

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Принципиально новые возможности применения фотоупругости для решения задач механики разрушения открывает метод рассеянного света. В работе /1/ рассмотрены соотношения, связывающие оптические параметры, получаемые методом рассеянного света, со значениями КИН K_I , K_{II} и K_{III} для заданного направления просвечивания и указаны оптимальные направления просвечивания в зависимости от характера напряженного состояния в зоне трещины. Показано, что метод эффективен при определении K_{II} и K_{III} . Определение K_I возможно только при отсутствии нагрузок, вызывающих продольный сдвиг поверхностей трещины, в противном случае небольшие погрешности в определении K_{III} могут привести к существенным ошибкам при вычислении K_I .

Метод рассеянного света имеет существенные преимущества перед другими подходами к определению K_{III} . При исследованиях на объемных "замораживаемых" моделях в случае комбинированного нагружения наиболее эффективным является определение K_I и K_{II} по данным прямого просвечивания среза, плоскость которого расположена нормально к линии фронта трещины, и определение K_{III} по результатам измерений в том же срезе методом рассеянного света.

В случае выхода трещины на границу раздела разнородных материалов, строго говоря, требуется специальный подход к определению КИН, так как порядок сингулярности напряжений, а также асимптотические представления о характере напряженного состояния будут зависеть от соотношений между величинами упругих постоянных материалов. С учетом погрешностей экспериментальных данных, применимость общей методики и к случаю расположения вершины трещины в непосредственной близости от границы раздела материалов всегда требует специального обоснования.

Ниже приведены результаты использования методики для определения K_I при относительно небольших, но практически важных случаях соотношения модулей упругости E_1 и E_2 . Исследование проводилось на плоских оптических моделях биметаллических пластин, растягиваемых в одном направлении, с краевыми трещинами, расположенными перпендикулярно линии раздела материалов; отношение модулей упругости материалов $k = E_1/E_2 = 1,5$. Рассматривались случаи распространения трещин из более жесткого материала ($k = 1,5$) и наоборот ($k = 0,66$). Поле напряжений, точнее, порядок сингулярности в окрестности вершины, расположенной на границе стыка разнородных материалов, было исследовано Заком и Вильямсом /12/.

Используя приведенное в работе /2/ характеристическое уравнение, можно получить, что при $k = 1,5$ величина $\lambda' = 0,5405$ для плоской деформации и $\lambda'' = 0,5435$ для плоского напряженного состояния; при $k = 0,66$, $\lambda' = 0,4495$ и $\lambda'' = 0,4470$. Соответственно, разница в значениях функции $r^{-\lambda}$ от функции r^{λ} составляет 10% при $r/l = 0,1$ и уменьшается до 3% при $r/l = 0,6$ ($0,1 \leq r/l \leq 0,6$) — область исходной информации для рас-

чета КИН). Следовательно, характер распределения напряжений в зоне вершины трещины будет также мало отличаться от случая ее расположения в однородном материале. Разница между ними лежит в пределах методических погрешностей определения K_1 на основе обработки данных оптических измерений.

На рис. 1 представлена картина полос в зоне вершины трещины в модели, соответствующей величинам $k = 1,5$; $l/h = 0,88$, а также изображение этой картины, восстановленное на ЭВМ. На рис. 2 приведены значения безразмерных величин $K_1/\sqrt{h}$ от параметра l/h , найденные на основе проведенных экспериментальных исследований (точки). Здесь также приведены кривые, найденные с использованием расчетов, выполненных на основе аналитического решения задачи [3].

Хорошее (в пределах 8%) соответствие экспериментальных и теоретических результатов позволяет сделать вывод о их достоверности. Эти результаты показывают, что разработанные методика и программа применимы также и в ряде случаев, когда вершины трещины находятся вблизи от границы и на границе раздела разнородных материалов. Представляло бы интерес в дальнейшем уточнить диапазон изменения параметра k , а также геометрические особенности областей, при которых правомерно применение указанного метода.

Для получения величин КИН по данным оптических измерений при решении термоупругих задач линейной механики разрушения с применением метода механического моделирования можно воспользоваться методиками, разработанными для решения пространственных статических силовых задач. Однако при практической реализации метода возникает ряд специфических вопросов, главным из которых является способ создания трещин в моделях, состоящих из предварительно "замороженных" элементов.

