

области и кинематически допустимое поле перемещений u_1 , определяемое для случая кручения формулами (22).

ЛИТЕРАТУРА

1. Черепанов Г.П., Ершов Л.В. Механика разрушения. – М.: Наука, 1976. – 244 с. 2. Ибрагимов В.А. О равнопрочных конфигурациях упругих пластин. – Изв. АН БССР. Сер. физ.-мат. наук, 1983, № 4, с. 33. 3. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1979. – 744 с.

УДК 539.4:621.81

А.Х. КИМ, д-р техн.наук,
Н.Н. ФЛУСОВ (БПИ)

НАГРУЖЕНИЕ ЕДИНИЧНОГО ОТВЕРСТИЯ В ТРУБНОЙ ДОСКЕ

Исследования напряженного и деформированного состояний трубной доски, одного из основных элементов теплообменных аппаратов, как правило, проводятся с целью установления ее глобальных характеристик: приведенных модуля упругости E^* и коэффициента Пуассона ν^* , определяющих деформирование доски в целом. При этом нагрузка прикладывается на бесконечности. Между тем значительный с точки зрения и технологии, и прочности интерес представляет задача о нагружении трубной доски в одном единственном отверстии, например, завальцовка трубки. Только в случае использования взрывчатых веществ возможно одновременное закрепление нескольких трубок. Во всех остальных способах: ручная вальцовка, электрогидродинамическая и т. д. – участвует лишь одна трубка.

При высокой степени перфорации даже для случая треугольной решетки указанная задача, очевидно, не будет осесимметричной. Аналогичная картина наблюдается и для квадратной решетки. Кроме того, важным является и вопрос о деформируемости отверстий, расположенных вокруг нагружаемого отверстия.

Некоторое освещение перечисленных вопросов на основе численного решения плоской задачи теории упругости для трубной доски с треугольной решеткой перфорации и составляет содержание данной статьи. Приведем результаты решения следующих задач.

1. Оценка влияния количества соседних отверстий на радиальную деформацию основного отверстия;
2. Оценка влияния степени перфорации трубной доски на радиальное перемещение точек основного отверстия;
3. Деформируемость отверстий первого, второго и третьего рядов зависимости от степени перфорации трубной доски.

Расчет производился для элемента доски (рис. 1), находящейся в плоском деформированном состоянии ($E = 9,8 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0,3$), с использованием метода граничных интегральных уравнений [1]. Выделение элемента проведено на основе учета условий симметрии. Таким образом, угол между прямолинейными боковыми сторонами составляет $\pi/6$. Центральное отверстие (0) нагруже-

но внутренним давлением интенсивности p , соседние отверстия (I, II, III) и внешний контур — свободны от нагрузок. Граничные условия на боковых сторонах состоят в том, что касательные напряжения и нормальные к границе перемещения равны нулю.

Коэффициент перфорации φ определяется по формуле

$$\varphi = 1 - d/t,$$

где d — диаметр отверстий (одинаковый для всех отверстий); t — шаг перфорации.

Для решения первой задачи были приняты следующие параметры элемента: $d = 0,02$ м, $R = 0,1$ м, $t = 0,03$ м, $p = 9,8 \cdot 10^8$ Па. Таким образом, степень пер-

