В.Г. Савченко, М.Е. Бабешко

УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЕ ОСЕСИММЕТРИЧНОЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СЛОИСТЫХ ОБОЛОЧЕК ПРИ ТЕРМОСИЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ И РАДИАЦИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Введение. Известно, что под действием радиационного облучения в твердых телах происходят физические процессы, вызывающие существенное изменение механических свойств материалов. Для описания процессов термоупругопластического деформирования изотропных материалов с учетом изменения их механических характеристик при радиационном облучении известны определяющие уравнения, позволяющие исследовать процессы, характеризующиеся траекториями деформирования в виде прямых [1] и линий малой кривизны [2]. Изложим методику численного исследования упругопластического напряженно-деформированного состояния (НДС) слоистых оболочек вращения при осесимметричном нагружении с учетом его истории и влияния радиационного облучения.

Постановка задачи. Рассматривается слоистая оболочка вращения, изготовленная из изотропных материалов, первоначально находящаяся в ненапряженном и необлученном состоянии при начальной температуре $T = T_0$, а затем подвергнутая действию осесимметричных силовых нагрузок, неравномерного нагрева и радиационного облучения. Предполагается, что слои оболочки деформируются без проскальзывания и отрыва; оболочка не теряет устойчивости. В процессе нагружения и облучения в материалах оболочки наряду с упругими деформациями могут возникать зоны пластических деформаций, в которых может происходить разгрузка; уровни нагрузок и время их действия таковы, что деформации ползучести не возникают. Оболочка отнесена к криволинейной ортогональной системе координат s, θ, ς, где s - меридиональная координата непрерывной координатной поверхности, $s_a \le s \le s_b$, s_a, s_b - координаты, соответствующие торцам оболочки; $\theta (0 \le \theta \le 2\pi)$ - окружная координата, а ς ($\varsigma_0 \le \varsigma \le \varsigma_k$) - координата, отсчитываемая по нормали к координатной поверхности, ς_0 - соответствует внутренней поверхности первого (внутреннего) слоя оболочки, а ς_k - наружной поверхности последнего (внешнего) слоя; k - количество слоев, толщины которых $h_i = \varsigma_i - \varsigma_{i-1}, i = 1,2,...,k$. Задача решается в геометрически линейной квазистатической постановке в пределах малых деформаций с использованием гипотез Кирхгофа-Лява для пакета слоев. Для описания деформирования элементов оболочки используются соотношения теории терморадиационной пластичности при простом нагружении с учетом истории, линеаризированные методом переменных параметров упругости.

Метод решения. Для решения задачи процесс нагружения разбивается на ряд малых этапов таким образом, чтобы моменты времени, разграничивающие этапы, хорошо согласовались с моментами перехода от активного нагружения к разгрузке. Используя соотношения пластичности, уравнения равновесия и геометрические соотношения, задачу определения упругопластического НДС оболочки сводим к решению краевой задачи для системы уравнений

$$\frac{d\vec{Y}}{ds} = P(s)\vec{Y} + \vec{f}(s),\ B_1\vec{Y}(s_a) = \vec{b}_1,\ B_2\vec{Y}(s_b) = \vec{b}_2, \tag{1}$$

которую необходимо решить в каждом приближении на каждом этапе нагружения. В (1) $\vec{Y}$ - вектор-столбец разрешающих функций, $P(s)$ – матрица системы, $\vec{f}(s)$ - вектор-столбец дополнительных слагаемых, B_1, B_2 – заданные матрицы, $\vec{b}_1, \vec{b}_2$ - заданные векторы-столбцы граничных условий. Компоненты матрицы $P(s)$ и вектора $\vec{f}(s)$ вычисляются в каждом приближении по результатам решения задачи в предыдущем приближении. Выражения для компонент матрицы $P(s)$ и вектора $\vec{f}(s)$ приведены в статьях [1,3].

