

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

А. Н. ПОДГОРНЫЙ, И. С. ГУЗЬ, С. Д. ИШКОВ, Л. В. ИШКОВА

**ПОЛЯ ИЗОКЛИН И ИЗОСТАТ В ЗОНЕ ШВА ТАВРОВЫХ
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ**

(Представлено академиком Ю. Н. Работновым 10 XII 1974)

Рассматривая напряженное состояние в зоне сварных соединений при взрывном нагружении, авторы (^{1, 2}) показали влияние геометрии шва на формирование динамических напряжений и разрушение. Полученная методом динамической фотоупругости интерференционная картина дает информацию лишь о значениях разности главных напряжений. Для полного решения задачи необходимо получить распределение изоклин с тем, чтобы построить траектории главных напряжений и перейти к отысканию значений касательных τ_{xy} и нормальных σ_x , σ_y напряжений в нужных точках.

В настоящей работе предпринята попытка получить поле изоклин методом динамической фотоупругости с использованием методики (³). Моделировались тавровые сварные соединения пластин толщиной 14 мм с условным обозначением шва Т8 по ГОСТ 14771-69. Модели вырезались из листа полиметилметакрилата толщиной 10 мм и для снятия остаточных напряжений подвергались отжигу. Нагружение осуществлялось взрывом плоского заряда ТЭНа на торце пластины. Принятый уровень нагружения (100 мг ТЭНа) приводил к разрушению, поэтому каждый последующий эксперимент проводился на новой модели. Это обусловило высокие требования к точности их изготовления и стабильности методики исследования. Для обеих схем нагружения, которые допускает соединение в «тавр», регистрировались полосы интерференции и изоклины равных параметров в монохроматическом свете с помощью скоростной кинокамеры СФР-2М, работающей в режиме лупы времени; скорость съемки составляла $1 \cdot 10^6$ кадр/сек. Изоклины фиксировались с шагом через 10° , их положение предварительно определялось фотоспособом и более точно — фотометрированием негатива кинограммы на микрофотометре МФ-2 по сечениям, перпендикулярным направлению изоклин, с определением координат минимумов почернения относительно контура модели.

При нагружении со стороны вертикальной пластины реализуется симметричная схема нагружения, поэтому для построения поля изоклин в исследуемой области достаточно зафиксировать изоклины с параметрами от 0 до 45° . Кинограмма формирования интерференционной картины в зоне соединения представлена на рис. 2а, на рис. 2б, в — изображение того же процесса в плоском полярископе для изоклин с параметрами 10 и 40° (интервал времени между кадрами 4 мсек.). Анализ их показывает, что изоклины достаточно локализованы и по мере развития волнового процесса меняют свое положение относительно контура модели. Таким образом, для системы одновременных кадров, взятых из кинограмм полос и изоклин нужных параметров, можно построить семейство изоклин, как это делается в условиях статического нагружения. Такое построение выполнено для момента выхода волны напряжений в изучаемую зону, когда наблюдается наиболее интенсивная дифракция ее на двугранных углах, образованных угловыми швами и горизонтальной пластиной (рис. 2а, кадр 5). Хотя поло-

