

ОПЫТНАЯ ПРОВЕРКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СООТНОШЕНИЙ ТЕОРИИ ПРОЦЕССОВ НА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТРАЕКТОРИЯХ НАГРУЖЕНИЯ

Гараников В.В., Клыков В.Е.

Тверской государственный технический университет, г.Тверь

Ключевые слова: эксперимент, сложное нагружение, пространственная траектория, векторные свойства, оболочка, пространство напряжений.

Аннотация. В работе проведена экспериментальная проверка трехчленных определяющих соотношений теории процессов на пространственных траекториях нагружения постоянной кривизны и кручения. Рассмотрена пространственная траектория, реализованная в трехмерном девиаторном пространстве напряжений.

В данной работе приведены результаты систематических экспериментальных исследований закономерностей изменения скалярных и векторных свойств металлов на пространственных криволинейных траекториях постоянной кривизны $\kappa_1 = 4.16 \cdot 10^{-3} \text{ 1/МПа}$ и кручения $\kappa_2 = 0.182 \cdot 10^{-3} \text{ 1/МПа}$, реализованных в трехмерном девиаторном пространстве напряжений на тонкостенных цилиндрических оболочках, изготовленных из стали 12Х18Н10Т, при плоском напряженном состоянии. Методика экспериментального исследования подробно описана в работе [1]. Радиус кривизны траектории в плоскости S_1 - S_3 составлял $R = 240 \text{ МПа}$, шаг винта в направлении S_2 - 66 МПа. Реализовано три полных витка траектории. Центр следа траектории в координатной плоскости S_1 - S_3 совпадает с началом координат. Для описания процессов сложного нагружения в трехмерном девиаторном пространстве используем общие дифференциально-нелинейные определяющие соотношения В.Г.Зубчанинова [2].

$$d\bar{\Sigma}/d\Sigma = M_{\kappa}^* \hat{q}_{\kappa} + M^* \hat{\Sigma}, (\kappa=1,2,..5), \quad (1)$$

где функционалы процесса M_{κ}^* , M^* в общем случае зависят от параметров процесса.

Расчет произведен для пространственной криволинейной траектории постоянной кривизны $\kappa_1 = 4.16 \cdot 10^{-3} \text{ 1/МПа}$ и кручения $\kappa_2 = 0.182 \cdot 10^{-3} \text{ 1/МПа}$, реализованной в трехмерном девиаторном пространстве напряжений на тонкостенной цилиндрической оболочке, изготовленной из стали 12Х18Н10Т, при плоском напряженном состоянии (рис.1). Выход на криволинейную часть траектории осуществлялся в результате предварительного простого растяжения. Радиус кривизны траектории в плоскости S_1 - S_3 составлял $R = 240 \text{ МПа}$, шаг винта в направлении S_2 - 66 МПа. Реализовано три полных витка траектории. Центр следа траектории в координатной плоскости S_1 - S_3 совпадает с началом координат. Радиус кривизны траектории в плоскости S_1 - S_3 составлял $R = 240 \text{ МПа}$, шаг винта в направлении S_2 - 66 МПа. Реализовано три полных витка траектории. Центр следа траектории в координатной плоскости S_1 - S_3 совпадает с началом координат. Решение данной задачи проводилось с учетом ползучести материала. В основу теоретического решения положены определяющие соотношения

вязкопластичности при сложном напряженном состоянии. Для описания деформаций ползучести принята теория ползучести типа течения. В рамках теории процессов векторные свойства для пространственных траекторий характеризуют зависимости $\theta_1 \sim \Sigma$, $\theta_2 \sim \Sigma$, где θ_1 – угол запаздывания (угол между вектором деформаций и единичным вектором касательной траектории нагружения), θ_2 – угол депланации (угол между вектором деформаций и единичным вектором бинормали траектории нагружения), Σ – приращение длины траектории нагружения.

На рис. 1-4 представлены результаты решения задачи построения образа процесса деформирования для реализованной пространственной криволинейной траектории постоянной кривизны и кручения. Условными символами на рисунках показаны экспериментальные точки, соответствующие испытанию образца.

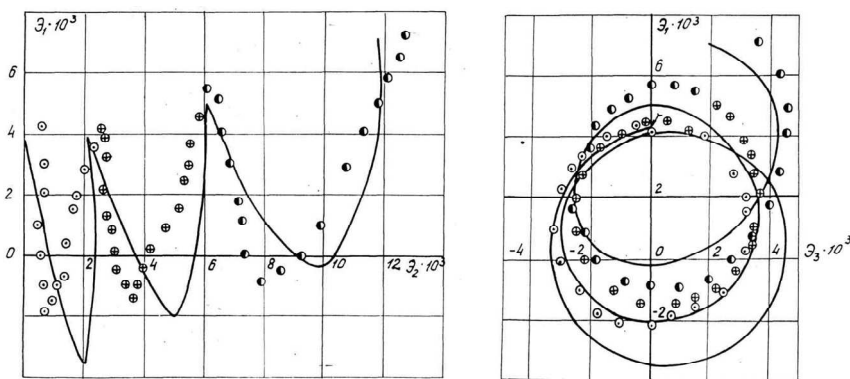


Рис. 1. Проекция траекторий деформаций

Сплошной линией отражены результаты расчета. Наибольшее различие между расчетной траекторией и экспериментальными данными наблюдается для первого витка. Это на наш взгляд, объясняется тем, что используемая аппроксимация для θ_1 не учитывает след запаздывания векторных свойств. На последующих витках результаты расчета хорошо соответствуют экспериментальным данным.

