

В. А. Огородников¹

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ В МЕХАНИКЕ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

¹Винницкий национальный технический университет

Аннотация

Объектом исследования является экспериментально-расчетная методика для определения предельного числа оборотов турбинного диска. По данным экспериментального определения твердости выполнена оценка критического числа оборотов диска двигателя, при котором произошло разрушение

Ключевые слова: упруго-пластическое напряженное состояние, диск двигателя, твердость, карта материала

Abstract

The paper presents experimental design methodologies to determine the number of revolutions of turbine disc. According hardness is measured critical speed drive motor, at which its destruction.,

Keywords: elastic- plastic state, tension, drives gas turbines, hardness, material map

Применение современных вычислительных программ при исследовании механики деформируемых твердых тел, позволило изучить напряженно-деформированное состояние широкого круга задач обработки металлов давлением, а также задач прочности элементов конструкции машин за пределами упругости. При этом при решении задач деформирования твердых тел в условиях сложного нагружения, при анализе аварийных ситуаций, возникает необходимость привлечения экспериментальных данных, играющих решающую роль при ответах на вопрос о причинах разрушения металлов при обработке их давлением, а также в аварийных ситуациях. Феноменологическая теория деформируемости металлов без разрушения, развиваемая в Украине с 70-х годов прошлого столетия, позволяет на стадии проектирования технологических процессов прогнозировать разрушение и оценивать предельное формоизменение заготовок, обрабатываемых давлением в условиях сложного нагружения [1]. При этом важнейшими условиями являются феноменологические аспекты решения указанных задач. Таковыми являются дополнительные параметры, полученные из эксперимента, вводимые в расчетный аппарат теории пластичности. Кроме того, современные феноменологические критерии содержат экспери-

ментальные данные о механических характеристиках материалов, формируется «карта материала» [2].

Другим важным феноменологическим аспектом технологической механики является применение этого подхода для решения задач экспертных оценок надежности деталей и узлов машин при аварийных ситуациях.

Так, при авариях летательных аппаратов можно имея обломки разрушенного в результате аварии турбинного диска, определять число его оборотов, при котором он разрушится.

Интегрирование дифференциального уравнения равновесия

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_t}{r} = - \frac{\gamma \omega^2 r}{g}$$

и привлекая условие пластичности

$$\sigma_r^2 - \sigma_r \sigma_t + \sigma_t^2 = \sigma_i^2, \quad (1)$$

Получим для сплошного диска критическое число оборотов [3]

$$\omega_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{3g[\sigma_t(\varepsilon_i)]}{\gamma r_2^2}}. \quad (2)$$

В пластической области для диска с отверстием предельную угловую скорость вращения диска можно определить по формуле

$$\omega_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{3g\sigma_i(\varepsilon_i)}{\gamma(r_2^2 + r_2 r_1 + r_1^2)}}, \quad (3)$$

где $\sigma_i(\varepsilon_i)$ – кривая течения материала диска, определенная с помощью метода твердости [3].

В формулах (1-3), вместо функций $\sigma_i(\varepsilon_i)$ подставим степенную аппроксимацию в виде

$$\sigma_i = A\varepsilon_i^n, \quad (4)$$

где A, n – коэффициенты аппроксимации кривой течения материала диска. Так, для стали 40ХФА коэффициент $A = 769$ МПа, $n = 0,19$. Коэффициенты A и n кривой по формуле (4) могут быть получены измерением твердости деформированного диска [4].

Применение экспериментальной механики машин к задачам их надежности рассмотрим на примере оценки времени эксплуатации седельноцепного устройства.

Так критерием износа узла сцепного устройства предлагается полная затрата энергии на износ, при котором узел заменяется. При этом экспресс-метод позволяет определять безопасный ресурс на любой стадии эксплуатации.

Важнейшей экспериментально-расчетной составляющей физической модели разрушения являются экспериментальные методы, применяемые при проведении автотехнических экспертиз. Определение энергии деформации и разрушения элементов конструкции транспортных средств важно не только для определения экспертных оценок их скорости движения перед столкновением [4]. При конструировании и изготовлении современных скоростных автомобилей необходимо учитывать их безопасность. Это можно достичь созданием конструкций, которые в случае аварийной ситуации обеспечат максимальную защиту водителю и пассажирам. При этом особое внимание уделяется параметрам технологии обработки давлением, создающим «память материала», обеспечивая необходимую прочность, податливость, жесткость [5]. Современные компьютерные модели аварий должны быть ориентированы на сложные истории деформирования, так как при моделировании аварий приходится описывать двухступенчатый процесс – статическое деформирование при операциях вытяжки, штамповки, обтяжке и др. и последующее динамическое деформирование при ударе.

Ряд зарубежных фирм, например фирма «Mattem» (Германия, Мюнхен), разрабатывают программное обеспечение аварийного разрушения транспортных средств с целью прогнозирования, при известной скорости движения автотранспорта перед ударом, ожидаемых повреждений. Результаты этих работ составляют основу создания безопасных конструкций и позволяют сократить дорогостоящие малоинформативные «crush-tests» [6].

Развивая эти подходы, в работе решается задача оценки энергии деформации поврежденных в результате удара элементов конструкции при различных скоростях движения перед ударом на основе натуральных испытаний в английской интерпретации как «full-scale test», т. е. полномасштабное или натурное испытание.

Выводы:

1. Предлагается оценивать энергию деформаций, полученных в результате аварийных ситуаций, на основе натуральных испытаний в английской интерпретации как «full-scale test», т.е. полномасштабное или натурное испытание.

2. Разработана методика оценки числа оборотов поврежденного в результате аварии диска, при котором он разрушится.

3. Предлагаемый феноменологический подход к определению энергии пластической деформации, может быть применим для оценки надежности броневых сталей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / Огородников В. А. – К. : Головне вид-во «Вища школа», 1983 – 175 с.

2. Огородников В. А. Ресурс пластичности металлов при холодном объемном формоизменении : Монография / В. А. Огородников, И. А. Деревенько, Л. И. Алиева. – Винница : ВНТУ, 2016. – 176 с.

3. Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н. Н. Малинин. – М. : Машиностроение, 1975. – 400 с.

4. Огородников В. А. Энергия. Деформация. Разрушение. (Задачи автотехнической экспертизы). : Монография / В. А. Огородников, В. Б. Киселев, И. О. Сивак. – Винница : Универсум, 2005. – 195 с.

5. Огородников В. А. Керування технологічною спадковістю при листовому штампуванні з метою підвищення безпеки конструкцій / В. А. Огородников, В. Є. Перлов, С. В. Войтків // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Серія «Машинобудування». – 2010. – № 60. – С. 133-137.

6. Dell H. Continuous Failure Prediction Model for Nonlinear Load Paths in Successive Stamping and Crash Processes / Dell H., Gese H., Kessler L., Werner H., Hooputra H. // SAE-paper 2001-01-1131, New Sheet Steel Products and Sheet Metal Stamping (SP-1614). SAE 2001 World Congress, Michigan, March 5-8, 2001. – P. 113-122.

Огородников Виталий Антонович, доктор технічних наук, професор кафедри ОМПМ, Винницький національний технічний університет, г. Винница, e-mail: va.ogorodnikov@mail.ru

Vitaliy Ogorodnikov, Sc. D., professor, professor of SMAM, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: va.ogorodnikov@mail.ru