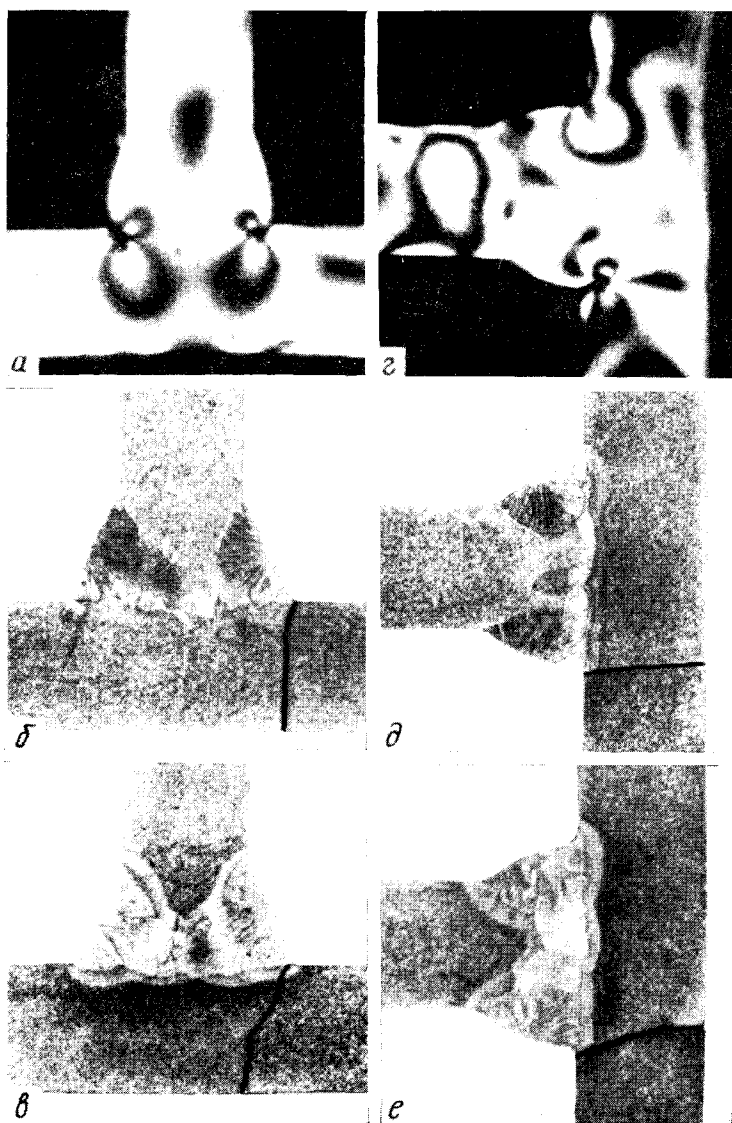


Рис. 1. Картины разрушения моделей и реальных сварных соединений. *а, з* — разрушение моделей, *б, д* — сварных соединений после нормализации, *в, е* — сварных соединений в исходном состоянии

жение изоклин не зависит от уровня нагружения, последний поддерживался постоянным для получения во фронте падающей волны одного и того же порядка полос, что в значительной мере облегчало отыскание на кинограммах полос и изоклин совпадающих во времени кадров. Полная картина изоклин для правой половины модели представлена на рис. 3, на другой половине построены семейства траекторий главных напряжений (σ_u — сплошные линии, σ_v — пунктирные линии). Для данной картины изоклин характерно, что все они, за исключением изоклин 0 и 10° , сходятся в месте перехода от шва к горизонтальной пластине. Изучение траекторий главных напряжений позволяет сделать вывод о том, что на нижнем горизонтальном участке контура модели имеется точка, которая делит его на две части, одна из которых принадлежит семейству траекторий σ_u , другая — σ_v . Очевидно, этой точкой является место выхода изоклины с параметром 45° на рассматриваемый участок контура.

При нагружении со стороны горизонтальной пластины реализуется несимметричная схема нагружения, поэтому для построения картины изоклин необходимо зафиксировать изоклины с параметрами $0-80^\circ$. Для этой схемы нагружения поле изоклин и траектории главных напряжений построены для момента выхода волны в зону шва, когда процесс сопровождается дифракцией волны напряжений в месте встречи со швом. Характерно, что все изоклины, кроме 0 , 10 и 20° , сходятся в месте перехода от вертикальной пластины ко шву соединения на участке, где наблюдается дифракция волны напряжений; таким образом, эта точка является сингулярной.