Численные результаты. В качестве примера исследуем упругопластическое НДС сплошной круглой двухслойной пластины радиуса $R=50$ см с постоянной толщиной слоев $h_1=h_2=1{,}25$см, за координатную поверхность которой выбрана срединная поверхность. Пластина, жестко защемленная по контуру, подвергается действию нормальной к срединной поверхности распределенной нагрузки $q_\varsigma = 0{,}7$ МПа и радиационного облучения за счет падающего на поверхность $\zeta=-h/2$ потока нейтронов, при $T=T_0=0^0$С. Первый слой пластины ($-h/2 \le \varsigma \le 0$) изготовлен из графита, а второй – из стали 347. Распределение дозы радиации по толщине пластины задано законом $N = Ate^{-\mu\left(\varsigma + h/2\right)}$, где $A=20\cdot10^{18}$ нейтрон/см^2·с, $0 \le t \le 1$ с, $\mu=1,2$ см$^{-1}$в первом и $\mu=0,55$ см$^{-1}$ во втором слое. Процесс нагружения был разбит на 5 этапов. На рис.1 приведены распределения вдоль координаты *s* меридиональных σ_{ss}, а на рис. 2 - окружных $\sigma_{\theta\theta}$ напряжений.

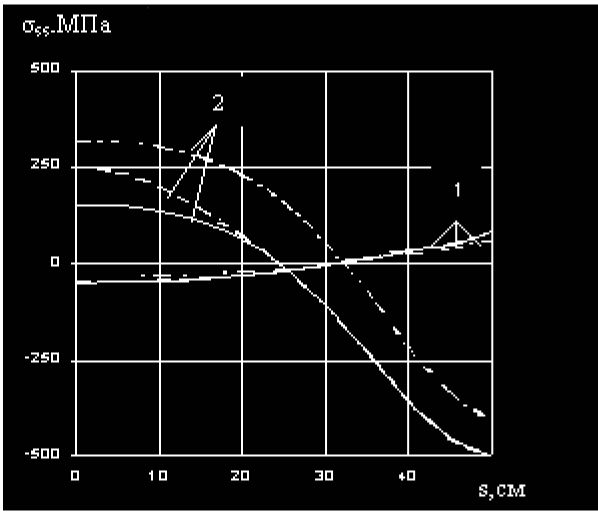

Рисунок 1

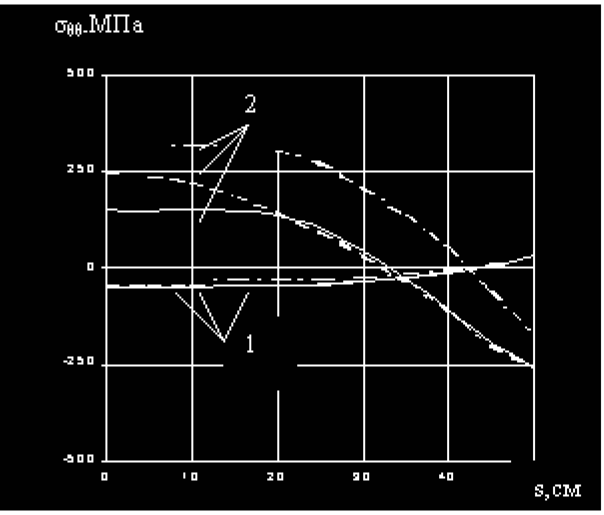

Рисунок 2

Кривые 1 и 2 соответствуют значениям напряжений при $\varsigma = -h/2$ и $\varsigma = h/2$. Результатам расчета с учетом радиационного облучения и истории нагружения соответствуют сплошные линии. Штрихпунктирные линии соответствуют расчету без учета радиационного облучения, а штриховые – расчету без учета истории нагружения. Из этих рисунков видно, что радиационное облучение существенно повлияло на распределение напряжений. В расчете без учета истории нагружения максимальные значения напряжений в окрестности центра пластины оказались почти на 50% выше, чем в расчете с учетом истории нагружения.

Выводы. Таким образом, выполненное исследование показывает существенное значение учета влияния радиационного облучения и истории нагружения в данной задаче.

ЛИТЕРАТУРА

1. 1. Savchenko V.G., Babeshko M.E. The Elastoplastic Axisymmetric Stress - Strain State of Flexible Laminated Shells Exposed to

 ISSN 1562-9945

Radiation // Int. Appl. Mech. – 2000. – Vol.36, No 9. - P.1218-1224.

2. Savchenko V.G., Shevchenko Yu.N. Spatial Thermoviskoplastic Problems// Int. Appl. Mech. – 2000. – Vol.36, No 11. - P.1399-1433.
3. Бабешко М.Е., Савченко В.Г. Исследование упругопластического осесимметричного напряженно-деформированного состояния слоистых оболочек при радиационном облучении с учетом истории нагружения//Прикл механика. – 2001. – 37, No 11. – С.75 – 80.

Получено 27.02.2006