Записки Ленинградского ордена Ленина
и ордена Трудового Красного Знамени горного института,
том XXXIII, вып. 3, 1956 г.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ НА КОНТУРЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ОТВЕРСТИЯ ПРИ ИЗГИБЕ БЕСКОНЕЧНОЙ ПЛАСТИНЫ

Доц. В. Н. Кожевникова

Наличие отверстий в элементах конструкций и машин является, как известно, причиной перераспределения напряжений, которое сопровождается значительной концентрацией последних.

Вопросу о влиянии проемов на напряженное состояние пластинки при деформации чистого изгиба посвящены работы Туци, исследовавшего круглое отверстие, Н. И. Мусхелишвили [1] и А. С. Локшина [5], рассмотревших эллиптический проем, М. И. Наймана, изучавшего вырезы в виде эллипса и криволинейных треугольника и квадрата [4], Джозефа и Брока [6], исследовавших овальный проем, очерченный двумя параллельными прямыми, соединенными дугами полуокружностей и Г. Н. Савина, который дал решение для отверстия в виде криволинейного правильного многоугольника и прямоугольника [2]. Для прямоугольника Г. Н. Савин в качестве примера рассмотрел проем с отношением сторон, равным приблизительно трем. *

Перечисленные работы не разрешают полностью вопроса о концентрации напряжений, вызванной прямоугольным отверстием. В практике встречаются отверстия с различным отношением сторон, поэтому рассмотрение квадратного проема [4] и прямоугольного с отношением сторон $a:b \approx 1:3$ [2] является недостаточным.

В предлагаемой статье исследуется перераспределение напряжений на контуре отверстия в бесконечной пластинке, изгибаемой в своей плоскости. Перераспределение вызвано криволинейным отверстием, по форме весьма близким к прямоугольнику. Рассматриваются вырезы с отношением средних линий $a:b \approx 1$; 1,4; 1,5; 2,0; 2,5; 2,9; 4,35; 1 : 1,4; 1 : 1,5; 1 : 2,0: 1 : 2,5; 1 : 2,9; 1 : 4,35. Средняя линия b совпадает с нейтральной плоскостью. В дальнейшем отношение $a:b$ для краткости будет называться отношением сторон отверстия (рис. 1).

Задача трактуется как плоская. Отверстие предполагается относительно малым и удалённым от наружных граней. Граничные условия на внутреннем контуре удовлетворяются точно, на наружном, где влиянием отверстия пренебрегается, — лишь приближенно.

При решении используется метод Н. И. Мусхелишвили [1] с применением конформного преобразования. Метод Н. И. Мусхелишвили, в отличие от ранее существовавших, дает решение в явной форме.

---

* По принятому в дальнейшем в настоящей статье обозначению это отношение надо считать равным $a:b \approx 1:3$, так как нейтральная плоскость параллельна большей стороне выреза.

Блестящее применение этот метод нашел в задачах о распределении напряжений в пластинках с отверстиями: он дал возможность исследовать влияние проемов различной формы, в частности в виде квадрата и прямоугольника.

По методу Н. И. Мусхелишвили отыскание одной бигармонической функции напряжений заменяется нахождением двух аналитических функций. Решение задачи для бесконечной плоскости с прямоугольным вырезом (область переменной z) представляется затруднительным, и эта область отображается на внутренность круга единичного радиуса (область переменной ζ), для которой и отыскиваются функции напряжений $\varphi(\zeta)$ и $\psi(\zeta)$.

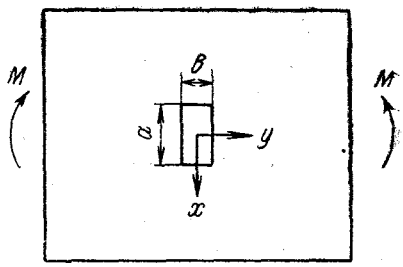
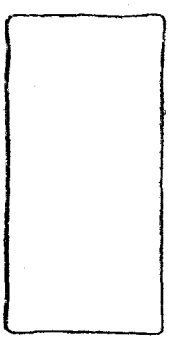