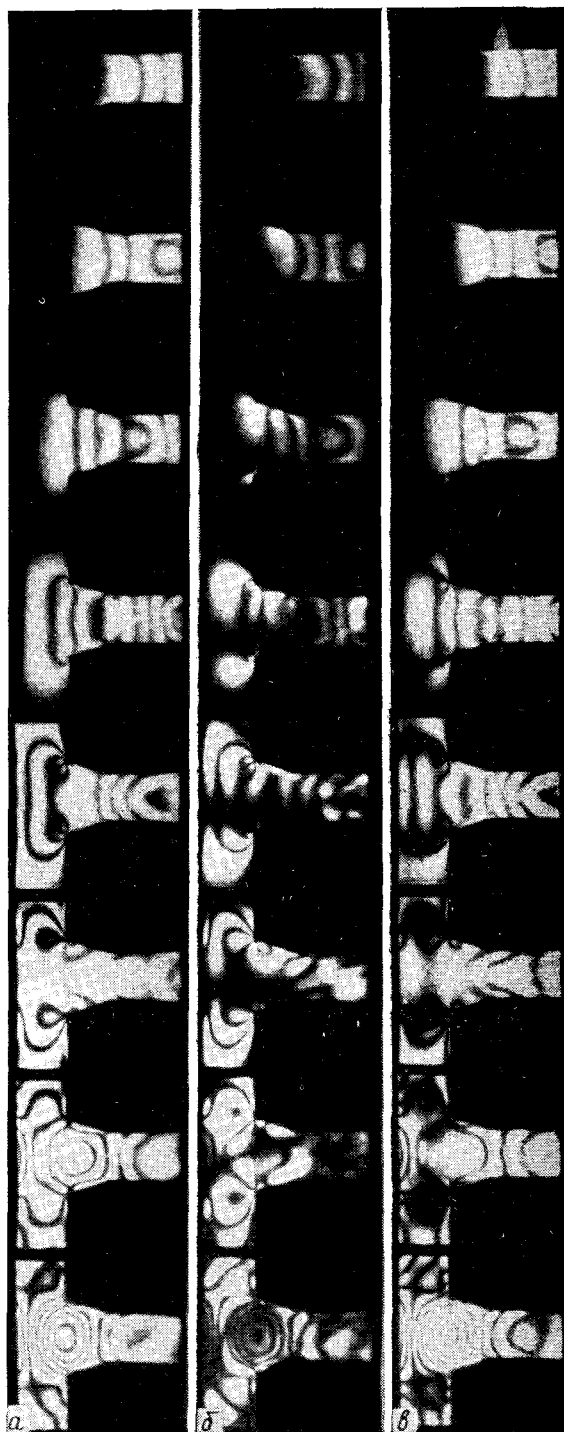


Рис. 2. Кинограммы формирования изохром (а) и изоклин с параметром 10° (б) и 40° (в) при нагружении таврового соединения со стороны вертикальной пластины

Ранее отмечалось, что выбранная величина нагрузки приводила к разрушению модели, поэтому представляло интерес сравнить характер разрушения модели и реальных сварных соединений. С этой целью из пластин качественной конструкционной стали толщиной 14 мм было выполнено тавровое соединение по ГОСТ 14771-69 с условным обозначением шва Т8, причем сварной шов выполнялся по возможности геометрически близким шву модели. Сварка осуществлялась в среде углекислого газа полуавтоматом А-547 проволокой СВ-08Г2С диаметром 1,2 мм (способ сварки VII по ГОСТ 14771-69) при строгом соблюдении требований технологии.

После контроля шва методами рентгеноскопии и ультразвуковой дефектоскопии сварная конструкция разрезалась на плоские образцы сече-

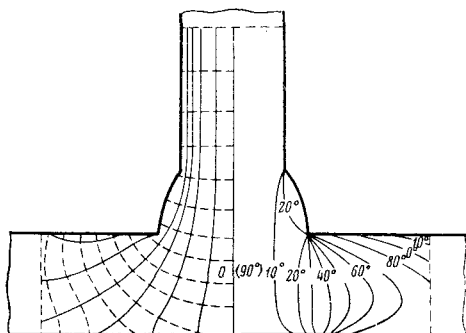


Рис. 3. Поле изоклин и траектории главных напряжений

ниями, перпендикулярными к оси шва. Каждый полученный образец еще раз контролировался мягкими рентгеновскими лучами в направлении, перпендикулярном боковой поверхности, и подвергался макроисследованию с обеих сторон. Часть образцов, выдержавших такой тщательный контроль, была нормализована при температуре 860° и выдержке 40 мин. После окончательной механической обработки образцы для каждой схемы нагружения обрезались до размеров, учитывающих соотношение между скоростью распространения волны в металле и модели. Затем образцы доводились до разрушения

при температуре жидкого азота ударным нагружением. Картина разрушения образцов нормализованных и в исходном состоянии для обеих схем нагружения представлена на рис. 1. Здесь же для сопоставления приведены отдельные кадры из кинограмм полос интерференции для обеих схем нагружения, иллюстрирующие начальную стадию разрушения. Наглядно видно, что на модели трещины зарождаются симметрично в местах перехода от шва к горизонтальной пластине при нагружении со стороны вертикальной пластины, а на реальных соединениях может иметь место разрушение с одной стороны в результате некоторой неравномерности распределения наплавленного металла, а следовательно, различной геометрии шва слева и справа от оси симметрии. При нагружении реальных соединений со стороны горизонтальной пластины характер разрушения аналогичен разрушению модели. Следует заметить, что разрушение как в первом, так и во втором случае наблюдается при воздействии отраженной волны; при воздействии падающей волны, несмотря на значительную концентрацию напряжений, разрушения не наблюдается, поскольку сингулярные точки попадают в зону сжимающих напряжений. Наличие остаточных напряжений и структурной неоднородности по сечению шва не оказывают заметного влияния на характер разрушения металлических образцов, т. е. траектория развития трещины определяется напряженным состоянием.

Институт проблем машиностроения
Академии наук СССР
Харьков

Поступило
9 IX 1975

Государственный трест «Сибметаллургмонтаж»

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Подгорный, И. С. Гузь, С. Д. Ишков, ДАН, т. 217, № 1 (1974).
- ² И. С. Гузь, С. Д. Ишков, А. Н. Подгорный, Журн. прикл. мех. и техн. физ., № 4 (1974).
- ³ А. Н. Подгорный, И. С. Гузь, С. Д. Ишков, Проблемы прочности, № 7 (1974).
- ⁴ М. М. Фрохт, Фотоупругость, т. 1, 2, М., Госиздат, 1950.