



ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАСТИН С ДЕФЕКТАМИ В ВИДЕ ТРЕЩИН РАЗЛИЧНОЙ ГЛУБИНЫ

О. И. БОЙЧУК, А. И. ЗИРКА, В. М. СИЧКО

Рассмотрено влияние глубины несквозного трещиноподобного дефекта на поверхности пластины толщиной 10 мм на концентрацию напряжений в устье дефекта и в его средней части. Показано постепенное увеличение коэффициента концентрации напряжений по мере превращения несквозного дефекта в сквозной.

The paper deals with the influence of the depth of an incomplete cracklike defect on the surface of a plate 10 mm thick on stress concentration in the defect mouth and its middle part. A gradual increase of the stress concentration factor is demonstrated as the defect develops from an incomplete into a complete defect.

Для оценки влияния глухих концентраторов на прочность внешней и внутренней поверхностей резервуара приведены результаты исследования напряженного состояния пластин с дефектами в виде трещин различной глубины. Исследования выполнены поляризационно-оптическим методом. Описание метода и его приложений посвящена литература [1–3]. В данной статье кратко описана методика экспериментального исследования оптически чувствительных пластин, а также проведение эксперимента и даны результаты исследований пластин с прорезями.

Из прозрачного материала, в котором при появлении механических напряжений и деформаций возникает эффект искусственного двойного лучепреломления, изготавливается модель натурной конструкции, которая подвергается нагружению подобно реально действующим силам.

Известно, что при освещении модели поляризованным светом можно наблюдать через поляроиды картину интерференционных полос, появление которых связано с величиной и направлением действия главных напряжений σ_1 , σ_2 , σ_3 в каждой точке. Используя это, получаем возможность наиболее просто исследовать плоские мо-

дели, так как в этом случае определению подлежат лишь три величины σ_1 , σ_2 и φ — параметр изоклины, показывающей направление действия большего напряжения. Обычно применяемые в фотоупругости приборы позволяют наблюдать два семейства интерференционных полос — изоклины (изолинии разных углов наклона главных напряжений) и изохромы (изолинии разности главных напряжений). Измеряемые при этом параметр φ и разность хода δ , как известно, связаны с разностью главных напряжений и компонентами тензора напряжений следующими соотношениями:

$$\begin{aligned}\sigma_1 - \sigma_2 &= \frac{\delta}{Ct} = n\sigma_0, \quad \sigma_0 = \frac{1}{Ct}, \\ \sigma_x - \sigma_y &= \frac{\delta}{Ct} \cos 2\varphi = n\sigma_0 \cos 2\varphi, \\ \tau_{xy} &= \frac{\delta}{2Ct} \sin 2\varphi = \frac{n\sigma_0}{2} \sin 2\varphi,\end{aligned}$$

где C — относительный оптический коэффициент напряжений (характеристика материала); σ_0 — цена полосы модели (разность главных напряжений, вызывающих появление в модели одной первой полосы); n — порядок интерференционной полосы (изохромы); t — толщина модели; λ — длина волны применяемого поляризованного света; σ_0 , C , а также модуль упругости материала E и коэффициент Пуассона ν определяются на тарировочных диаметрально сжатых дисках по обычной методике [1]:

$$C = \frac{\delta\pi D}{8P}, \quad E = P \frac{4 - \pi(1 - \nu)}{\pi t \Delta D}, \quad \nu = \frac{(4 - \pi)D \Delta t}{4t \Delta D - \pi D \Delta t},$$

где D — диаметр диска; ΔD — приращение горизонтального диаметра; t — толщина диска; Δt — приращение толщины диска в центре; P — нагрузка; δ — оптическая разность хода в центре диска.

Таким образом, при применении обычной в фотоупругости аппаратуры и методики измерений можно определить разность напряжений σ_x и σ_y .