Рис. 1

Отображающая функция [3], выражается рядом

$$z = \omega(\zeta) = A\left(\frac{1}{\zeta} + c_1\zeta + c_2\zeta^2 + \ldots c_n\zeta^n + \ldots\right), \qquad (1)$$

в котором Г. Н. Савин оставлял четыре члена, рассматривая, таким образом, не прямоугольник, а криволинейный контур, достаточно близкий к прямоугольнику. Для квадратного проема Г. Н. Савин удерживал два члена ряда (1). Экспериментальные работы, проведенные оптическим методом в Днепропетровском и Ленинградском университетах, подтвердили теоретическое решение Г. Н. Савина.


Рис. 2

При решении задачи о растяжении бесконечной пластинки Г. Н. Савин брал отношение сторон отверстия больше единицы ($a:b>1$) и рассматривал две задачи для одного отношения $a:b$ — растяжения вдоль длинных и коротких сторон проема.

В отображающей функции мы сохраняем шесть членов ряда для прямоугольного проема и три — для квадратного. Расположение изгибающих пар остается неизменным и рассматриваются отношения $a:b>1$ и $a:b<1$. В отображающих функциях для сопряженных значений $a:b$ абсолютная величина коэффициентов c_i одинакова, лишь знаки меняются на обратные через один коэффициент. Например, для отношений $a:b \approx 2$ и $a:b \approx 1:2$ отображающие функции

$$a:b \approx 2,$$

$$z = \omega(\zeta) = A\left(\frac{1}{\zeta} + 0{,}3090\,\zeta - 0{,}1508\,\zeta^3 - 0{,}0279\,\zeta^5 + 0{,}0084\,\zeta^7 + 0{,}0091\,\zeta^9\right),$$

$$a:b \approx 1:2,$$

$$z = \omega(\zeta) = A\left(\frac{1}{\zeta} - 0{,}3090\,\zeta - 0{,}1508\,\zeta^3 + 0{,}0279\,\zeta^5 + 0{,}0084\,\zeta^7 - 0{,}0091\,\zeta^9\right).$$

При отображении получается контур, весьма близкий к прямоугольнику (рис. 2). Например, при отношении сторон $a:b \approx 2$ наибольшее расхождение между измерением контура по той или иной оси симметрии и любым другим, ему параллельным, составляет 1,4% от длины стороны прямоугольника. Радиус кривизны в вершинах углов

$$R = 0{,}035\,\frac{1}{2}\left(\frac{a}{2} + \frac{b}{2}\right).$$

Найденные обе функции напряжений для изгиба пластинки с прямоугольным отверстием с указанными, выше отношениями сторон имеют следующий вид:

$$\varphi(\zeta)=\frac{NA^2}{8}\left(\frac{1}{\zeta^2}+B_0+B_2\zeta^2+B_4\zeta^4+B_6\zeta^6+B_8\zeta^8+B_{10}\zeta^{10}\right), \qquad (2)$$

$$\psi(\zeta)=-\frac{NA^2}{8}(\zeta^2+B_0+B_2\zeta^{-2}+B_4\zeta^{-4}+B_6\zeta^{-6}+B_8\zeta^{-8}+$$

$$+B_{10}\zeta^{-10})-\frac{\overline{\omega}\left(\frac{1}{\zeta}\right)}{\omega'(\zeta)}\varphi'(\zeta), \qquad (3)$$

где $N=\frac{M}{I_y}$;

M — изгибающий момент;
I_y — момент инерции поперечного сечения;
A — постоянная, характеризующая размеры отверстия;
B_i — вещественные коэффициенты.

