7. Со стороны падения волны неразрезанная часть пластины испытывает сжатие (в отличие от деформаций в направлении оси x), а нагруженная сторона претерпевает растяжение. Изгибные и мембранные деформации сравнимы по своим значениям и существенно возрастают по мере приближения к кончику разреза.

Выводы. Показано, что пластина с боковым разрезом, как пластины без разреза и с центральным разрезом, под действием ударноволновой нагрузки совершает затухающие близкие к гармоническим колебания относительно некоторого уровня, соответствующего значению действующей нагрузки.

Установлено, что при боковом разрезе длиной около 0,4 длины заземленной стороны пластины период колебаний возрастает примерно на 25%.

Боковой разрез вносит качественные изменения в деформированное состояние пластины. Если сплошная пластина испытывает преимущественно изгибные деформации и слабое растяжение вдоль линий, соединяющих заземленные стороны, то боковой разрез изменяет изгибные деформации в указанном направлении как с обеих сторон разреза, так и в неразрезанной части пластины. Кроме того в неразрезанной части пластины возникают существенные изгибные и мембранные деформации в поперечном направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аник'ев I.I., Mikhailova M.I., Sushchenko E.A. Nonstationary deformation of an elastic Plate with a Notch under Action of a Shock Wave // Int. Appl. Mech. – 2007. – 43, №11. – P. 1264. – 1269.
2. Аник'ев И.И., Михайлова М.И., Сущенко Е.А. Действие импульсного давления на тонкую упругую пластину с разрезом // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(51). – Дніпропетровськ, 2007.- С.83 – 87.

3. Дышель М.Ш. Разрушение растягиваемых пластин с наклонной краевой трещиной с учетом предварительной локальной потери устойчивости //Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 3(32) – Дніпропетровськ, 2004. – С.142 – 146.
4. Луговой П.З., Мейш В.Ф., Штанцель Э.А. Нестационарная динамика неоднородных оболочечных конструкций. Киев: Изд. полиграф. центр “Киевский университет”, 2005.- 536 с.
5. Malezhik M.P. Malezhik O. P., Zirka A.I., Chernyshenko I.S. DynamicPhotoelastic Study of Wave Fields in Elastic Plates with Stress Concentrations // Int. Appl. Mech. - 2005. - 41. - №12.- P. 1399 – 1406.

Получено 17.02.2009г.