В наших исследованиях в качестве материала пластин использовано оптически чувствительное оргстекло Э-2, оптико-механические характерис-

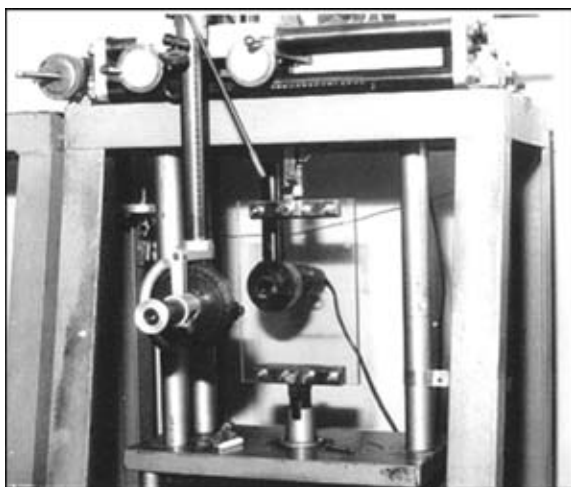


Рис. 1. Нагружение пластины на универсальном прессе УП-8, установленном на КСП-6 с компенсатором Краснова СКК

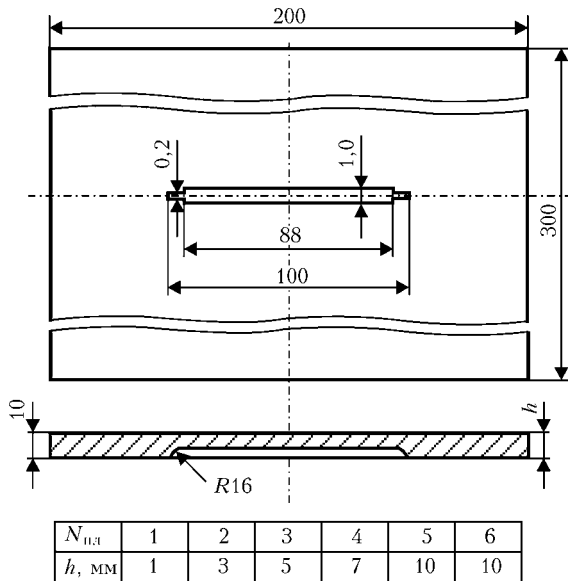


Рис. 2. Эскиз пластины с прорезью

тики которого при комнатной температуре следующие: модуль упругости $E = 3 \cdot 10^4$ кГ/см, относительный оптический коэффициент $C = 39 \cdot 10^{-7}$ см²/кГ, коэффициент Пуассона $\nu = 0,32$.

Фотографирование картин полос проведено при нормальном просвечивании плоскости пластин на фотоэластициметре типа Меорта FP с натриевым источником света ($\lambda = 589$ мкм). Замеры оптической разности хода и параметров изоклины в пластинах проводили на координатно-синхронном поляриметре КСП-6 с компенсатором Краснова СКК (рис. 1). Пластины изготовлялись на фрезерном станке при малых оборотах, не допускающих нагрева материала.

Исследовано напряженное состояние шести вариантов пластин. Размеры пластин: длина 300 мм, ширина 200 мм, толщина 10 мм. Трещины в пластинах моделировали в виде поперечных прорезей (длиной $\lambda = 100$ мм), состоящих из двух фрагментов: середина прорези (длиной $\lambda = 88$ мм) выполнялась фрезой диаметром 70 мм, толщиной 1 мм, концы прорези выполняли фрезой диаметром 32 мм, толщиной 0,2 мм.

Эскиз пластины показан на рис. 2.

В первой пластине прорезь выполняли на глубину 1 мм, во второй — на глубину 3 мм, в третьей — на глубину 5 мм, в четвертой — на глубину 7 мм. В пятой пластине выполняли сквозную прорезь с радиусным закруглением $R = 16$ мм в концах прорези (см. рис. 2). В шестой — сквозная прорезь, концевые части которой пропиливали заостренной пилочкой толщиной 0,1 мм, изготовленной из лезвия бритвы. Созданная прорезь достаточно близко моделирует натуральную трещину.