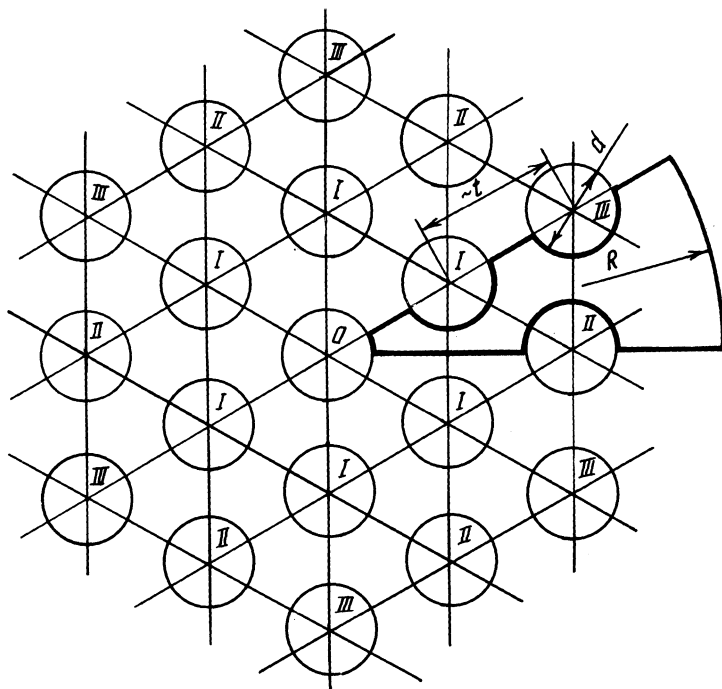


Рис. 1. Схема выделения расчетного элемента

форации составила $\varphi = 0,33$. На рис. 2 представлены полученные результаты, из которых видно, что учет отверстий третьего ряда не вносит существенных изменений ни в величину, ни в характер деформирования отверстия. Наличие же второго ряда отверстий значительно увеличивает деформацию, хотя и не меняет ее характера. Покажем, что характер деформирования зависит от степени перфорации доски.

Для более полного и всестороннего изучения влияния степени перфорации на деформированное состояние доски были взяты следующие параметры элемента: $d = 0,002$ м, $R = 0,1$ м (отношение радиусов выбрано таким, чтобы оп-

тимально приблизиться к условиям бесконечной доски), $t = 0,00222; 0,00250; 0,00286; 0,00333; 0,00400; 0,00500; 0,00666; 0,01000$ м, что в переводе на степень перфорации составляет: $\varphi = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8$; $p = 9,8 \cdot 10^9$ Па (при такой нагрузке напряжения и перемещения, очевидно, не являются упругими; в расчете они рассматриваются как условно-упругие, а их уровни следует учитывать как относительные значения).

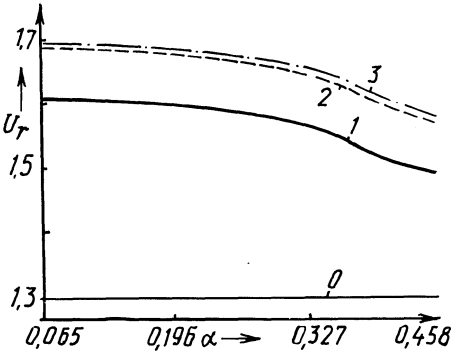


Рис. 2. Деформация основного отверстия при различном числе соседних рядов отверстий:

0 – без соседних отверстий; 1 – с рядом I; 2 – с рядами I, II; 3 – с рядами I, II, III

На рис. 3, а, б представлены результаты расчета для двух вариантов: с одним рядом соседних отверстий и с двумя (α – угловая координата точек контура). Из анализа графиков видно, что с увеличением степени перфорации, с одной стороны, решение все больше отклоняется от теоретического осесимметричного состояния (в данном случае это $U_r = 0,0013$ м), а с другой – усиливается влияние второго ряда отверстий: если при $\varphi = 0,8$ различие составляет 0,3 %, то при $\varphi = 0,1$ уже 13 %. Отклонение от осесимметричного состояния происходит по двум параметрам: общему уровню перемещения и перепаду перемещения между соседними точками контура (наклон графиков к оси

