

И.А. Цурпал, Н.Г. Чаусов проф. доктора техн. наук

Национальный аграрный университет, Киев

В.Н. Юрков, канд. техн. наук

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев

Расчет оболочек, содержащих два пересекающихся разреза-трещины

В работе приведен численный анализ напряженно-деформированного состояния геометрически нелинейной двоякой кривизны пологой оболочки, содержащей два пересекающихся посередине под прямым углом разреза-трещины. Длины разрезов-трещин относительно точки их пересечения могут быть различными. Построены графики, иллюстрирующие зависимость КИН от длин разрезов-трещин.

Механическое поведение оболочки с двумя пересекающимися разрезами-трещинами описывается геометрически нелинейной теорией, учитывающей поперечный сдвиг (модель Тимошенко). Реализация этой теории осуществляется МКЭ в варианте перемещений [1].

оболочка с разрезами-трещинами, процедура, подходы, графики, расчет КИН, погрешность

Рассматривается слабо нелинейная квадратная в плане полукруговая двоякой кривизны шарнирно опертая пологая оболочка, содержащая в центре сквозные прямолинейные в плане два разреза-трещины, пересекающиеся посередине под прямым углом, имеющие длины $2l$ и $2L$. Декартова прямоугольная система координат расположена так, чтобы начало находилось в точке пересечения, оси X и Y совпадали с линиями разрезов-трещин, а вертикальная ось Z направлена по нормали к поверхности. На поверхность оболочки с разрезами-трещинами действует статическая равномерно распределенная нагрузка интенсивностью q .

Для этой оболочки с разрезами-трещинами необходимо определить напряженно-деформированное состояние у вершины разрезов-трещин. Амплитуда определяемых локальных полей у вершин разрезов-трещин контролируется коэффициентами интенсивности напряжений. В нашем случае, когда имеет место симметричное распределение напряжений у вершин разрезов-трещин, требуется определить КИН при нормальном отрыве, т.е. коэффициент K_I . Для его определения используем процедуру, изложенную в [1]. Эта процедура реализуется при помощи двух подходов [2–4]: вариационный нелинейно-энергетический подход конечных разностей (ВНЕПКР) и вариационный нелинейно-энергетический подход вариации трещин (ВНЭПВТ). Приведем формулы, описывающие эту процедуру

$$V = \frac{1}{2} \iint_S q r ds, \quad G = V_L, \quad K_I^2 = GE, \quad (1)$$

где V — потенциальная энергия геометрически нелинейной оболочки с разрезами-трещинами, вычисляемая согласно формулы, вытекающей из теоремы Клапейрона-Новожилова, а для линейной теории — из теоремы Клапейрона;

r — вектор смещений точек срединной поверхности оболочки с разрезами-трещинами;

S — поверхность, занятая внешней нагрузкой;

G — интенсивность освобождающейся энергии при увеличении длины разреза-трещины;

E — модуль упругости материала; нижний индекс обозначает производную по длине разреза.

Различие между ВНЕПКР и ВНЭПВТ заключается в том, что в первом подходе аналитический оператор дифференцирования аппроксимируется конечно-разностным

оператором, в связи с этим расчет необходимо производить как минимум для двух длин разрезов, а второй подход позволяет заменить процедуру аппроксимации способом виртуального роста трещины и сразу получить интенсивность потенциальной энергии для данной длины разреза. Поэтому ВНЭПВТ точнее и экономичнее, чем ВНЭПКР. В связи с этим, ВНЭПКР будет применяться для грубой сетки, а ВНЭПВТ — для густой.

Для численного исследования коэффициента K_I , рассматриваемой задачи, применим следующий прием: построим графики зависимости K_I от длины разреза-трещины при фиксированной длине одного из разрезов, в это время другой разрез может свободно расти, т.к. рассматривается симметричная задача, то на величину коэффициента K_I не влияет какой именно разрез зафиксирован; при изображении в виде графиков зависимости коэффициента K_I от $(l+L)/a$, одновременного движения двух разрезов-трещин, используем симметричность задачи, т.е. будем считать, что оба разреза прорастают одновременно на одну и ту же величину.

Физико-геометрические характеристики оболочки следующие: $h=0,01$ м, длина пролетов $a=0,4$ м, $\nu=0,3$.

Остановимся на задании внешних граничных условий оболочки и граничных условиях на поверхности разрезов-трещин. Шарнирное опирание внешнего контура оболочки задается следующим образом

$$u=0, \quad v=0, \quad w=0, \quad M=0, \quad N=0, \quad (2)$$

где u , v и w — перемещения в направлении осей X , Y и Z узлов сетки, дискретизирующей поверхность оболочки с разрезами-трещинами, расположенных на внешнем контуре;

M и N — изгибающие и крутящие моменты в узлах; т.е. задаются смешанные граничные условия.

На поверхности разрезов-трещин задаются условия

$$N=0, \quad T=0, \quad Q=0, \quad M=0, \quad H=0, \quad (3)$$

где N , T и Q — продольное, сдвигающее и поперечная силы, т.е. задаются однородные силовые условия.

