

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2026-24-11-14>

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ДЕФОРМИРОВАНИЯ УСЕЧЕННЫХ ДИСКОВЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Зеньков Е.В., Ефтеев И.А.

*Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск,
Россия*

Ключевые слова: конструкционная прочность, двухосное растяжение, усеченный образец, геометрические параметры, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.

Аннотация. В статье приводятся результаты численного исследования характера упругого деформирования лабораторных образцов для механических испытаний до разрушения дискового типа. Нагружая данные образцы для механических испытаний сжимающими усилиями на одноприводной испытательной машине, в их рабочей зоне создается двухосное деформирование материала с возможностью его варьирования за счет изменения геометрических параметров этих образцов. Это обстоятельство позволяет осуществлять оценку конструкционной прочности материала образцов при различных соотношениях главных напряжений. Полученные результаты исследования могут быть использованы для построения уравнений объединённых критериев прочности, описываемые прочностные свойства различных материалов в условиях двухосного растяжения.

NUMERICAL CHARACTER STUDY DEFORMATION OF TRUNCATED DISK SAMPLES FOR MECHANICAL TESTING

Zenkov E.V., Efteev I.A.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

Keywords: structural strength, biaxial tension, truncated sample, critical bucklings, stress-strain state, finite element method.

Abstract. The article presents the results of a numerical study of the nature of elastic deformation of laboratory samples for mechanical tests before disk type destruction. Loading these samples for mechanical tests with compressive forces on a single-drive test machine, biaxial deformation of the material is created in their working zone with the possibility of its variation due to a change in the geometric parameters of these samples. This circumstance makes it possible to assess the structural strength of the material of the samples at a one-to-one ratio of the main stresses. The obtained results of the study can be used to construct equations of combined strength criteria, the described strength properties of various materials under conditions of biaxial stretching.

Прочность элементов конструкций, испытывающих в процессе эксплуатации значительные нагрузки, определяется наличием конструктивных особенностей, определяющих уровень и вид напряженно-деформированного состояния (НДС) в очагах их возможного разрушения [1]. Указанные конструктивные особенности могут представлять собой различные геометрические формы – галтели, отверстия, выступы, пазы и т.д. Кроме того, влияние характера эксплуатационных нагрузок, температурных воздействий и т.д. приводят к необходимости применения объединённых критериев прочности [2], учитывающих указанные факторы в совокупности.

Для построения объединённых критериев прочности в условиях статического нагружения могут быть использованы образцы различной формы [1, 2]. Одной из проблем при построении упомянутых критериев является отсутствие типовых лабораторных образцов, способных создавать требуемый характер НДС, возникающий в исследуемых элементах конструкций. В данной статье представлены результаты численных исследований характера деформирования лабораторных образцов [3], предложенных в качестве типовых и позволяющих моделировать широкий диапазон изменения характера (параметр Π [1-3]) деформирования. Этот диапазон соответствует характеру деформирования материала различных элементов конструкций [1].

На рисунке 1, *а* представлена конструкция типового лабораторного образца для механических испытаний [3], на рисунке 1, *б* – расчётная схема процесса его деформирования при осуществлении численных исследований, на рисунке 1, *в* – варьируемые геометрические параметры, позволяющие создавать различное соотношение главных напряжений в его рабочей зоне.

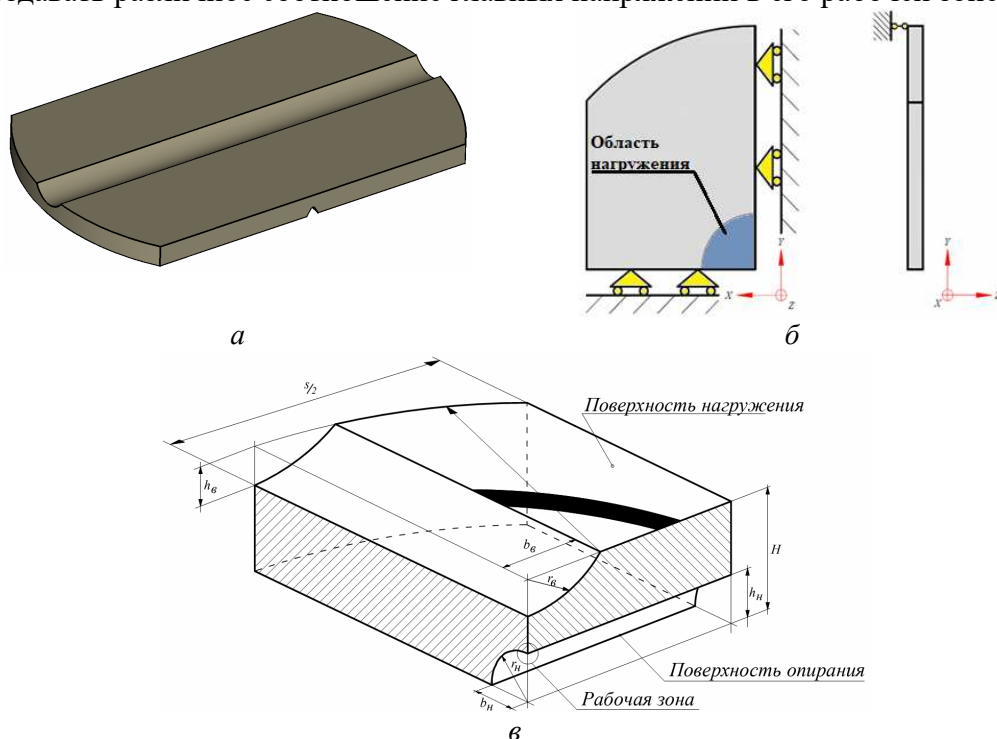


Рис. 1. Типовой усеченный дисковый образец: *а* – общий вид, *б* – схема нагружения и закрепления, *в* – варьируемые геометрические параметры

В процессе численного моделирования принималось, что при проведении испытаний образец опирается по наружной кромке нижней поверхности. Моделирование осуществлялось при этом на основе результатов вариантных исследований характеристик характера НДС предлагаемых образцов, реализованных посредством метода конечных элементов (МКЭ). В

силу симметрии конструкции образца численное исследование проводилось для его четверти с заданием соответствующих условий закрепления и нагружения (рис. 1, б).