Пластины нагружались растягивающими усилиями: 1–3 пластины $P = 100; 200; 350$ кГ соответственно, 4 и 5 — усилиями $P = 100; 200; 300$ кГ, 6 — усилиями $P = 50; 100; 200$ кГ. В нагруженных пластинах на координатно-синхронном поляриметре КСП-6 компенсатором Краснова в характерных точках измерялись оптическая раз-

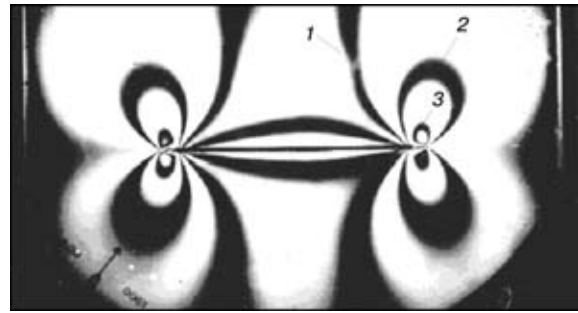


Рис. 3. Картина полос в пластине № 5 ($h = 10$ мм) со сквозной прорезью и радиусным закруглением в усиках дефекта при нагрузке $P = 300$ кГ (1–3 — порядок интерференционных полос)

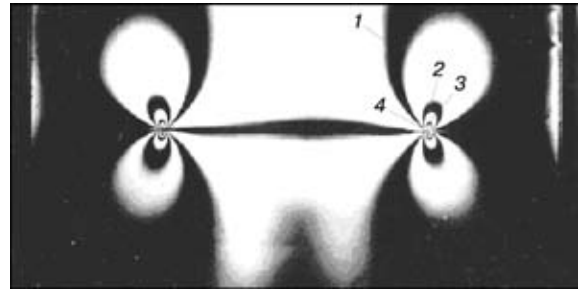


Рис. 4. Картина полос в пластине № 6 ($h = 10$ мм) со сквозной прорезью без радиусных закруглений в усиках дефекта при нагрузке $P = 200$ кГ

ность хода δ и параметры изоклин ϕ . По этим данным определялись напряжения в зоне прорези.

В некоторых пластинах проведено фотографирование картин полос в зоне прорези глубины h (рис. 3, 4). По данным таблицы построены графики на рис. 5, 6.

В таблице для всех шести пластин приведены значения концентрации напряжений K_k в усиках дефектов и значения приведенных напряжений $\sigma_{пр.ср}$

$$K_k = \frac{\sigma_k}{\sigma_{ном}}, \quad \sigma_{пр.ср} = \frac{\sigma_{ср}}{\sigma_{ном}}, \quad (1)$$

определенных как отношение напряжений, действующих на концах и в середине прорезей, к номинальным, определенных по формуле:

$$\sigma_{ном} = \frac{P}{F}, \quad (2)$$

где P — нагрузка на пластину; F — площадь неослабленного сечения.

Напряжения σ_k в концах прорези усреднены по толщине пластины $t = 10$ мм. Напряжения в середине прорези $\sigma_{ср}$ усреднены по толщине t с учетом глубины прорези. В случае сквозной прорези усреднение проводили по всей толщине пластины.

$N_{пл}$	1	2	3	4	5	6
h , мм	1	3	5	7	10	10
K_k	1,05	1,10	1,20	1,35	3,10	11,0
$\sigma_{пр.ср}$	1,08	1,30	1,70	2,90	-1,60	-1,90

По данным таблицы построены графики (рис. 5, 6).