С применением метода механического моделирования были проведены исследования распределения КИН K_1 вдоль фронта краевых полуэллиптических трещин в биметаллических пластинах, возникающих при равномерном нагреве и обусловленных различными коэффициентами теплового расширения материалов α_1 и α_2 ($E_1 = E_2$). Были рассмотрены различные случаи отношения глубины трещины к суммарной толщине пластины. В качестве примера на рис. 3 приведена эпюра распределения K_1 вдоль границы эллиптических трещин ($l/H = 2,25$) на внутренней поверхности цилиндрического корпуса энергетической усталости, возникающих при его нагреве до рабочей температуры 220° и действия внутреннего давления $p = 2,0 \text{ МПа}$ (1 - K_1 от действия внутреннего давления и температуры, 2 - K_1 от действия температуры). Так как корпус представляет собой тонкостенную оболочку, при определении КИН, обусловленных действием внутреннего давления, можно воспользоваться формулами для пластин, нагруженных в соответствии с мембранными напряжениями в оболочке.

Применение метода фотоупругих покрытий позволяет проводить непосредственные измерения полей деформаций в зонах трещин в натурных элементах конструкций энергетического оборудования. Одним из важнейших напряжений применения фотоупругих покрытий для определения параметров трещиностойкости элементов корпусов является определение КИН в трещинах в биметал-

лических материалах, обечаяек от действия остаточных напряжений. Эти напряжения возникают в процессе наплавления на поверхность основного материала обечайки антикоррозионного покрытия из нержавеющей аустенитной стали.

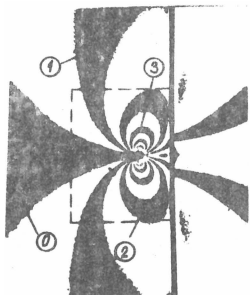
Ниже представлены результаты экспериментального исследования КИН в вершинах краевых трещин в зависимости от их длины в процессе распространения трещины от внутренней поверхности через плакирующий слой в основной материал корпуса.

Для определения величин коэффициентов интенсивности напряжений из натурной обечайки вырезались плоские образцы, на поверхности которых клеивалось фотоупругое покрытие толщиной 2 мм. Краевая трещина в образце с покрытием создавалась следующим образом: сначала пилочкой толщиной $0,15 \pm 0,2$ мм выполнялся прорез в оптически чувствительном покрытии, затем - в металле электроэрозионным методом. Ширина прореза в металле - $0,1 \pm 0,15$ мм.

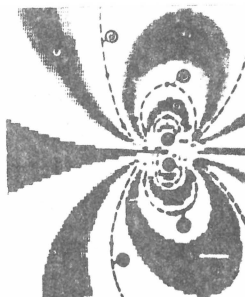
Возникающие вследствие снятия остаточных напряжений по берегам трещины - прорезы картины полос в покрытии в области вершины трещины фотографировались в отраженном свете. Величины коэффициентов интенсивности напряжений определялись с применением изложенной выше методики. На рис. 4 приведена фотография картины полос в зоне вершины трещины, полученная с использованием отражательного полярископа фирмы "Фотоластик", а также изображение указанной картины полос, восстановленное на ЭВМ. В случаях, когда оптический эффект в зоне вершины трещины был невелик (m менее 2-х полос) проводились измерения по точкам методом компенсации.

Полученная с применением указанной методики зависимость величины K_I от длины краевой трещины для одного из рассмотренных вариантов биметаллического материала корпуса приведена на рис. 5. Отметим, что наличие двух максимумов в эюре $K_I(x)$, по-видимому, объясняется тем, что антикоррозионное покрытие наплавлялось в два слоя.