На этапе вариантных исследований рассматривалось НДС рабочей зоны образцов, диаметром 200 мм и толщиной 10 мм. НДС образца изменялось в зависимости от значений геометрических параметров в диапазонах, определяемых равенствами

$$\eta_n = \frac{h_n}{H} \in [0,1; 0,8]; \delta = \frac{s}{D} \in [0,1; 1,0].$$

где h_n – глубина нижней канавки, s – ширина усечения диска (рис. 1, в).

При этом профиль поперечного сечения нижней канавки был принят U-образным, наружный диаметр диска $D = 200$ мм, а его толщина $H = 10$ мм.

Результаты численного исследования характера НДС (параметра Π) в рабочей зоне исследуемых образцов в зависимости от изменения их геометрических параметров приведены на рисунке 2.

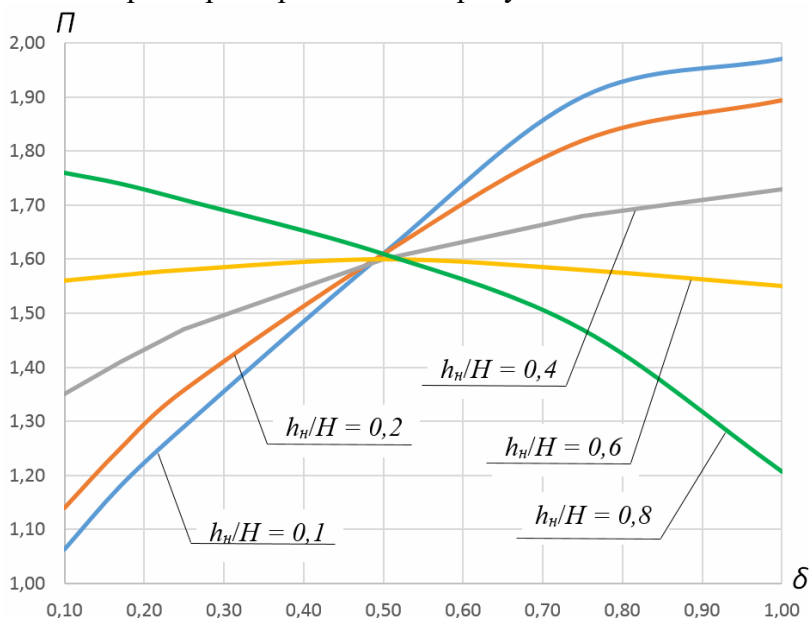


Рис. 2. Зависимость коэффициента Π от степени усечения δ при различных глубинах нижней канавки h_n

Как видно из рисунке 2, в целом изменение значений η_n и δ позволяет создавать в рассматриваемых дисках вид НДС, характеризуемый интервалом значений $1,05 \leq \Pi \leq 2,0$. В случае относительно малых глубин нижней канавки η_n ($0,1 \leq \eta_n \leq 0,4$) нижняя канавка не пересекает срединную поверхность дискового образца. Отметим также, что при значениях $\eta_n = 0,5$ значение величины Π зависит от степени усечения δ незначительно. Это обстоятельство позволяет использовать указанные образцы для исследования и оценки конструкционной прочности высоконагруженных элементов различных конструкций (сосудов и трубопроводов высокого давления, применяемых в

химических производствах и энергетике, конструкций транспортных систем, в том числе трубопроводов нефти и газа, и т.п. случаях) на типовых одноприводных испытательных машинах.

Список литературы

1. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
2. Tsvik L.B., Zenkov E.V., Elovenko D.A., Malomigev D.O. Deformation of laboratory truncated disc samples with stress concentrators // Engineering Solid Mechanics. 2025, no.13, pp. 15-26.
3. Патент №2823586 РФ. Образец для оценки конструкционной прочности материала / Л.Б. Цвик, Е.В. Зеньков, Д.А. Еловенко, Д.О. Маломыжев. – Заявка №2023115208 от 08.06.2023; опубли. 24.07.2024, Бюл. №21.

References

1. Kogaev V.P., Makhutov N.A., Gusenkov A.P. Calculations of machine parts and structures for strength and durability. – M.: Mechanical Engineering, 1985. – 224 p.
2. Tsvik L.B., Zenkov E.V., Elovenko D.A., Malomigev D.O. Deformation of laboratory truncated disc samples with stress concentrators // Engineering Solid Mechanics. 2025, no. 13, pp. 15-26.
3. Patent No. 2823586 RU. A sample for assessing the structural strength of a material / L.B. Tsvik, E.V. Zenkov, D.A. Elovenko, D.O. Malomyzhev. – Appl. No. 2023115208 from 08.06.2023; publ. 24.07.2024, Bul. No. 21.

Зеньков Евгений Вячеславович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления качеством и инженерная графика	Zenkov Evgeniy Vyacheslavovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of quality management and engineering graphics
Ефтеев Иван Александрович – студент jovanny1@yandex.ru	Efteev Ivan Aleksandrovich – student

Received 07.05.2026