

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Ольги Александровны Строгоновой «Методы оценки статической трещиностойкости конструкций морской техники», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.01 – «Теория корабля и строительная механика»

Объем и структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 53 наименования, и 3 приложений. Содержание работы изложено на 104 страницах, включая 34 рисунка и 11 таблиц.

Актуальность работы

Трещиноподобные дефекты технологического происхождения и трещины усталости создают угрозу нестабильного разрушения конструкций в разных отраслях техники. Современные правила проектирования конструкций на заданный ресурс и правила оценки остаточного ресурса включают расчет критического состояния, при котором становится возможным быстрое, нестабильное, разрушение, на основе методов и критерия линейной механики разрушения. Между тем, развитие пластической деформации у носка трещины в упругопластическом материале конструкции создает ограничения для расчета обобщенного параметра поля напряжений у трещины, коэффициента интенсивности напряжений, а для пластичных материалов не всегда оказывается возможным экспериментальное определение трещиностойкости.

Около 50 лет назад стали складываться экспериментальные и теоретические методы оценки трещиностойкости конструкций из упругопластических материалов, развиваться нелинейная механика разрушения. Несмотря на существенный прогресс в этой области, нельзя признать, что современное состояние методов оценки надежности конструкций, содержащих дефекты и трещины, полностью отвечает практическим требованиям.

Поэтому развитие методов расчетно-экспериментальной оценки условий страгивания, устойчивого подраста трещин и нестабильного разрушения при упругопластическом деформировании материала конструкций, составившие задачу и содержание диссертации О.А.Строгоновой, исключительно важно как для развития нелинейной механики разрушения, так и для решения практических задач.

Основные научные результаты диссертации О.А.Строгоновой:

развитие расчетно-экспериментального метода определения критерия статической трещиностойкости упругопластических материалов, J_R – кривых, уточнение условий статического подраста трещин на ранних стадиях, экспериментальное определение критериев (J_R – кривых) для ряда конструкционных сталей, которые применяются в морской технике, обобщение обширных литературных и справочных данных о коэффициентах интенсивности напряжений для цилиндрических оболочек с трещинами, поверхностными, подповерхностными и сквозными, ориентированными вдоль и поперек образующей. Материалы диссертации дают возможность оценивать прочность и остаточный ресурс оболочковых конструкций из высоко- и малопластичных материалов, содержащих трещины или трещиноподобные дефекты.

Достоверность результатов исследования

Достоверность результатов работы обеспечивается использованием основных положений механики деформируемого твердого тела, линейной и нелинейной механики раз-

рушения, проведением экспериментальных исследований в соответствии с современными требованиями и надлежащей обработкой опытных данных, сопоставлением результатов исследований и обширных литературных данных.

Практическая значимость работы определяется развитием методических приемов и опытной базы данных, необходимых для оценки надежности оболочковых конструкций с начальными (технологическими) дефектами и трещинами усталости в морской технике и в других отраслях техники.

Содержание и оформление работы

В первой главе рассматриваются возможности расчета прочности цилиндрических оболочек с трещинами на внутренней и внешней поверхностях, подповерхностными трещинами, ориентированными вдоль образующей и в поперечном сечении. Используются, проанализированы и обобщены литературные данные. Сформирована в результате вполне цельная методология расчета прочности (трещиностойкости) оболочек с трещиноподобными дефектами и трещинами, основанная на предположении упругой деформации материала и применении аппарата и критерия разрушения Линейной механики разрушения.

Ведущей характеристикой локальной напряженности материала перед фронтом трещины (и трещиноподобного дефекта, уподобленного полуэллиптической или эллиптической – подповерхностной – трещине) принимается значение коэффициента интенсивности напряжений на участке фронта трещины, обращенном к противоположной поверхности оболочки или наименьшему лигаменту – при подповерхностной трещине. Условие неустойчивого разрушения оболочки определяется равенством $K_I = K_{Ic}$,

В Приложениях приведены аналитические зависимости и графики для расчета коэффициентов интенсивности напряжений при разных пропорциях и расположении трещин в цилиндрических оболочках.

Предполагается, что при увеличении коэффициента интенсивности напряжений на выбранном участке фронта до критического значения (трещиностойкости) поверхностная трещина становится сквозной, с фронтом, перпендикулярным срединной поверхности оболочки. Аналогично, предполагается эволюция подповерхностной трещины в поверхностную. Эти предположения обосновываются тем, что при размере лигамента $0.2 t$ (t – толщина оболочки) страгивание, например, полуэллиптической поверхностной трещины по условию $K_I(b/t = 0.8) = K_{Ic}$, K_{Ic} – трещиностойкость, завершается трансформацией в сквозную трещину в оболочке (с.15).

В заключительном разделе показывается применение информации для оценки допустимого размера дефектов в оболочке по критерию $K_I = K_{Ic}$.

Возможно, в сценарии разрушения оболочки предполагаемая трансформация поверхностной трещины в сквозную может быть малозначимым компонентом, но было бы целесообразно показать это в расчетном или физическом эксперименте. Общее для характеристики трещин в оболочках и пластинах ограничение возможности расчета коэффициентов интенсивности напряжений до углубления трещины $b/t \leq 0.8$ вызвано тем, что в поле напряжений перед фронтом трещины исчезает особенность $1/\sqrt{r}$, и исключается возможность расчета K_I . Следовательно, имеется «методологический» разрыв в определении условий разрушения.