В качестве примера приведем функции напряжений с числовыми значениями коэффициентов B_i для отношения сторон проема $a:b\approx 2$ и $a:b\approx 1:2$

$$a:b\approx 2,$$

$$\varphi(\zeta)=\frac{NA^2}{8}\left(\frac{1}{\zeta^2}+0{,}6180-1{,}4415\zeta^2+0{,}3110\zeta^4+0{,}0309\zeta^6-\right.$$

$$\left.-0{,}0224\zeta^8-0{,}0182\zeta^{10}\right),$$

$$\psi(\zeta)=\frac{NA^2}{8}(-\zeta^2-0{,}6180+1{,}4415\zeta^{-2}-0{,}3110\zeta^{-4}-0{,}0309\zeta^{-6}+$$

$$+0{,}0224\zeta^{-8}+0{,}0182\zeta^{-10})-\frac{\overline{\omega}\left(\frac{1}{\zeta}\right)}{\omega'(\zeta)}\varphi'(\zeta).$$

$$a:b\approx 1:2,$$

$$\varphi(\zeta)=\frac{NA^2}{8}\left(\frac{1}{\zeta^2}-0{,}6180-0{,}4711\zeta^2+0{,}3102\zeta^4-0{,}0486\zeta^6-\right.$$

$$\left.-0{,}0224\zeta^8+0{,}0182\zeta^{10}\right),$$

$$\psi(\zeta)=\frac{NA^2}{8}(-\zeta^2+0{,}6180+0{,}4711\zeta^{-2}-0{,}3102\zeta^{-4}+0{,}0486\zeta^{-6}+$$

$$+0{,}0224\zeta^{-8}-0{,}0182\zeta^{-10})-\frac{\overline{\omega}\left(\frac{1}{\zeta}\right)}{\omega'(\zeta)}\varphi'(\zeta).$$

Между функциями $\varphi(\zeta)$ и $\psi(\zeta)$ существует зависимость

$$\psi(\zeta)=-\varphi\left(\frac{1}{\zeta}\right)-\frac{\overline{\omega}\left(\frac{1}{\zeta}\right)}{\omega'(\zeta)}\varphi'(\zeta). \qquad (4)$$

Эта зависимость не случайна: при растяжении и сдвиге можно установить аналогичное соотношение

$$\psi(\zeta) = \pm\varphi\left(\frac{1}{\zeta}\right) - \frac{\overline{\omega}\left(\frac{1}{\zeta}\right)}{\omega'(\zeta)}\varphi'(\zeta). \qquad (4')$$

Зависимость (4) — (4′) между функциями напряжений $\varphi(\zeta)$ и $\psi(\zeta)$, насколько нам известно, нигде не отмечена. Пользуясь равенством (4) — (4′), можно определить функцию $\psi(\zeta)$ быстрее, чем это делается обычно.

Имея функции напряжений, можно вычислить напряжения на гранях выреза и в области, причем для нахождения контурных напряжений достаточно знать одну функцию $\varphi(\zeta)$.

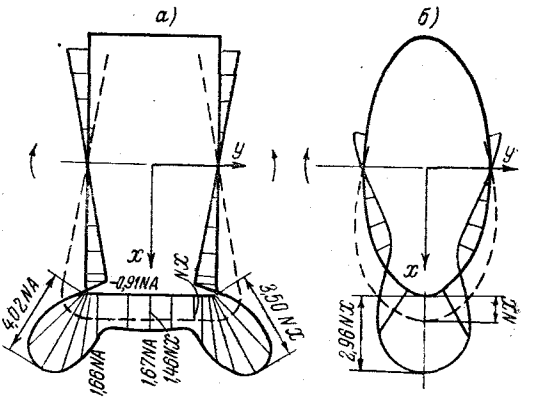


Рис. 3

Характер распределения напряжений по контуру рассмотрим на частных примерах при отношении сторон прямоугольного выреза $a:b \approx 2$ и $a:b \approx 1:2$.

Примем следующие обозначения:

x, y — декартовы координаты на плоскости z, начало координат расположено в центре отверстия;

ρ, θ — полярные координаты на плоскости ζ;

θ_0 — полярный угол на плоскости ζ, соответствущий вершине угла прямоугольного выреза на плоскости z;

ρ, θ — криволинейная ортогональная система координат на плоскости z;

σ_ρ, σ_θ, $\tau_{\rho\theta}$ — напряжения в пластинке, отнесенные к координатам ρ, θ;

σ_x, σ_y, τ_{xy} — напряжения в пластинке, отнесенные к декартовым координатам x, y;

σ^c — напряжения в сплошной пластинке.

