

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ЗОНЕ ШВА УГЛОВЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

И. С. Гузь, С. Д. Ишков, А. Н. Подгорный

(Харьков)

Методом динамической фотоупругости исследуется влияние геометрии угловых сварных соединений при взрывном нагружении и их разрушение. Показано, что взаимодействие волн напряжений с геометрией шва может быть сведено к дифракции их на двугранных углах, образованных плоскостью свариваемых пластин и поверхностью наплавленного металла. Разрушение таких соединений происходит на отраженной волне в местах перехода от основного металла к усилению и в зонах интерференции.

Среди сварных соединений широкое применение находят угловые соединения, которые как элементы реальных конструкций могут испытывать динамические нагрузки. Разработаны определенные требования к конструктивным элементам этих соединений, но вопрос о распределении напряжений в зоне шва и характер разрушения таких соединений при импульсном нагружении изучены недостаточно.

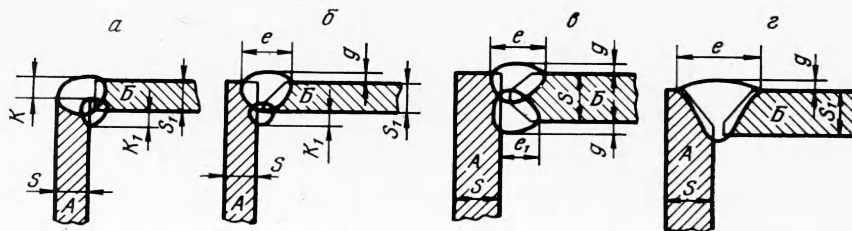
В работе поляризационно-оптическим методом в сочетании со скоростной кино съемкой исследуется влияние геометрии шва угловых соединений на формирование напряженного состояния и их разрушения при взрывном нагружении.

Для исключения влияния структуры реального соединения (шов считается бездефектным) исследования выполнены на линейновязкоупругом материале — полиметилметакрилате — со следующими физико-механическими характеристиками: плотность 1.18 г/см^3 , предел прочности при сжатии, растяжении и изгибе соответственно 900, 600 и 1000 кг/см^2 , модуль упругости $3 \cdot 10^4 \text{ кгс/см}^2$, коэффициент Пуассона 0.35, твердость по Бринеллю 19 кгс/см^2 .

Из листового материала толщиной 10 мм воспроизводилась геометрия угловых соединений по ГОСТ 147771-69 с условным обозначением шва У5, У7, У8, У9 согласно этому же ГОСТу. Размеры конструктивных элементов рассмотренных соединений даны в таблице.

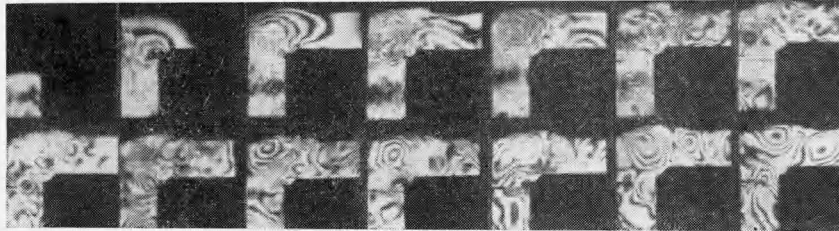
Условное обозначение шва	Размеры в мм					
	$S = S_1$	K	g	l	l_1	K_1
У5	14	10.5	—	—	—	3
У7	14	—	2	13	—	—
У8	19	—	2	13	—	2
У9	14	—	2	22	—	—

Нагружение осуществлялось с помощью микровзрыва (50 мг ТЭН), максимальная нагрузка 500 кг/см^2 длительностью 20—25 мксек. Время нарастания нагрузки 8 мксек. Для получения плоского фронта волны микрозаряд равномерно рассредоточивался по поверхности нагружаемой пластины и располагался на расстоянии 60 мм от исследуемой области.