Кроме того, надо заметить, что в ряде материалов дается оценка коэффициентов интенсивности напряжений при $b/t = 0$, т.е. когда трещины нет. D.Socie (1976), а затем K.Miller (1993) обратили внимание на то, что для формирования особенности $1/\sqrt{r}$ в поле напряжений нужен некоторый физический размер (углубление) трещины в поликристаллической структуре материала, пусть даже малый в сравнении с толщиной оболочки. По-

этому следовало бы указать, каким может быть начальное углубление трещины для возможности расчетов коэффициентов интенсивности напряжений.

В тексте встретились некоторые огрехи. Так, на стр.10 коэффициент интенсивности K_{Ic} назван критическим и – допускаемым (!). Но допускаемым можно считать (и так принято в п.1.4 главы) значение $K_I = k \cdot K_{Ic}$, где k - коэффициент запаса (принято, что $k = 0.7$). На стр.12, где приводятся данные для расчета K_I перед фронтом осевой трещины на внутренней поверхности оболочки, полученные методом конечных элементов (МКЭ), дается ссылка на работу Рэмберга и Осгуда (1943), предложивших аппроксимацию диаграммы растяжения.

Вторая глава, в соответствии с основной задачей работы, содержит характеристику и развитие метода построения критерия разрушения объекта с трещиной в условиях пластической деформации материала, « J_R – кривой». Согласно принятой методологии, в зависимости от глубины трещины в конструкции и нагрузки определяются значения J – интеграла (интеграла Райса), и сравнение этой зависимости (или серии зависимостей) с критерием, « J_R – кривой», позволяет судить о возможности подрастания трещины и пластического («вязкого») разрушения.

Основой метода служит экспериментально определяемая зависимость «нагрузка – перемещение» образца с односторонним надрезом (и начальной трещиной усталости) при «трехточечном» изгибе. Обоснованно предпочтение отдается испытаниям образца с многократными разгрузками в ходе подрастания трещины, которые дают нужную информацию для построения зависимостей «приращение нагрузки-приращение глубины трещины». Опытные данные получены автором работы при испытаниях образцов ряда сталей, от высокопластичной стали повышенной прочности (F690W) до высокопрочной малопластичной (стали А).

Для интерпретации опытных данных в диссертации развиваются принцип разделения и нормализации нагрузки, предложенный ранее Landes et al, а также идея определения градиента нагрузки для установления зависимости приращения глубины трещины от градиента нагрузки, высказанная Reese and Schwalbe. На такой основе разработана методика и соответствующий пакет программ обработки данных испытаний образцов для построения J_R – кривых.

Следует заметить, что в основе определения J – интеграла принято предположение о маломасштабной пластической деформации и использована деформационная теория пластичности. При оценке условий страгивания трещины при монотонном нагружении в конструкции из малопластичного материала эти особенности методологии вполне приемлемы, но при анализе трещиностойкости конструкций, изготовленных из высокопластичных материалов, целесообразно комментировать применимость допущений.

В третьей главе продемонстрировано применение J_R – кривых для оценки условий статического подраста трещины и нестабильного разрушения нагруженной внутренним давлением цилиндрической оболочки с начальной протяженной трещиной на внутренней поверхности, ориентированной вдоль образующей. Выполнен расчет значений J – интеграла при подрасте трещины при разных давлениях внутри оболочки и сопоставительный анализ условий разрушения. Последние рассмотрены для стали двух классов - высокопластичной (F690W) и высокопрочной малопластичной (стали А).

Показано, что условие разрушения оболочки из высокопрочной стали и критическое углубление трещины можно оценивать по критерию линейной механики разрушения, $K_I = K_{Ic}$. Для оболочки из пластичной стали развитые в работе приемы нелинейной механики разрушения позволяют оценивать условия докритического подраста трещины и не-

стабильного роста. Оценка последнего по критерию линейной механики дает существенно более низкое значение давления, чем по J_R – кривой.

Для поддержки практических оценок статической трещиностойкости оболочковых элементов конструкций, выполненных из сталей с различными механическими свойствами, разработана специальная программа.

Надо заметить, что при расчетах коэффициентов интенсивности напряжений – у трещин и дефектов в оболочке из высокопрочной стали следовало бы оценить целесообразность учета пластической деформации у кончика трещины определением эффективной глубины трещины с поправкой по Ирвину.

Содержание работы соответствует специальности 05.08.01 – Теория корабля и строительная механика. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК и представляет собой законченное научное исследование.

Автореферат диссертации отражает содержание диссертации, формулировки основных результатов и выводов отвечают приведенным в диссертации.

Замечания, приведенные выше в комментариях к характеристике глав работы (и возможно, другие), не снижают научной и практической ценности диссертационной работы О.А.Строгоновой. Считаю работу законченным исследованием, вносящим важный вклад в развитие методологии оценок трещиностойкости конструкций.

По материалам диссертации имеется 10 публикаций, из них 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, результаты работы также представлены на 4 научных конференциях.

Содержание, научная и практическая значимость работы, по моему мнению, дают основание считать, что рецензируемая диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 № 842. Ее автор, Строгонова Ольга Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.01 – Теория корабля и строительная механика.

Официальный оппонент

Д.т.н., профессор
кафедры Сопротивления материалов ИСИ
ФГАОУ ВО СПб Политехнического университета
Петра Великого

Петин Сергей Владимирович

Телефон: (812) 552-6303, kafedra@ksm.spbstu.ru
Адрес: 195251. С.Петербург, Политехническая ул.29