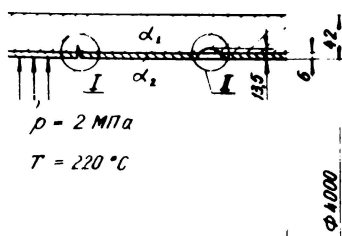
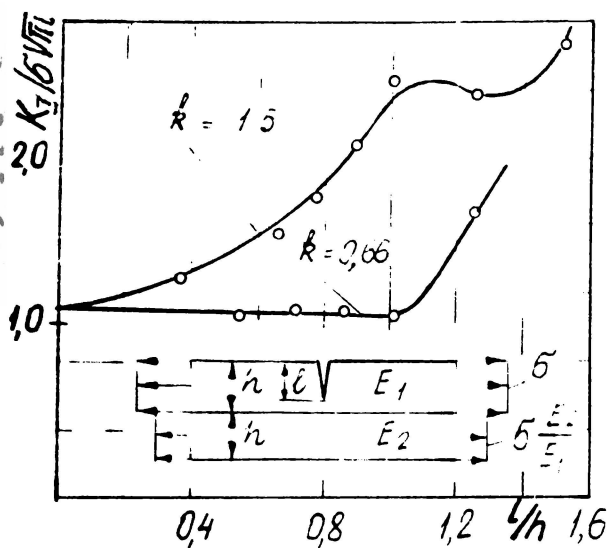
Литература: /1/ Разумовский И.А., Салин А.Н. Машиноведение, № 1, 1989, С.Ш-118. /2/ Zak A.R., Williams M.L. Trans. ASME, ser.E, J.Appl.Mech., v.30,N1, 1963, p.p.142-146. /3/ Образцов И.Ф., + кол. Доклады АН СССР, том 308, № 3, 1989, С. 570+574.



Фиг.1:

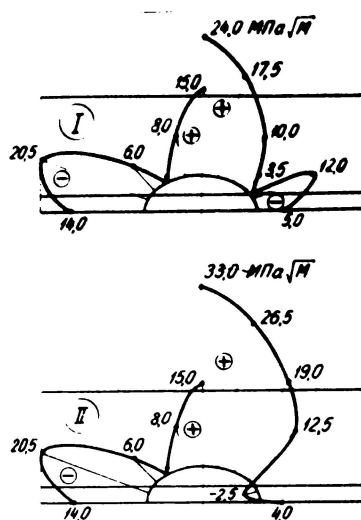


Фиг.2:

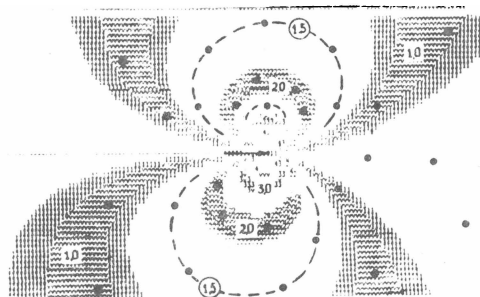
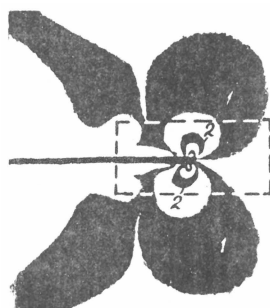


$$\alpha_1 = 17.2 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$$

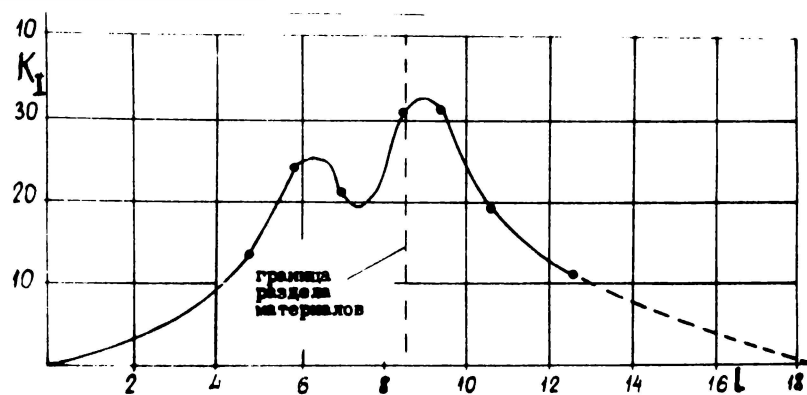
$$\alpha_2 = 12.8 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$$



Фиг.3:



Фиг.4:



Фиг.5: