

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2025-22-15-18>

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДИСКОВЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛА

Зеньков Е.В.

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

Ключевые слова: конструкционная прочность, дисковый образец, напряженно-деформированное состояние, варианты исследования, метод конечных элементов.

Аннотация. В статье приводится анализ численного исследования параметров напряженно-деформированного состояния предложенных лабораторных образцов дискового типа. Указанные образцы для механических испытаний при нагружении их на одноприводной испытательной машине позволяют моделировать в своей рабочей зоне различные виды напряженного состояния, что позволяет производить оценку конструкционной прочности материала при различных соотношения главных напряжений. Выявленные закономерности деформирования могут быть использованы для оценки прочности материалов и построения соответствующих уравнений объединенного критерия прочности, учитывающего особенности деформирования этих материалов в условиях двухосного НДС.

NUMERICAL STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE OF DISC SPECIMENS FOR ASSESSING THE STRUCTURAL STRENGTH OF THE MATERIAL

Zenkov E. V.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk

Keywords: structural strength, disk specimen, stress-strain state, variant studies, finite element method.

Abstract. The article presents an analysis of the numerical study of the parameters of the stress-strain state of the proposed laboratory disk-type samples. The specified samples for mechanical testing when loading them on a single-drive testing machine allow simulating various types of stress states in their working area, which allows assessing the structural strength of the material at different ratios of the main stresses. The revealed deformation patterns can be used to assess the strength of materials and construct the corresponding equations of the combined strength criterion, taking into account the features of deformation of these materials under biaxial SSS conditions.

Ресурс работы высоконагруженных элементов транспортных систем, энергетики, нефтехимии определяется уровнем и видом напряженно-деформированного состояния (НДС) в зонах концентрации напряжений [1]. Указанные зоны могут быть исполнены в виде различных геометрических форм – в форме галтелей, отверстий, выступов, пазов и т.д. Как показывает практика, вид НДС в упомянутых зонах является объемным, что, в таком случае, не позволяет применять для оценки конструкционной прочности материала высоконагруженных элементов классические критерии прочности. Возникает необходимость применения так называемых объединенных критериев прочности [2].

В истории механики деформируемого твёрдого тела были предложены различные уравнения, описывающие объединенные критерии прочности, например, уравнений Писаренко-Лебедева, Друккера-Прагера, Волкова и др. Одной из проблем практического использования указанных уравнений является отсутствие типовых лабораторных образцов, способных создавать требуемый уровень и вид НДС, возникающих в высоконагруженных элементах и деталях машин [1, 2]. В представленной работе описываются результаты численных исследований деформирования предложенных дисковых образцов [3] для механических испытаний, позволяющих моделировать практически значимый диапазон изменения вида (параметр Π) и уровень (параметр K_σ НДС, возникающего в высоконагруженных элементах и деталях машин. Параметр Π является характеристикой вида НДС, который определяется по формуле

$$\Pi = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}, \quad (1)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения в рабочей зоне образцов; σ_i – интенсивность напряжений, определяемая по энергетической теории прочности [1].

Параметр K_σ определяет уровень возникающего НДС и может быть вычислен по формуле

$$K_\sigma = \frac{\sigma_i^{\max}}{\sigma_i^{\text{ном}}}, \quad (2)$$

где $\sigma_i^{\max}$ – напряжение в рабочей зоне образцов; $\sigma_i^{\text{ном}}$ – напряжение в центре дискового образца без канавок на его сторонах.

На рисунке 1, а приведена конструктивная схема предлагаемого для оценки конструкционной прочности материала дискового образца, на рисунке 1, б – его расчётная схема для осуществления численных вариантных исследований. В данном случае в силу симметрии образца процессам деформирования подвергается его четвертая часть с заданием соответствующих условий закрепления и нагружения (рис. 1, б).

Для осуществления вариантных исследований параметров НДС дисковых образцов использовался метод конечных элементов (МКЭ), в процессе которых значения геометрических параметров (рис. 1, в) подвергались изменению в следующих диапазонах

$$\rho = \frac{r}{H} \in [1,1; 2,1]; \quad \eta = \frac{h}{H} \in [0,1; 0,9]; \quad \delta = \frac{s}{D} \in [0,4; 1].$$

где r – радиус скругления нижней канавки, h – 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 параметров Π и K_σ НДС в рабочей зоне дисковых образцов в зависимости от изменения их геометрических параметров приведены на рисунке 2.

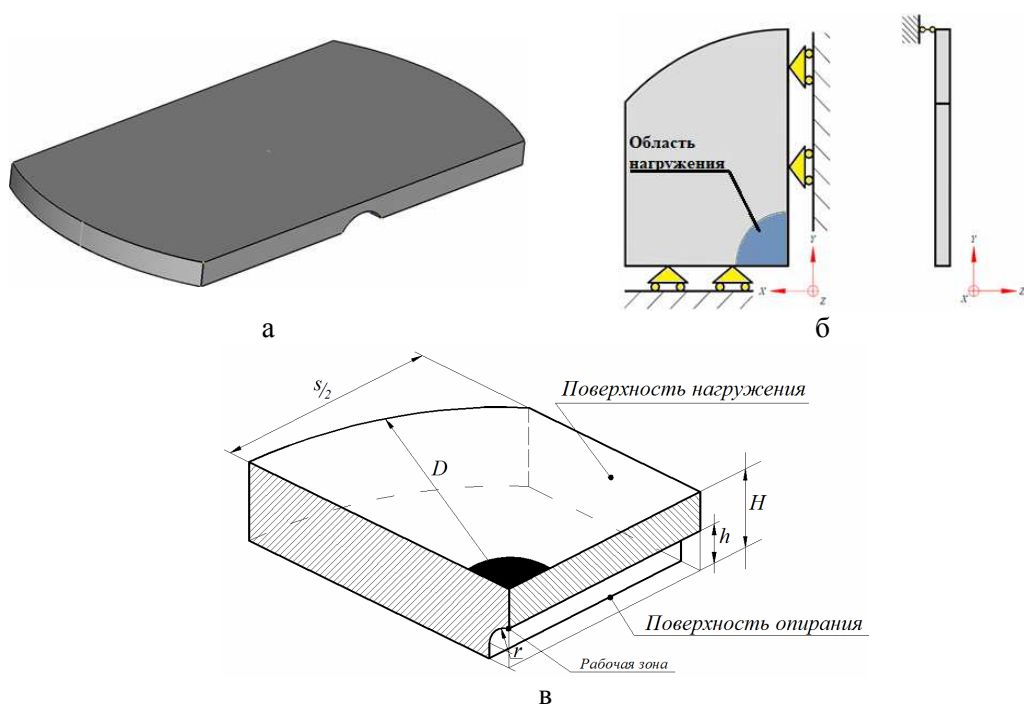


Рис. 1. Предлагаемый дисковый образец: а – общий вид, б – схема нагружения и закрепления, в – геометрические параметры

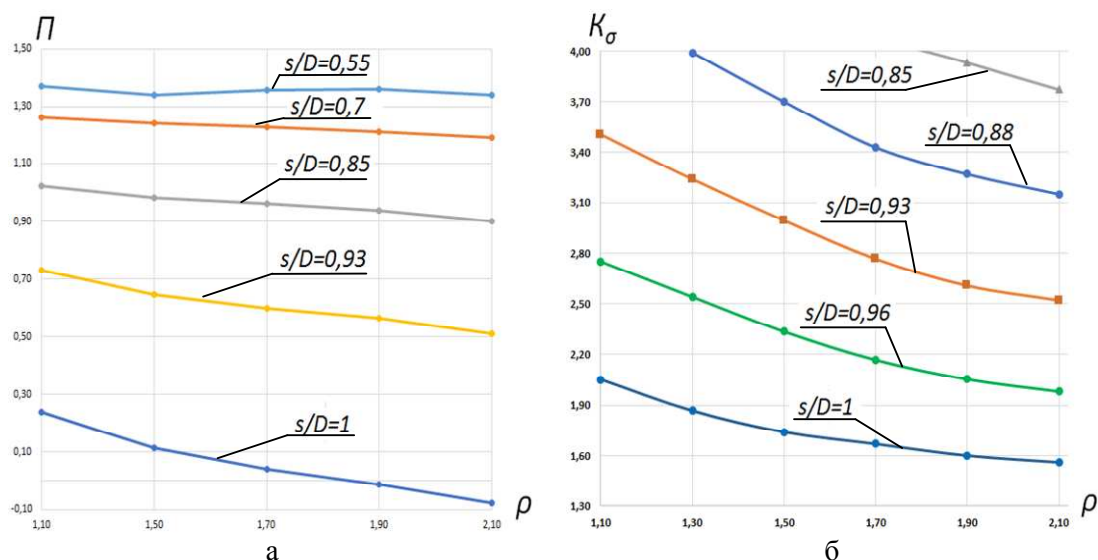


Рис. 2. Закономерности деформирования дисковых образцов: а – изменения вида НДС – параметр Π , б – изменения уровня НДС – параметр K_σ

Как видно из рисунка 2, предложенные образцы позволяют создавать в своей рабочей зоне широкий диапазон изменения вида НДС, в частности двухосного растяжения (рис. 2, а), и, одновременно, различный уровень напряжений, возникающий в высоконагруженных элементах и деталях машин. Параметр вида НДС изменяется в интервале $0 \leq \Pi \leq 2$, а параметр

уровня НДС – $K_{\sigma} < 4$. Выявленные закономерности деформирования дисковых образцов могут быть использованы для оценки прочности различных конструкционных материалов и построения соответствующих уравнений объединённого критерия прочности, учитывающего особенности деформирования этих материалов в условиях двухосного НДС.

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. Зеньков Е.В., Цвик Л.Б. Уточнение уравнений предельного состояния материала конструкций с учетом реального вида их деформирования // Системы. Методы. Технологии. – 2017. – №2. – С. 28-34.
3. Патент №2734276 РФ. Дисковый образец для оценки конструкционной прочности материала / Л.Б. Цвик, Е.В. Зеньков, И.С. Бочаров, Д.А. Еловенко. – Заявка №2019133638 от 22.10.2019; опубл. 14.10.2020, Бюл. №29.

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. Zenkov E.V., Tsvik L.B. Refinement of the equations of the limit state of the material of structures taking into account the actual type of their deformation // Systems. Methods. Technologies. 2017, no. 2, pp. 28-34.
3. Patent No. 2734276 RU. Disk sample for assessing the structural strength of a material / L.B. Tsvik, E.V. Zenkov, I.S. Bocharov, D.A. Elovenko. – Appl. No. 2019133638 from 10.22.2019; publ. 10.14.2020, Bul. No. 29.

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
jovanny1@yandex.ru	

Received 15.05.2025