А также необходимо задать условия на "бесконечности", выполняющиеся в области вершины разрезов-трещин

$$u/\frac{\rho}{\rho \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad v/\frac{\rho}{\rho \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad w/\frac{\rho}{\rho \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad \varphi/\frac{\rho}{\rho \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad \psi/\frac{\rho}{\rho \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad (4)$$

где φ и ψ — углы поворотов нормали, проведенной к срединной поверхности оболочки;

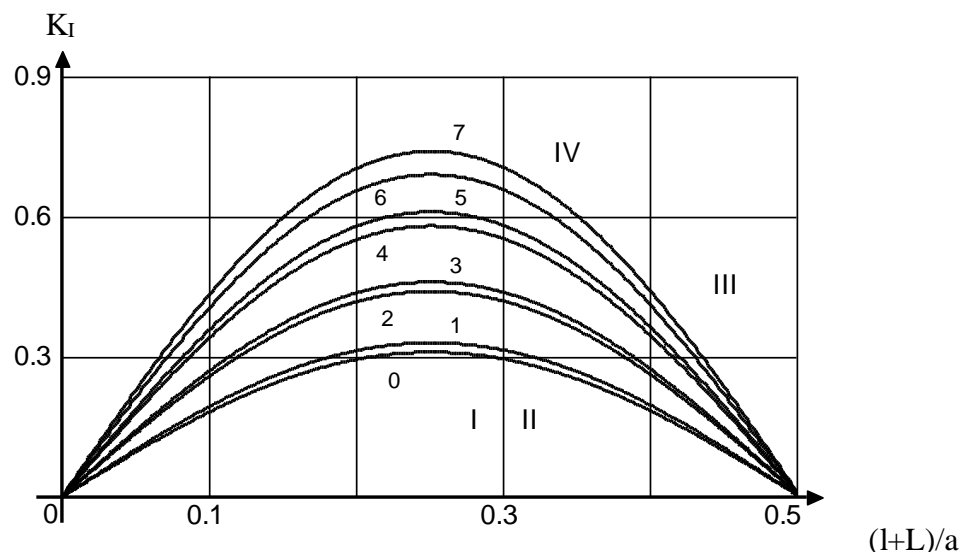
ρ — расстояние от вершины разрезов-трещин до внешних границ оболочки.

Таким образом, при определении потенциальной энергии оболочки с разрезами-трещинами выполняются граничные условия на внешнем контуре оболочки и на внутреннем контуре, т.е. на поверхности разрезов [4]. При вычислении интенсивности G выполняются условия на "бесконечности".

Процесс численного расчета рассматриваемой оболочки с разрезами-трещинами заключается в следующем: для всех ситуаций развития разрезов-трещин ось симметрии оболочки разбивалась на 13 и 25 узлов, причем при разбивке оси оболочки на 13 узлов коэффициент K_I подсчитывался согласно ВНЭПКР, при разбивке ее на 25 узлов — использовался ВНЭПВТ. Относительная погрешность между соответствующими графиками, полученными при разбивке оси симметрии на 13 и 25 узлов, для всех случаев развития разрезов-трещин, не превышает 5 %.

Графики, построенные по вышеописанному процессу, приведены на рис.

Из анализа графиков, приведенных на рис.1, можно сделать следующие выводы, что наличие двух разрезов-трещин в оболочке приводит к большей интенсивности напряжений, чем при одном; при одновременном движении разрезов-трещин приводит к большей интенсивности, по сравнению с фиксированным одним разрезом и движущимся вторым; геометрическая нелинейность оказывает существенное влияние на величину коэффициента K_I .



I — для одного разреза-трещины; II — когда длина одного разреза фиксирована; III — одновременное движение разрезов; IV — геометрически нелинейная теория для одновременного движения разрезов.

Рисунок 1 – Графики, иллюстрирующие зависимость коэффициента K_I от полудлин разрезов-трещин

Таким образом, приведен численный анализ, представленный в виде графиков, иллюстрирующих напряженное состояние оболочки, ослабленной двумя пересекающимися разрезами-трещинами. Этот анализ, реализованный при помощи ВНЭПКР и ВНЭПВТ, показал эффективность численных подходов в решении сложных задач механики трещин в оболочках.

Список литературы

1. Юрков В.Н. Энергетический подход к решению задач неклассической теории неоднородных анизотропных оболочек, содержащих трещины-разрезы. // Приклад. механика и техн. физика. – 1992 – №3. – С. 108–112.
2. Цурпал И.А., Юрков В.Н. Численное решение задач адгезионного разрушения оболочек, содержащих трещины-разрезы. // Науковий вісник Національного аграрного університету – 2003 – №60. – С. 334–339.
3. Цурпал И.А., Чаусов Н.Г., Юрков В.Н. Податливость в задачах расчета классических параметров механики трещин в оболочках. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Науково-технічний збірник. Випуск 33. Кіровоград КДТУ, –2003.– С.74–80.
4. Цурпал И.А., Юрков В.Н. Исследование погрешностей комплексных подходов к расчету оболочек с разрезами-трещинами. // Науковий вісник Національного аграрного університету – 2005 – №80, Ч2. – С. 333–337.4

У роботі приведений чисельний аналіз напружено-деформованого стану геометрично нелінійної двоякої кривизни положистої оболонки, що містить два пересічних посередині під прямим кутом розрізу-тріщини. Довжини розрізів-тріщин відносно крапки їхнього перетинання можуть бути різними. Побудовані графіки, що ілюструють залежність K_{IN} від довжин розрізів-тріщин.

Механічне поведіння оболонки з двома пересічними розрізами-тріщинами описується геометрично нелінійною теорією, що враховує поперечне зрушення (модель Тимошенко). Реалізація цієї теорії здійснюється МКЕ у варіанті переміщень [1].

In work the numerical analysis of the tensely-deformed state is resulted geometrically nonlinear dual curvature of declivous shell containing two intersecting in the middle at right angles cut-crack. Lengths of cuts-cracks in relation to an intersection their can be different. The graphs illustrating dependence of K_{YN} on lengths of cuts-cracks are built.

The mechanical conduct of shell with two intersecting cuts-cracks is described geometrically by a nonlinear theory taking into account a transversal change (model of Timoshenko). Realization of this theory is carried out in the variant of moving [1].

Получено 7.09.05