Значения напряжений на гранях вырезов $a:b \approx 2$ и $a:b \approx 1:2$ приведены в табл. 1 и 2. В первой графе даны значения полярного угла θ на плоскости ζ; во второй и третьей — декартовы координаты x и y соответствующей точки на плоскости z; наконец, в четвертой — значение контурного напряжения σ_θ в долях NA.

По данным вычислений на рис. 3 и 4 построены эпюры распределения контурных напряжений σ_θ. Пунктирной линией очерчены эпюры распределения напряжений в сплошной балке. Кривые напряжений оборваны в сжатой зоне, где они образуют петлю. В точках, симметричных относительно нейтральной плоскости, напряжения отличаются лишь знаком.

Табл. 1 и рис. 3*а* соответствуют прямоугольному вырезу с отношением сторон $a:b \approx 2$.

На среднем участке грани, параллельной нейтральной плоскости, напряжения σ_θ мало изменяют свою величину, превышая примерно в 1,5 раза напряжения $\sigma_y{}^c$ в сплошной пластинке (коэффициент кон-

центрации $K = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_y^c} = 1{,}47$). Длина этого участка составляет около 70% от полной длины стороны. Далее на небольшом участке следует постепенное, а затем резкое повышение напряжений, которые вблизи вершины угла при $\theta = 34°$ (вершине угла соответствует полярный угол $\theta_0 = 36°$) достигают своего наибольшего значения 4,02 NA с коэффициентом концентрации $K_{max} = 3{,}50$. Затем напряжения круто падают и меняют знак, переходя через нуль вблизи углового закругления. Наибольшее по абсолютной величине напряжение обратного знака составляет 80% от напряжения в сплошной пластинке. На остальном протяжении сторон, перпендикулярных нейтральной плоскости, напряжения изменяются почти по прямой линии до нулевого значения на нейтральной оси. Таким образом, на этом участке эпюра аналогична эпюре в сплошной пластине, но знак напряжений обратный.

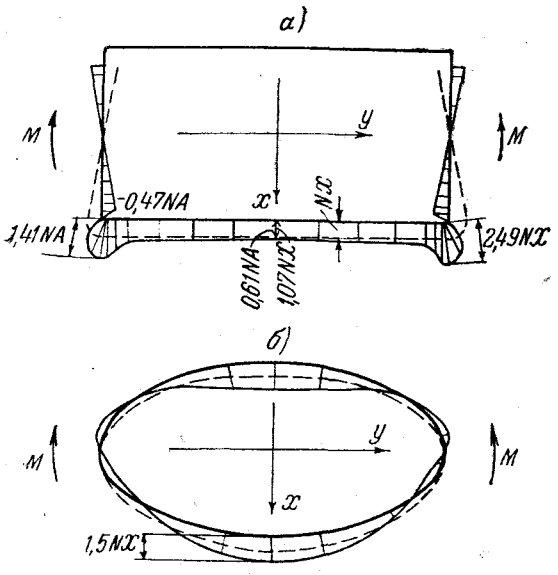


Рис. 4

Интересно провести сравнение между напряжениями на гранях рассматриваемого выреза и выреза в виде эллипса с тем же отношением осей и аналогично расположенного.

Распределение напряжений по контуру такого очертания, данное Найманом, приведено на рис. 3*б*. Максимальное контурное напряжение соответствует точке, лежащей на большой оси эллипса. Оно приблизительно в два раза превышает напряжения в соответствующей точке

Таблица 1

$\theta°$	x	y	σ_θ	$\theta°$	x	y	σ_θ
	в долях A		в долях NA		в долях A		в долях NA
0	1,148	0,000	1,67	38	1,128	—0,570	1,08
10	1,144	—0,199	1,55	39	1,122	—0,572	0,33
20	1.145	—0,390	1,66	40	1,114	—0,573	—0,20
25	1,149	—0,466	2,06	41	1,106	—0,575	—0,52
30	1,151	—0,523	3,09	45	1,064	—0,575	—0,91
32	1,149	—0,540	3,71	50	0,991	—0,570	—0,86
33			3,97	60	0,786	—0.567	—0,72
34	1,145	—0,553	4,02	70	0,546	—0,573	—0,54
35	1,142	—0,558	3,74	80	0,283	—0,571	—0,27
36	1,139	—0,563	3,04	90	0,000	—0,567	—0,00
37	1,134	—0,567	2,06	—	—	—	—

прямоугольного выреза и лишь на 18% ниже наибольшего напряжения в углах прямоугольника.