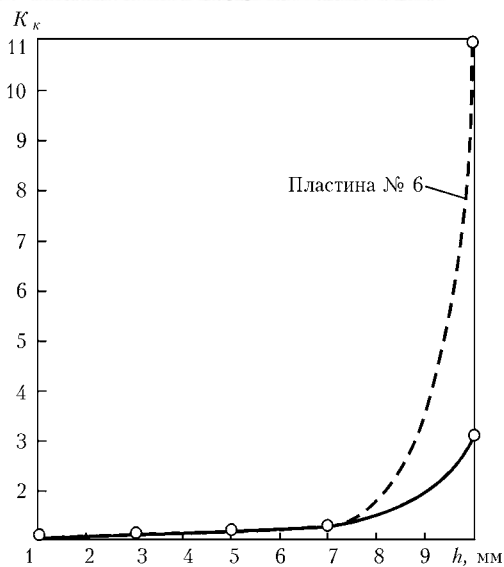


Рис. 5. Концентрация напряжений в усиках дефекта с радиусным закруглением дефекта (сплошная линия) и без закругления (штриховая) в зависимости от глубины прорезей

Выводы

Из таблицы и графиков на рис. 5, 6 следует следующее.

1. В пластинах при глубине прорези от 1 мм до 7 мм концентрация напряжений в «усиках» дефектов (прорези) с увеличением глубины дефекта возрастает незначительно, а именно от 1,05 до 1,35; приведенные напряжения в середине прорези увеличиваются от 1,08 до 2,9 при увеличении глубины прорези; с увеличением глубины несквозных прорезей отношение приведенных напряжений в средней части пластины на внутренней поверхности прорези к приведенным напряжениям на концах прорези («усиках» дефекта) увеличивается более чем в два раза. Отсюда следует, что в случае критических нагрузок, разрушение пластины с несквозными трещиноподобными дефектами на ее поверхности будет происходить в срединной части пластины.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев
Ин-т механики им. С. П. Тимошенко НАН Украины, Киев
Николаевский гос. ун-т

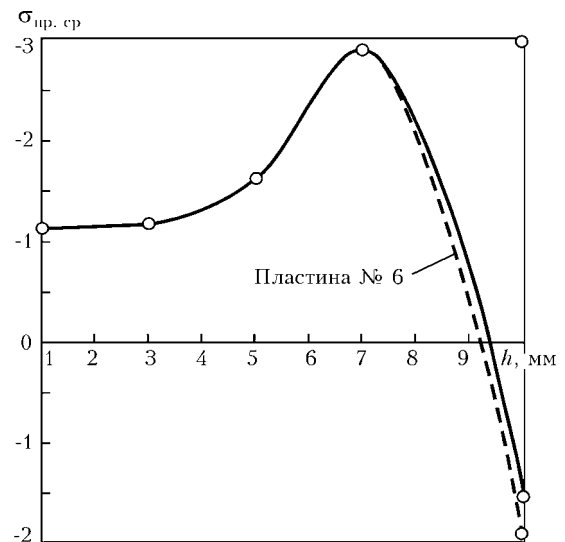


Рис. 6. Приведенные напряжения в середине прорези в пластинах с радиусным закруглением дефекта (сплошная линия) в зависимости от глубины прорезей и без закругления (штриховая)

2. В пластине № 5 со сквозной прорезью и радиусным закруглением $R = 16$ в концах прорези концентрация напряжений равна 3,1, а в середине пластины возле прорези приведенные напряжения меняют знак и равны $-1,6$.

3. В пластине № 6 со сквозной прорезью без закруглений в «усиках» дефекта концентрация напряжений равна 11,0; в середине пластины возле прорези приведенные напряжения равны $-1,9$.

В пластинах со сквозными дефектами разрушение будет проходить возле «усиков» дефекта.

1. Александров А. Я., Ахметзянов М. Х. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела. — М.: Наука, 1973. — 567 с.
2. Дюрелли А., Райли У. Введение в фотомеханику (поляризационно-оптический метод). — М.: Мир, 1970. — 484 с.
3. Экспериментальная механика. Кн. 1. — М.: Мир, 1990 — 615 с.

Поступила в редакцию
20.09.2003