Диаграмма деформирования материала представлена на рис. 2. Как видно из данного рисунка, расчет достаточно достоверно отражает экспериментальную зависимость $\sigma \sim \Sigma$. Расчетные модули вектора деформаций на большинстве участков траектории нагружения несколько превышает экспериментальные значения.

Графики изменения углов θ_1 и θ_2 в зависимости от приращения длины дуги траектории нагружения изображены, соответственно на рис. 3 и 4.

Расчетная кривая $\theta_1 \sim \Sigma$ для стабилизированных витков, в достаточной мере соответствует экспериментальным результатам (кружки с точкой соответствуют первому витку; кружки с внутренними крестиками – второму; полутемные кружки – третьему). На рис. 4 результаты расчета $\theta_2 \sim \Sigma$ представлены кривыми, соответствующими первому, второму и третьему виткам. Угол депланации θ_2

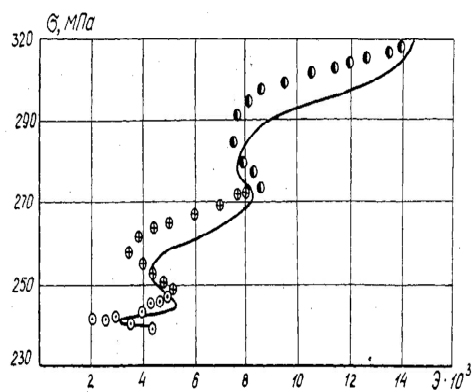


Рис. 2. Диаграмма деформирования

возрастает с каждым витком. Причем, в середине траектории нагружения отдельного витка данный угол принимает максимальные значения. Так максимальный угол деформации на третьем витке составляет 59° , что на 30% меньше значения полученного в эксперименте.

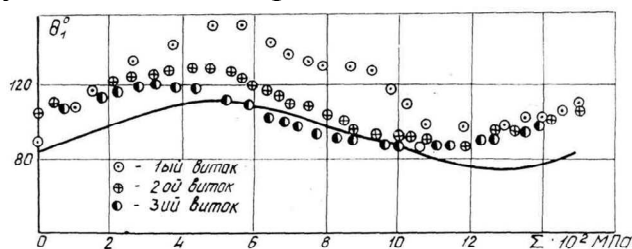


Рис.3. Зависимость $\theta_1 \sim \Sigma$

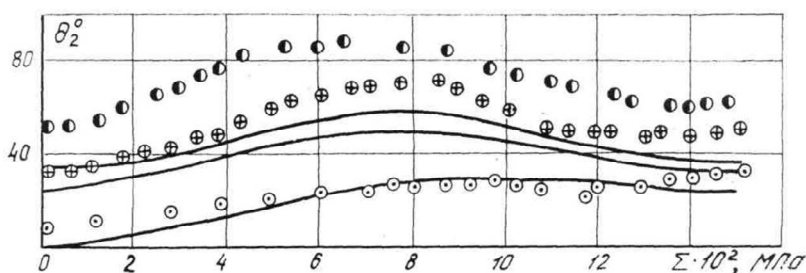


Рис. 4. Зависимость $\theta_2 \sim \Sigma$

Таким образом, можно отметить, что трехчленное соотношение теории пластичности достаточно достоверно описывает пространственные траектории сложного нагружения. Уточнение решения может быть получено при корректировке аппроксимаций углов процесса.

Список литературы

1. Гараников В.В., Зубчанинов В.Г., Охлопков Н.Л. Экспериментальная пластичность: Монография. Книга 1: Процессы сложного деформирования. Тверь: ТГТУ, 2003. 172 с.
2. Зубчанинов В.Г. Механика процессов пластических сред. М.: Физматлит, 2010. 352 с.

Сведения об авторах:

Гараников Валерий Владимирович – профессор, д.т.н., заведующий кафедрой «Техническая механика», ТвГТУ, г.Тверь;

Клыков Владимир Егорович – д.т.н., профессор кафедры «Техническая механика», ТвГТУ, г.Тверь;

EXPERIMENTAL CHECK OF THE RELIABILITY OF THE MAIN RELATIONSHIPS OF THEORY ON SPATIAL LOADING TRAJECTORIES

Garanikov V.V., Klykov V.E.

Keywords: experiment, complex loading, spatial trajectory, vector properties, shell, stress space.

Abstract. An experimental verification of three-term constitutive relations of the theory of processes on spatial loading trajectories of constant curvature and torsion is carried out. The spatial trajectory implemented in the three-dimensional deviatorial space of stresses is considered.

References

1. Garanikov V.V., Zubchaninov V.G., Okhlopkov N.L. Experimental plasticity: Monograph. Book 1: Processes of complex deformation. Tver: TSTU, 2003. 172 p.
2. Zubchaninov V.G. Mechanics of plastic medium processes. M.: Fizmatlit, 2010. 352 p.