Табл. 2 и рис. 4*а* соответствуют изгибу пластинки с вырезом при соотношении сторон $a:b=1:2$. Общий характер эпюры тот же, что и в предыдущем случае. Наиболее опасная точка с напряжением $\sigma_\theta = 1{,}41\,NA$ и коэффициентом концентрации $K_{\max} = \frac{\sigma_\theta}{\sigma^c_y} \approx 2{,}5$ располо-

Таблица 2

θ°	x	y	σ_θ в долях NA	θ°	x	y	σ_θ в долях NA
	в долях A				в долях A		
0	0,567	0,000	0,61	53	0,567	—1,134	1,22
10	0,571	—0,282	0,64	54	0,563	—1,139	0,91
20	0,573	—0,546	0,66	55	0,558	—1,142	0,50
30	0,567	—0,786	0,63	56	0,553	—1,145	0,07
40	0,570	—0,991	0,72	58	0,540	—1,149	0,28
45	0,575	—1,064	0,94	60	0,523	—1,151	0,47
49	0,575	—1,106	1,27	65	0,466	—1,149	0,43
50	0,573	—1,114	1,37	70	0,390	—1,145	0,35
51	0,572	—1,122	1,41	80	0,199	—1,144	0,19
52	0,570	—1,128	1,39	90	0,000	—1,148	0,00

жена в пределах углового закругления. Для эллипса с отношением осей 2:1, ориентированного так же, как рассматриваемый контур, распределение напряжений представлено на рис. 4 *б*. Максимальное напряжение в 1,4 раза больше напряжения в соответствующей точке прямоугольного выреза и в 1,7 раза меньше наибольшего напряжения в углах последнего.

Для пластинок с прямоугольными проемами при другом отношении сторон $a:b$ характер распределения напряжений по контуру отверстия при изгибе тот же, что и в двух приведенных эпюрах для $a:b \approx 2$ и $a:b \approx 1:2$.

В табл. 3 даны значения наибольших коэффициентов концентрации $K_{\max}$ и коэффициентов концентрации K при $\theta=0$ (в середине стороны, параллельной нейтральной плоскости). В графе I таблицы при-

Таблица 3

$a:b$	θ_0	При наибольшем значении σ_θ		K при $\theta=0$	$a:b$	θ_0	При наибольшем значении σ_θ		K при $\theta=0$
		$K_{\max}$	θ°_m				$K_{\max}$	θ°_m	
I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
4,35	27°	3,80	25	1,47	1:1,42	49°30′	2,53	47	1,16
2,93	31°30′	3,53	39	1,47	1:1,52	50 24	2,49	47	1,14
2,52	33 18	3,515	31	1,47	1:2,02	54	2,49	51	1,07
2,02	36	3,50	34	1,46	1:2,52	56 42	2,41	54	1,04
1,52	39 36	3,25	37	1,40	1:2,93	58 30	2,31	55	1,02
1,42	40 30	3,16	37	1,38	1:4,35	63	2,24	59	—
1,00	45	2,67	42	1,27	—	—	—	—	—

ведено рассматриваемое отношение сторон $a:b$ проема; в графе II — значение полярного угла θ_0 на плоскости ζ, отвечающее вершине угла прямоугольника на плоскости z; в графах III и IV даны значения θ_m полярного угла θ и K_{max}, соответствующие наибольшему значению контурного напряжения и, наконец, в графе V — значение коэффициента концентрации K при $\theta = 0$.

На основании данных табл. 3 можно сделать выводы:

1. Точки с наибольшей концентрацией контурных напряжений расположены в пределах углового закругления вблизи вершины угла.

