

6. **J.K.Tishabaev, T.U.Otaboyev, Sh.Ya. Khursanov.** Residues and argument principle for  $A(z)$ -analytic functions, Journal of Mathematical Sciences, Vol.245, No. 3, March, 2020. 350-358.

**РАСЧЕТ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ БОРОАЛЮМИНИЯ С ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ ОТВЕРСТИЕМ**

**Икрамов А.М., Полатов А.М., Жуманиёзов С.П., Ш.О. Сапаев**  
*Национальный университет Узбекистана*

Рассматривается упругопластическая среда, которая представляет собой неоднородный сплошной материал, состоящий из двух компонент: армирующие элементы и матрица (или связующая), которая обеспечивает совместную работу армирующих элементов.

Известно, что волокнистый материал и трансверсально-изотропная среда являются эквивалентными понятиями. В связи с этим, при решении задачи физически нелинейного деформирования волокнистых композитов применяется теория малых упругопластических деформаций для трансверсально-изотропной среды и метод конечных элементов. В которой отмечается, что при рассмотрении армированного композита, жесткость армирующих элементов которого существенно превышает жесткость связующего, появляется возможность использования упрощенной деформационной теории пластичности [1].

Общая постановка упругопластических задач для однородных тел представляется следующими уравнениями:

$$\sigma_{ij,j} + X_i = 0, \quad x_i \in V \quad - \text{уравнение равновесия}; \quad (1)$$

$$\varepsilon_{kl} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_k}{\partial x_l} + \frac{\partial u_l}{\partial x_k} \right) \quad - \text{соотношение Коши}; \quad (2)$$

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{\alpha\alpha} \delta_{ij} + 2G \varepsilon_{ij} - \bar{S}_{ij} \omega \quad - \text{физический закон}; \quad (3)$$

$$u_i |_{\Sigma_1} = u_i^o, \quad x_i \in \Sigma_1 \quad - \text{граничные условия в перемещениях}; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^3 \sigma_{ij} n_j |_{\Sigma_2} = P_i^o, \quad x_i \in \Sigma_2 \quad - \text{граничные условия в напряжениях}. \quad (5)$$

Для решения задачи рассматривается ее вариационная постановка, которая позволяет применять приближенные методы решения, одним из которых является МКЭ. Вариационная постановка представляется в виде [1]:

## СЕКЦИЯ 4. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

$$\iiint_V \delta(\varepsilon)'(\sigma) dV - \iiint_V \delta(U)'(G) dV - \iint_S \delta(U)'(P) dS = 0 \quad (6)$$

Подставляя геометрически возможные перемещения, компоненты тензора напряжений, объемных сил и поверхностных нагрузок, можно получить различные системы разрешающих уравнений. Решение таких систем позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние упругопластических элементов конструкций с различными структурными и геометрическими особенностями.

В общем случае, посредством представления отношений между тензором напряжений  $\sigma_{ij}$  и тензором деформаций  $\varepsilon_{kl}$  в виде функции  $\sigma_{ij} = F(\varepsilon_{kl})$ , соотношения Коши и вектора смещений каждой частицы в системе координат  $Ox_1x_2x_3$  как  $\vec{u}(u_1, u_2, u_3)$ , можно представить нелинейную связь между тензором напряжений и вектором смещений  $u_i$ :

$$\sigma_{ij} = F\{\varepsilon_{ij}(\vec{u})\} = \sigma_{ij}(\vec{u}).$$

В этом случае уравнение равновесия (6) определяет систему из трех уравнений в частных производных относительно трех компонент вектора смещений.

Для исследования значений обобщенных параметров напряженно-деформированного состояния волокнистых материалов необходимо определить эффективные характеристики. Для вычисления эффективных характеристик однонаправленных волокнистых композитов используются выражения, полученные на основе асимптотических методов расчета композиционных материалов [2]. Использование этих соотношений позволяет учитывать радиальное взаимодействие компонентов, вызванное различием коэффициентов Пуассона матрицы и волокна.

Результаты получены на основе выражений, приведенные в работе [3], при различных значениях объемного содержания волокна ( $v$ ) в композите. В качестве материала матрицы используется алюминиевый сплав D16 (дюралюминий) с упругими постоянными  $E=7.1 \cdot 10^4$  МПа,  $\mu=0.32$ , коэффициент упрочнения  $\bar{\lambda}=0.5$  и предел упругости  $\sigma_s = 2.13 \cdot 10^2$  МПа. Для борного волокна  $E'=39,7 \cdot 10^4$  МПа,  $\mu'=0.21$ , предел прочности при растяжении  $\sigma'_s=2.5 \cdot 10^3$  МПа.

Рассматривается трёхмерная упругопластическая задача равномерно-распределенного растяжения пластины по оси  $Oz$  нагрузкой ( $P_{zz} = 950$  МПа), приложенной на её нижнем и верхнем краях. В пластине имеется изолированное отверстие в форме эллипса ( $r_3/r_1 = 1/8$ ).

## СЕКЦИЯ 4. Полупроводниковая микро- и наноэлектроника в решении проблем информационных технологий и автоматизации

На рис.1 приведены распределения интенсивности напряжений  $P_u$  в плоскости изотропии для пластины с отверстием в виде эллипса, полученные из упругого (рис.1 а) и упругопластического расчётов (рис.1 б).



Рис.1. Распределения интенсивности деформаций  $P_u$

### Использованные литературы

1. Pobedrya V.E., Gorbachev V.I. Stress and strain concentration in composite materials, *Mechanics of Composite Materials*, Kluwer Academic/Plenum Publishers (US), 20(2). 141-148, 1984.
2. Большаков В.И., Андрианов И.В., Данишевский В.В. Асимптотические методы расчёта композитных материалов с учётом внутренней структуры. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 196 с.
3. [Polatov, A.M.](#), [Ikramov, A.M.](#), [Khaldjigitov, A.A.](#) [Computer modeling of elastoplastic stress state of fibrous composites with hole](#) *Coupled Systems Mechanics* 8(4), pp. 299-313, 2019.

### ОБ ОДНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ

<sup>1</sup>К.С. Ахмедова, <sup>2</sup>В.К. Жаров, Х. Менгнарв

<sup>1</sup>Национальный университет Узбекистана, <sup>2</sup>Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН

**Аннотация.** Современные образовательные системы существенно усложнились по сравнению с системами двадцатилетней давности. Тому основанием является развивающиеся информационные технологии и довольно медленное развитие способностей человека. В статье рассматривается указанное противоречие и представляется модель управления учебными информационными потоками в информационно-педагогической среде.