Фиг. 1

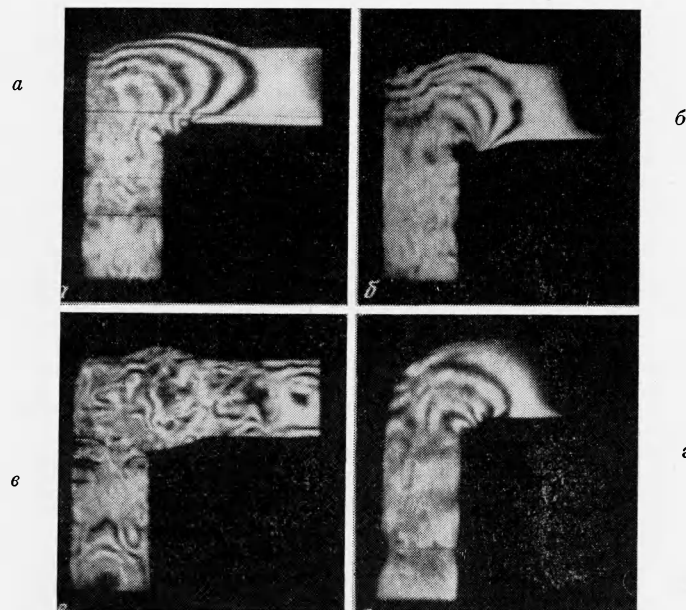
Проведенные исследования показали, что геометрия соединений оказывает существенное влияние на характер распределения динамических напряжений. Нагружение угловых соединений с разных сторон в силу его асимметрии не эквивалентно. Например, для соединения У9 в случае инициирования волны со стороны пластины А (фиг. 1, е) формирование напряженного состояния в начальный момент времени



Фиг. 2

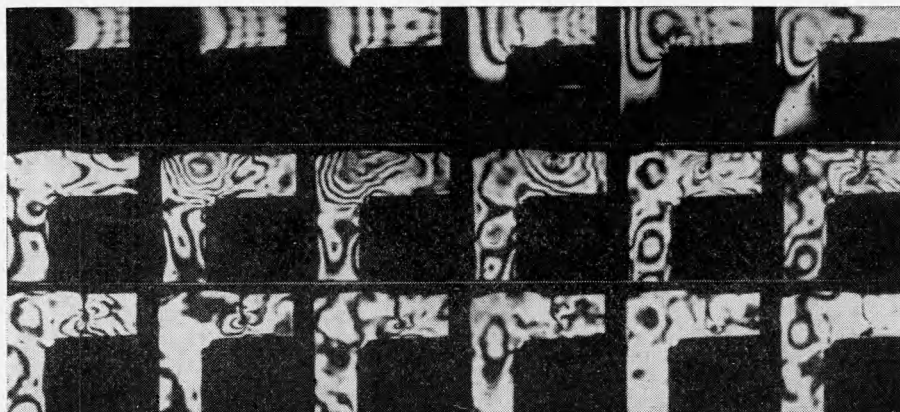
(фиг. 2, кадры из кинограммы, полученной при скорости съемки 1 млн кадр./сек даны через 8 мксек) сводится к дифракции волны сжатия на двугранных углах, образованных поверхностью корня шва и плоскостями пластин, в результате в этом месте создается максимальная концентрация напряжений. Поскольку в корне такого соединения наиболее вероятно возникновение различных дефектов формирования шва из-за нарушения режима сварки, неправильной подготовки кромок и пр., в этой области при динамическом нагружении возникают условия, способные вызвать разрушение соединения.

Усиление шва благоприятно сказывается на формировании напряженного состояния: линии максимальных касательных напряжений повторяют геометрию усиления (фиг. 3, а). В местах перехода к усилению шва не создается условия для разрушения. Наряду с дифракцией волны имеют место явления отражения и интерференции, которые вызывают образование и развитие трещины в нагружаемой пластине на расстоянии 20 мм от ее торца. Наблюдаемое явление аналогично откольным явлениям.



Фиг. 3

В случае нагружения соединения У9 с противоположной стороны (фиг. 4) наряду с описанными явлениями наблюдается локализация напряжений и разрушение образца в местах перехода к усилению шва, т. е. усиление шва способствует зарождению и развитию трещин. При таком расположении относительно направления распространения волны оно оказывается опасным даже при достаточно плавных переходах к усилению (коэффициент формы усиления 11.0). Зарождение и развитие трещин происходит преимущественно на отраженной волне, т. е. она является наиболее опасной



Фиг. 4

с точки зрения разрушения соединения. Наличие усиления в этом случае стимулирует откольные явления, поскольку оно при нагружении со стороны пластины *Б* располагается в зоне интерференции волн. Воздействие волн напряжений различных типов на вершину растущей трещины вызывает изменение напряженного состояния в ее вершине, в результате чего наблюдается изменение траектории движения трещин (фиг. 4). Скорость ее роста в начальный момент оказывается достаточно высокой (500 м/сек), а затем снижается до полной остановки трещины. Наряду с этим происходит разрушение у корня шва, т. е. на внутреннем контуре соединения, которое начинается значительно позже, чем на внешнем контуре.

