



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2021. Т. 21, вып. 1. С. 60–75
Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Mathematics. Mechanics. Informatics, 2021, vol. 21, iss. 1, pp. 60–75

Научная статья

УДК 539.374

<https://doi.org/10.18500/1816-9791-2021-21-1-60-75>

Повторное знакопеременное нагружение упругопластической трехслойной пластины в температурном поле

Э. И. Старовойтов[✉], Д. В. Леоненко

Белорусский государственный университет транспорта, Республика Беларусь, 246653, г. Гомель, ул. Кирова, д. 34

Старовойтов Эдуард Иванович, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой строительной механики, edstar0@yandex.by, <https://orcid.org/0000-0002-2550-5377>

Леоненко Денис Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры строительной механики, leoden@tut.by, <https://orcid.org/0000-0001-8003-9279>

Аннотация. Рассмотрено осесимметричное деформирование трехслойной круговой пластины при повторном знакопеременном нагружении из пластической области локальной нагрузкой. Для описания кинематики несимметричного по толщине пакета пластины приняты гипотезы ломаной линии. В тонких упругопластических несущих слоях используются гипотезы Кирхгофа. Нелинейно упругий относительно толстый наполнитель несжимаем по толщине. Для него принимается гипотеза Тимошенко о прямолинейности и несжимаемости деформированной нормали с линейной аппроксимацией перемещений по толщине слоя. Учитывается работа наполнителя в тангенциальном направлении. Физические соотношения связи напряжений и деформаций соответствуют теории малых упругопластических деформаций. Учтено воздействие теплового потока. Температурное поле в пластине рассчитывалось по формуле, полученной с помощью усреднения теплофизических параметров по толщине пакета. Система дифференциальных уравнений равновесия при нагружении пластины из естественного состояния получена вариационным методом Лагранжа. Сформулированы граничные условия на контуре пластины. Решение соответствующей краевой задачи сведено к нахождению трех искоемых функций: прогиба, сдвига и радиального перемещения срединной поверхности наполнителя. Для этих функций выписана неоднородная система обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений. Ее аналитическое итерационное решение получено в функциях Бесселя методом упругих решений Ильюшина. При повторном знакопеременном нагружении пластины решение краевой задачи строится с помощью теории переменного нагружения Москвитина. В этом случае используется гипотеза о подобии функций пластичности на каждом шаге нагружения. Их аналитический вид принимается не зависящим от точки разгрузки. Однако входящие в аппроксимационные формулы материальные константы будут другие. Учитывается циклическое упрочнение материала несущих слоев. Проведен параметрический анализ полученных решений при различных граничных условиях в случае локальной нагрузки, распределенной по кругу. Численно исследовано влияние температуры и нелинейности материалов слоев на перемещения в пластине.

Ключевые слова: трехслойная круговая пластина, пластичность, повторное знакопеременное локальное нагружение, температурное поле, численный анализ НДС



Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект № Т20Р-047).

Для цитирования: Старовойтов Э. И., Леоненко Д. В. Повторное знакопеременное нагружение упругопластической трехслойной пластины в температурном поле // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2021. Т. 21, вып. 1. С. 60–75. <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2021-21-1-60-75>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Article

<https://doi.org/10.18500/1816-9791-2021-21-1-60-75>

Repeated alternating loading of a elastoplastic three-layer plate in a temperature field

E. I. Starovoitov[✉], D. V. Leonenko

Belarusian State University of Transport, 34 Kirova St., Gomel 246653, Belarus

Eduard I. Starovoitov, edstar0@yandex.by, <https://orcid.org/0000-0002-2550-5377>

Denis V. Leonenko, leoden@tut.by, <https://orcid.org/0000-0001-8003-9279>

Abstract. Axisymmetric deformation of a three-layer circular plate under repeated alternating loading from the plastic region by a local load is considered. To describe kinematics of asymmetrical on the thickness of the plate pack is adopted the hypothesis of a broken line. In a thin elastic-plastic load-bearing layers are used the hypothesis of Kirchhoff. A non-linearly elastic relatively thick filler is incompressible in thickness. It is taken to be a hypothesis of Tymoshenko regarding the straightness and the incompressibility of the deformed normals with linear approximation of the displacements through the thickness layer. The work of the filler in the tangential direction is taken into account. The physical relations of stress-strain relations correspond to the theory of small elastic-plastic deformations. The effect of heat flow is taken into account. The temperature field in the plate was calculated by the formula obtained by averaging the thermophysical parameters over the thickness of the package. The system of differential equations of equilibrium under loading of the plate from the natural state is obtained by the Lagrange variational method. Boundary conditions on the plate contour are formulated. The solution of the corresponding boundary value problem is reduced to finding the three desired functions: deflection, shear and radial displacement of the shear surface of the filler. A non-uniform system of ordinary nonlinear differential equations is written for these functions. Its analytical iterative solution is obtained in Bessel functions by the method of elastic solutions of Ilyushin. In case of repeated alternating loading of the plate, the solution of the boundary value problem is constructed using the theory of variable loading of Moskvitin. In this case, the hypothesis of similarity of plasticity functions at each loading step is used. Their analytical form is taken independent of the point of unloading. However, the material constants included in the approximation formulas will be different. The cyclic hardening of the material of the bearing layers is taken into account. The parametric analysis of the obtained solutions under different boundary conditions in the case of a local load distributed in a circle is carried out. The influence of temperature and nonlinearity of layer materials on the displacements in the plate is numerically investigated.

Keywords: three-layer circular plate, plasticity, repeated alternating local loading, temperature field, numerical analysis SSS



Acknowledgements: This work was supported by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (projects No. T20R-047).

For citation: Starovoitov E. I., Leonenko D. V. Repeated alternating loading of a elasto-plastic three-layer plate in a temperature field. *Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2021, vol. 21, iss. 1, pp. 60–75 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9791-2021-21-1-60-75>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)