

А. Н. ПОДГОРНЫЙ, И. С. ГУЗЬ С. Д. ИШКОВ

**ФОРМИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ
В НАХЛЕСТОЧНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ПРИ ВЗРЫВНОМ
НАГРУЖЕНИИ**

(Представлено академиком Ю. Н. Работновым 21 XI 1973)

Ранее нами показано (¹⁻³) существенное влияние геометрии стыковых, угловых и тавровых соединений на характер распределения напряжений в зоне шва и кинетику их разрушения при динамическом нагружении. В настоящем исследовании рассматривается роль некоторых геометрических параметров шва в формировании напряженного состояния в нахлесточных соединениях и, в частности, величины катета шва, формы шва (плоский, выпуклый, вогнутый) и глубины проплавления при неизменном катете. Исследования выполнены методом динамической фотоупругости в сочетании со скоростной киносъемкой. С учетом выбранной скорости съемки (10^6 кадров/сек) и размеров рабочего поля полярископа (50×50 мм²) для получения необходимой разрешающей способности изучаются соединения внахлестку пластин толщиной 14 мм (условное обозначение шва соединения Н4 по ГОСТ 14771-69). Образцы, воспроизводящие геометрию этих соединений, вырезались из листа полиметилметакрилата толщиной 10 мм. Размеры конструктивных элементов моделируемых соединений приведены в табл. 1.

Ширина участка нахлестки составляла 60 мм, длина каждой пластины — 130 мм, что обеспечивало, с одной стороны, достаточное разделение продольной и поперечной волн, с другой — необходимую их интенсивность. Для одновременной регистрации напряженного состояния в зонах обоих угловых швов соединения осуществлялась синхронная съемка с помощью двух кинокамер СФР-1М.

Вначале исследовалось влияние величины катета для швов плоской формы. Кинограммы формирования напряженного состояния для случая $K=14$ мм (табл. 1) представлены на рис. 1. Изучение их показывает, что при выходе волны напряжений в зону первого по ходу распространения волны шва наблюдается незначительная концентрация напряжений к вершине двухгранного угла, образованного поверхностью шва и плоскостью нагружаемой пластины, а затем происходит их локализация в корне шва. Необходимо отметить, что соединения внахлестку рассматриваемого типа характеризуются наличием несплошности на участке перекрытия пластин, которая по форме аналогична замкнутой трещине. Вершины ее упираются в корни шва соединения, что в значительной степени определяет характер напряженного состояния в исследуемых зонах. В начальный момент наблюдаемое в корне шва распределение напряжений идентично напряженному состоянию в вершине реальной трещины при аналогичной схеме нагружения (⁴), а затем наблюдается изменение направления градиента максимальных касательных напряжений, которое обусловлено наличием близко расположенной свободной поверхности (поверхности шва). Дальнейшее изменение картины напряженного состояния происходит в результате воздействия поперечной волны. При этом характерно, что ни продольные, ни поперечные волны в рассматриваемые моменты времени не вызывают разрушения соединения.

В результате дифракции волны напряжений в зоне первого шва происходит перераспределение упругой энергии: часть энергии падающей волны уходит во вторую пластину. Волна напряжений, распространяющаяся в нагружаемой пластине, приходит в зону второго по ходу распространения волны шва с некоторым опережением и вызывает в его корне напряженное состояние, аналогичное полученному в работе (4) для случая распространения волны по одному из берегов трещины, но с более выраженной асимметрией картины распределения напряжений. Приход в исследуемую область волны, распространяющейся в соседней пластине, вызывает изменение направления градиента наибольших касательных напряжений и до некоторой степени снижает концентрацию их в корне шва, однако не устраняет условий для разрушения соединения. В корне шва зарождается трещина, которая всегда развивается во второй пластине в направле-

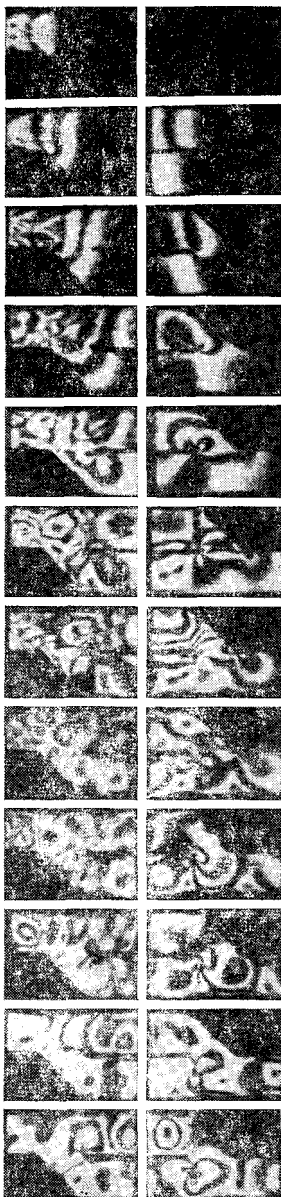


Рис. 1

Рис. 1. Кинограммы формирования напряженного состояния в нахлесточном соединении для плоской формы шва ($K=14$ мм)