2. Максимальный коэффициент концентрации K_{max} зависит от отношения сторон $a:b$ прямоугольного отверстия и увеличивается вместе с этим отношением. Однако изменение K_{max} сравнительно невелико:

при $a:b = 4{,}35$ $\quad K_{max} = 3{,}80$

„ $a:b = 1{,}0$ $\quad K_{max} = 2{,}67$

„ $a:b = 4{,}35$ $\quad K_{max} = 2{,}24$

3. Коэффициент концентрации в середине сторон, параллельных нейтральной плоскости, также растет при увеличении отношения сторон выреза $a:b$. При уменьшении отношения $a:b$ этот коэффициент стремится к единице.

4. Приведенные значения наибольших коэффициентов концентрации свидетельствует о значительной концентрации местных напряжений в опасных точках закругления, что должно учитываться в проектировании изгибаемых элементов конструкций при невыгодном соотношении напряжений у краев балки и в углах отверстия.

Наибольшие коэффициенты концентрации местных напряжений K_{max} соответствуют точкам, лежащим в пределах углового закругления вблизи вершины угла прямоугольного выреза, и зависят от кривизны закругления. Величина же радиуса закругления в углах рассматриваемого контура изменяется при изменении числа членов ряда в отображающей функции

$$z = \omega(\zeta) = A\left(\frac{1}{\zeta} + c_1\zeta + c_2\zeta^2 + \ldots c_n\zeta^n + \ldots\right).$$

Чем меньше членов ряда сохранено в отображающей функции, тем меньше кривизна угловых закруглений. Соответственно этому с уменьшением членов в отображающей функции $z = \omega$ уменьшается и величина наибольшего коэффициента концентрации местных напряжений K_{max}.

Принимая в функции $z = \omega(\zeta)$ шесть, пять и четыре члена ряда, проследим изменение коэффициента концентрации K_{max} при изменении радиуса угловых закруглений для прямоугольных отверстий с отношением сторон: $a:b = 1$; 1,5 и 1 : 1,5; 2,0 и 1 : 2,0; 2,5 и 1 ; 2,5; 2,9 и 1 : 2,9.

Результаты носят несколько условный характер, так как радиус закруглений в углах контура переменный. При этом наблюдается значительное расхождение между наибольшей кривизной в вершине угла и кривизной в точке, которой соответствует наибольшая концентрация напряжений σ_θ. Как следует из табл. 4—8, величина коэффициента концентрации K_{max} зависит как от величины наименьшего радиуса, так и от величины радиуса закругления смежных точек. Несмотря на отмеченное обстоятельство, результаты проведенных исследований имеют значение для приближенного суждения о зави-

Таблица

$a:b$	Число членов ряда в отображающей функции $z=\omega(\zeta)$	При максимальном σ_θ		Отношение радиуса закругления к полусумме полудлин сторон отверстия $\frac{R}{\frac{1}{2}\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)}$ % при θ_0 и θ_m				Среднее значение $\frac{R}{\frac{1}{2}\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)}$ % для θ_0 и θ_m
		$K_{\max}$	θ°_m	45°	43°	42°	38°	
1	4	3,17	43	2,8	4,15	—	—	3,5
	3	2,67	42	4,9	—	9,0	—	6,95
	2	2,21	38	12,0	—	—	23,5	17,75
	2	1,63	—	25*	—	—	—	—

Таблица 5

$a:b$	Число членов ряда в отображающей функции $z=\omega(\zeta)$	При максимальном σ_θ		Отношение радиуса закругления к полусумме полудлин сторон отверстия $\frac{R}{\frac{1}{2}\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)}$ % при θ_0 и θ_m							Среднее значение $\frac{R}{\frac{1}{2}\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)}$ % для θ_0 и θ_m
		$K_{\max}$	θ°_m	39°36′ (50°24′)	37°	36°	35°	47°	46°	44°	
1,5	6	3,25	37	4,0	5,4	—	—	—	—	—	4,7
	5	2,67	36	5,9	—	12,9	—	—	—	—	9,4
	4	2,58	35	10,5	—	—	12,0	—	—	—	11,25
1 : 1,5	6	2,49	47	4,0	—	—	—	9,4	—	—	6,7
	5	2,44	46	5,9	—	—	—	—	10,0	—	7,95
	4	1,91	44	10,5	—	—	—	—	—	26,5	18,5