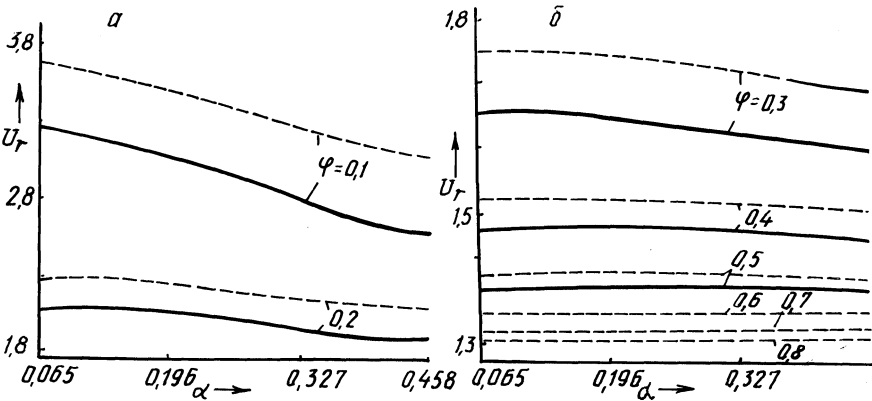


Рис. 3. Деформация основного отверстия с учетом первого (сплошная линия) и второго (штриховая) рядов соседних отверстий

а). С увеличением степени перфорации (уменьшение φ) оба параметра увеличиваются, причем нелинейно.

Для исследования деформируемости соседних отверстий в зависимости от степени перфорации использовалась та же модель. Результаты, представленные на рис. 4, дают возможность оценить как относительный уровень деформируемости отверстий каждого ряда в зависимости от степени перфорации, так и влияние следующего добавляемого ряда на деформируемость предыдущего (на рисунке отмечено пунктиром). Деформация диаметров отверстий рассматривалась в направлении действия нагрузки.

Прежде всего необходимо отметить, что уровень деформируемости отверстий третьего ряда составляет примерно 25 % от деформируемости первого ряда, в то время как для второго ряда это значение равно 70–75 %. При этом характер зависимости деформируемости от степени перфорации для всех отверстий одинаков. Что же касается влияния последующего ряда на деформируемость предыдущего, то, очевидно, что для $\varphi \geq 0,5$ оно практически отсутствует, а при $\varphi < 0,5$ его уровень для отверстий первого ряда не превосходит 8 %, для второго – 20 %.

Суммируя изложенное, можно сделать следующие выводы. Во-первых, наличие отверстий, соседних с нагружаемым, создает деформируемое состояние трубной доски, существенно отличающееся от осесимметричного при коэффициенте перфорации $\varphi \leq 0,5$. При $\varphi > 0,5$ отклонение не превосходит 5 %. Во-вторых, наиболее сильно деформируются отверстия первого ряда, несколько меньше – второго. Деформируемость отверстий третьего и последующих рядов сама по себе незначительна и оказывает слабое влияние на деформируемость всех предыдущих отверстий. И, в-третьих, общий уровень упруго-

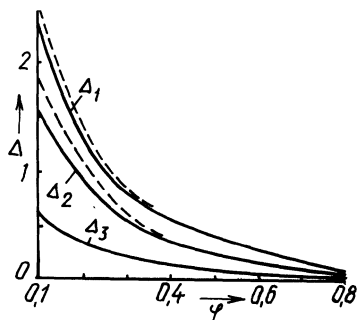


Рис. 4. Деформируемость отверстий первого (Δ_1), второго (Δ_2) и третьего (Δ_3) рядов в зависимости от степени перфорации трубной доски

го деформирования свободных отверстий должен быть крайне невысок в реальных конструкциях, так как нагрузки, например при вальцовке, значительно ниже принятых в расчете, а модуль упругости для стали примерно в 20 раз выше. Таким образом, если принять, что $p = 9,8 \cdot 10^7$ Па, то максимальная деформируемость при $\varphi = 0,1$ для отверстий первого ряда не превышает $U_r = 0,000013$ м, или 0,07 %. Это значение, очевидно, попадает в поле допусков на отверстие. То есть, в реальных конструкциях все расположенные вокруг рассматриваемого отверстия можно считать недеформируемыми в упругой области (для упругопластического анализа – жесткопластическими), однако их наличие существенно влияет на деформированное состояние материала вблизи основного отверстия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б р е б б и я К., У о к е р С. Применение метода граничных интегральных элементов в технике. – М.: Мир, 1982. – 248 с.