Изучение кинограмм, полученных для угловых соединений У7, показывает, что при нагружении его со стороны пластины *А* наблюдаемые явления аналогичны рассмотренным для соединения У9, несмотря на некоторые различия в геометрии усиления шва (коэффициент формы 6.5). Распространение волны со стороны пластины *Б* сопровождается более интенсивной концентрацией напряжений в местах перехода к усилению, в результате образования и развития трещин происходит несколько раньше, чем для соединения У9. Замечено, что важную роль в процессе разрушения играет местоположение усиления относительно зоны интерференции волн, которое в значительной мере определяет скорость развития трещины, а следовательно, долговечность соединения. В соединении У7 подварочный шов снижает резкие переходы и улучшает геометрию корня, что облегчает напряженное состояние в этой зоне.

Исследование шва сварного соединения У8 показывает, что на внутреннем контуре соединения, несмотря на двустороннее усиление, реализуется весьма неблагоприятная геометрия, приводящая к мощной концентрации напряжений на внутреннем усилении, что особенно проявляется при распространении волны со стороны пластины *А* (фиг. 3, б). Это обусловлено тем, что при такой геометрии шва на внутреннем контуре образуется двугранный угол, близкий к 90°. В результате при определенной интенсивности нагружения это может привести к разрушению соединения уже на падающей волне. Результаты проведенных исследований показывают, что разрушение происходит преимущественно или в результате откольных явлений (фиг. 3, в) или на отраженной волне в местах резких изменений сечения соединения.

Наиболее благоприятными с точки зрения динамической прочности являются угловые соединения У5. Реализуемая в них геометрия не создает на внешнем контуре условий для разрушения, хотя внутренний остается по-прежнему опасным (фиг. 3, г). Для этого типа соединения характерно отсутствие откольных явлений.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что ответственными за формирование напряженного состояния в зоне угловых сварных соединений при динамическом нагружении являются дифракция и интерференция волн напряжений. В общем случае взаимодействие волн напряжений с геометрией рассматриваемых соединений может быть сведено к дифракции на углах, образованных плоскостями свариваемых пластин и поверхностью наплавленного металла.

Поступила 16 VII 1973

УДК 532.72

ИСПРАВЛЕНИЯ К СТАТЬЕ «ОБ ОДНОМ РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЯ ДИФФУЗИИ С НЕЛИНЕЙНОЙ ПРАВОЙ ЧАСТЬЮ» ПМТФ, 1969, № 4

Н. Н. Кочина

(Москва)

Формулы (1.18) — (1.27) неверны. Решение задачи (1.6) — (1.8) дается формулами

$$\begin{aligned}
 h_1(x, t) &= h_0 + \int_0^t x \exp[s(t, \tau) x^2] w_1(\tau) d\tau + \int_0^t [x - \chi(\tau)] \times \\
 &\times \exp\{s(t, \tau) [x - \chi(\tau)]^2\} w_2(\tau) d\tau \\
 v(x, t) &= F(x, t) + \int_0^t [x - \chi(\tau)] \exp\{s(t, \tau) [x - \chi(\tau)]^2\} w_3(\tau) d\tau + \\
 &+ \int_0^t (x - L) \exp\{s(t, \tau) (x - L)^2\} w_4(\tau) d\tau \\
 w_i(t, \tau) &= v_i(\tau) (t - \tau)^{-3/2} \quad (i = 1, 2, 3, 4), \\
 s(t, \tau) &= -[4a^2(t - \tau)]^{-1}
 \end{aligned}$$

где $v_2(\tau), v_3(\tau)$ — решения линейных интегральных уравнений Вольтерра второго рода с сингулярным ядром типа $K_i(t, \tau) = L_i(t, \tau) / \sqrt{t - \tau}$, причем функции $L_i(t, \tau) = \Phi_i[t, \tau, \chi(t), \chi(\tau)]$ регулярны

$$\begin{aligned}
 v_i(t) &= \Phi_i(t) + \int_0^t K_i(t, \tau) v_i(\tau) d\tau, \quad K_i(t, \tau) = (-1)^i R(t, \tau) + \\
 &+ \frac{1}{4a^2\pi} \int_{\tau}^t \frac{P_i(t) P_i(\tau)}{[(t - \sigma)(\sigma - \tau)]^{3/2}} \exp\left\{-\frac{1}{4a^2} \left[\frac{P_i^2(t)}{t - \sigma} + \frac{P_i^2(\tau)}{\sigma - \tau}\right]\right\} d\sigma \\
 (i = 2, 3) \quad R(t, \tau) &= \frac{1}{2a\sqrt{\pi}} \frac{[\chi(t) - \chi(\tau)]}{(t - \tau)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{[\chi(t) - \chi(\tau)]^2}{4a^2(t - \tau)}\right\} \\
 P_2(t) &= \chi(t), \quad P_3(t) = L - \chi(t)
 \end{aligned}$$