Таблица 6

$a:b$	Число членов ряда в отображающей функции $z=\omega(\zeta)$	При максимальном σ_θ		Отношение радиуса закругления к полусумме полудлин сторон отверстия $\frac{R}{\frac{1}{2}\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)}$ % при θ_0 и θ_m						Среднее значение $\frac{R}{\frac{1}{2}\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)}$ % для θ_0 и θ_m
		$K_{\max}$	θ°_m	36° (54°)	34°	33°	51°	49°	47°	
2	6	3,50	34	3,5	4,1	—	—	—	—	3,8
	5	2,85	33	5,2	—	9,6	—	—	—	7,4
	4	2,72	33	8,5	—	8,5	—	—	—	8,5
1 : 2	6	2,49	51	3,5	—	—	6,9	—	—	5,2
	5	2,16	49	5,2	—	—	—	12,8	—	9,0
	4	1,86	47	8,5	—	—	—	—	20,5	14,5

* Данные нижней горизонтальной графы получены М. И. Найманом, который исследовал влияние квадратного проема с радиусом закругления в вершине угла равным 25% от полудлины стороны квадрата.

Таблица 7

$a:b$	Число членов ряда в отображающей функции $z=\omega(\zeta)$	При максимальном σ_θ		Отношение радиуса закругления к полусумме полудлин сторон отверстия $\frac{R}{\frac{1}{2}\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)}$ % при θ_0 и θ_m					Среднее значение $\frac{R}{\frac{1}{2}\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)}$ % для θ_0 и θ_m
		K_{max}	θ°_m	33°18′ (56°42′)	31°	29°	54°	51°	
2,5	6	3,51	31	3,6	5,7	—	—	—	4,65
	5	3,08	29	6,85	—	10,7	—	—	8,8
	4	3,22	29	7,2	—	9,3	—	—	8,25
1:2,5	6	2,41	54	3,6	—	—	5,5	—	4,55
	5	1,97	51	6,85	—	—	—	17,2	12,0
	4	1,85	51	7,2	—	—	—	20,5	13,85

Таблица 8

$a:b$	Число членов ряда в отображающей функции $z=\omega(\zeta)$	При максимальном значении σ_θ		Отношение радиуса закругления к полусумме полудлин сторон отверстий $\frac{R}{\frac{1}{2}\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)}$ % при θ_0 и θ_m						Среднее значение $\frac{R}{\frac{1}{2}\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)}$ % для θ_0 и θ_m
		K_{max}	θ°_m	31°30′ (58°30′)	29°	27°	55°	53°	52°	
2,9	6	3,53	29	4,1	6,4	—	—	—	—	5,25
	5	3,33	27	6,6	—	9,6	—	—	—	8,1
	4	3,31	27	6,6	—	9,8	—	—	—	8,2
1:2,9	6	2,31	55	4,1	—	—	7,0	—	—	5,55
	5	1,86	53	6,6	—	—	—	18,5	—	12,55
	4	1,85	52	6,6	—	—	—	—	22,7	14,65

симости концентрации напряжений от кривизны закруглений в углах прямоугольного отверстия в изгибаемой пластине, тем более, что других данных по этому вопросу в настоящее время не имеется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мусхелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. Изд. АН СССР, 1935.
2. Савин Г. Н. Концентрация напряжений возле малых отверстий в неоднородном напряженном плоском поле. Труды Днепропетровского инженерно-строительного института, 1937, вып. 20.
3. Савин Г. Н. Распределение напряжений в плоском поле, ослабленном каким-либо отверстием. Труды Днепропетровского инженерно-строительного института, 1936, вып. 10.
4. Найман М. И. Напряжения в балке с криволинейным отверстием. Труды ЦАГИ, 1937, вып. 313.
5. Lokchine A. CR, 1930, t. 190, p. 1178.
6. Joseph J. A. and Brock J. S. Journal of Applied Mechanics, Trans. ASME, 1950, p. 353—358.

Поступило
20 V 1953 г.