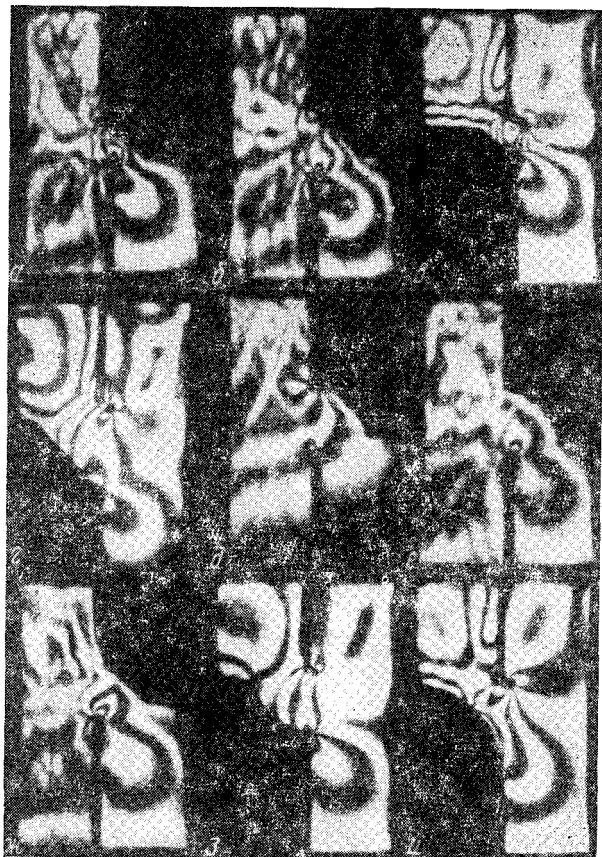


Рис. 2

Рис. 2. Кадры из кинограмм формирования напряженного состояния в соединениях, указанных в табл. 1 (распространение волны сверху вниз). Соединение швами плоской ($a-g$), вогнутой (d, e, z) и выпуклой ($ж, u$) формы: $a, в - K=5$ мм; $б - K=10$ мм, $г - K=14$ мм

нии нормали к ее плоскости, т. е. характер разрушения идентичен случаю разрушения, наблюдаемому при дифракции продольной волны на реальной трещине. Необходимо отметить, что наряду с описанными явлениями имеет место также локализация упругой энергии в вершине двугранного угла, образованного поверхностью шва и плоскостью второй пластины (рис. 2в, г). Картина распределения напряжений аналогична напряженному состоянию в вершине трещины, при этом градиент максимальных касательных напряжений направлен по биссектрисе двугранного угла.

Увеличение катета угловых швов нахлесточного соединения практически не сказывается на характере распределения напряжений в зоне первого по ходу распределения волны шва (рис. 2а, б). Однако большему катету соответствует большая высота расчетного сечения углового шва, через которое упругая энергия падающей волны в результате дифракции пере-

Т а б л и ц а 1

Форма шва	Величина катета K , мм			Выпук- лость g , мм	Вогнутость Δ , мм	Глубина проплавления a , мм		
Плоский	5	10	14	—	—	0	3	6
Выпуклый	10			3	—	3		
Вогнутый	10			—	3	3		

П р и м е ч а н и е. Обозначения K , g и Δ взяты из ГОСТ 14771-69.

распределяется из нагружаемой пластины в соседнюю. Это приводит к возрастанию интенсивности волны, распространяющейся в соседней пластине и усиливает отмеченный выше эффект компенсации напряжений в корне второго шва. Таким образом, с точки зрения перераспределения упругой энергии швы с большим катетом предпочтительней. Увеличение катета приводит также к более благоприятному распределению напряжений в зоне второго шва (рис. 2г), так как в этом случае возрастает расстояние между корнем шва и вершиной двугранного угла, что снижает эффект взаимного влияния концентраторов на степень локализации напряжений в каждом из них, который наблюдается для случая шва с минимальным катетом (рис. 2в).

Изучение нахлесточных соединений с разпой формой угловых швов (табл. 1) показывает, что наиболее благоприятными в условиях динамического нагружения являются соединения с вогнутой поверхностью шва. При такой форме поверхности волна легко дифрагирует в соседнюю пластину, при этом в местах перехода от пластины к шву не происходит аккумуляции упругой энергии, так как плоскость пластины в этом случае является плоскостью, касательной к поверхности шва. Однако в корне обоих швов возникает напряженное состояние, опасное с точки зрения разрушения соединения (рис. 2ж, и). Для швов плоской формы двугранный угол, образованный плоскостью стыкуемой пластины и поверхностью шва, составляет 45° , что несколько затрудняет сток упругой энергии в соседнюю пластину, в результате наблюдается ее локализация в вершине двугранных углов.

Наиболее опасными при динамическом нагружении являются швы с выпуклой формой поверхности. В этом случае значение двугранного угла приближается к 90° , поэтому в местах встречи со швом реализуется напряженное состояние, способное при определенной интенсивности волны вызвать разрушение соединения как в зоне первого шва, так и в зоне второго (рис. 2д, з); при этом характерно, что наличие резких переходов от

пластины к шву приводит к заметному перераспределению напряжений в окрестности корня шва. Дальнейшее распространение волны в зоне первого шва сопровождается перераспределением напряжений: максимальная локализация упругой энергии наблюдается у корня шва, в вершине «непровара» (рис. 2e).

Следствием увеличения глубины проплавления при неизменном катете являются те же эффекты, что и при увеличении катета, так как большей глубине проплавления соответствует большее значение высоты расчетного сечения углового шва.

Поступило
26 IX 1973.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Н. Подгорный, И. С. Гузь, С. Д. Ишков, Прочность и разрушение материалов при скоростном и сверхскоростном нагружении (Краткие тез. докл. научно-технич. конфер. 10—12 октября 1973 г.), Новокузнецк, 1973. ² И. С. Гузь, С. Д. Ишков, Там же. ³ И. С. Гузь, С. Д. Ишков, Там же. ⁴ В. М. Финкель, И. С. Гузь и др., Сборн. Высокоскоростная деформация, «Наука», 1971.