

Reassessment of the Scale-Determining Equation for Advanced Turbulence Models [Текст] // AIAA J. – 1988. – 26, № 11. – P. 1299-1310. 6. Bolcs A. Aeroelasticity in Turbomachines. Comparison of Theoretical and Experimental Cascade Results [Текст] / A. Bolcs, T.H. Fransson // Communication du Laboratoire de Thermique Appliquée et de Turbomachines, Lausanne, EPFL. – 1986. – №13. – 230 p.  
*Поступила в редколлегию 05.09.2011*

**УДК 621.43**

**И.А. ДУДНИКОВ**, канд. техн. наук, декан, Полтавская государственная аграрная академия

**В.В. ДУДНИК**, ассист., Полтавская государственная аграрная академия

**А.В. КАНИВЕЦ** ассист., Полтавская государственная аграрная академия

## **К ВОПРОСУ РАСЧЕТА УСИЛИЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ**

Изложены вопросы определения параметров напряженного состояния материала деталей при его пластическом деформировании.

Ключевые слова: деформированное состояние, уравнение пластичности, напряжение, контактная поверхность.

Викладено питання визначення параметрів напруженого стану матеріалу деталей при його пластичному деформуванні.

Ключові слова: деформований стан, рівняння пластичності, напруження, контактна поверхня.

Outlines the issues determining the parameters of the stress state of the material in detail his plastic deformation.

Keywords: deformed state, the equation of plasticity, stress, contact area.

### **1. Введение**

Обработка металлов давлением при изготовлении или восстановлении деталей машин основана на пластичности металлов и сплавов.

В зависимости от формы и размеров детали, а также свойств деформируемого металла или сплава применяют различные технологические процессы обработки давлением.

В настоящее время находит широкое применение метод пластического деформирования поверхности деталей с применением вибрационных колебаний обрабатывающего инструмента, наносимых на обрабатываемую поверхность деталей при изготовлении или восстановлении.

### **2. Постановка проблемы**

В настоящее время приоритетным является мнение о том, что при деформировании поверхностного слоя детали существенное значение имеет метод поверхностного пластического деформирования. В работах различных авторов используются разные подходы и методы для оценки свойств, что затрудняет процесс проектирования упрочняющей технологии.

### **3. Анализ основных исследований и публикаций по данной проблеме**

Пластичность металла способствует достаточно изменять форму обрабатываемой детали без разрушения.

По данным некоторых исследователей [1] разрушение может происходить в результате действия касательных напряжений после пластической деформации.

По мнению Е.П. Унксова [2], если касательное напряжение зависит от нормального напряжения, то для приближенных расчетов напряженного состояния можно использовать общеизвестное уравнение пластичности.

Рассмотрим решение поставленной задачи методом совместного решения приближенных уравнений и уравнения пластичности.

#### 4. Результаты исследований

Данный метод используется для расчета усилий и напряжений при обработке давлением и основан на двух основных положениях.

1. Напряженно-деформированное состояние следует рассматривать либо осесимметричным, либо плоским.

2. Общепринятые дифференциальные уравнения равновесия [3] упрощаются принятием допущения, что нормальные напряжения зависят только от одной координаты. В результате остается одно дифференциальное уравнение, в котором вместо частных производных можно принять обыкновенное, позволяющее исключить определение напряжения в каждой точке деформируемого тела.

Данный метод позволяет определять усилие деформирования без необходимости определения напряжений в каждой точке по объему деформируемого тела.

Рассмотрим применение данного метода при обработке полосы (шины) шириной  $2b$  и высотой  $2h$  с расположением начала координат в середине ширины и высоты образца.

Для определения напряжений полагаем, что на выделенный бесконечно малый объем действуют нормальные напряжения  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_x + d\sigma_x$  и касательное напряжение  $\tau_{xz}$ , переменное по высоте и ширине и равное на контактной поверхности  $\tau_k$  – касательному напряжению, обусловленному трением тела об обрабатывающий инструмент.

Полагаем, что  $\tau_{xz}$  зависит от высоты обрабатываемой шины, т.е.:

$$\tau_{xz} = \frac{\tau_k z}{h}. \quad (1)$$

Тогда

$$\frac{d\tau_{xz}}{dz} = \frac{\tau_k}{h}. \quad (2)$$

Решая совместно дифференциальные уравнения равновесия и уравнение (2), получаем:

$$\frac{d\sigma_z}{dx} + \frac{\tau_k}{h} = 0. \quad (3)$$

Для решения этого дифференциального уравнения относительно  $\sigma_z$  примем, что контактные касательные напряжения на контактной поверхности изменяются по линейному закону:

$$\tau_k = -\frac{\tau_k^b x}{b}, \quad (4)$$

где  $\tau_k^b$  – значение контактного напряжения на краю полосы.

Решая совместно уравнения (3) и (4), получаем:

$$\frac{d\sigma_z}{dx} = \frac{\tau_k^b x}{bh}. \quad (5)$$

После интегрирования данного выражения находим:

$$\sigma_z = \frac{\tau_k^b x^2}{2bh} + C. \quad (6)$$

При  $x = b$  и  $\sigma_x = -\sigma_T$  постоянная интегрирования будет равна:

$$C = -\sigma_T - \frac{\tau_k^b b}{2h}. \quad (7)$$

Отсюда:

$$\sigma_z = \frac{\tau_k^b x^2}{2bh} - \sigma_T - \frac{\tau_k^b b}{2h} = \left[ \sigma_T + \frac{\tau_k^b}{2bh} (b^2 - x^2) \right]. \quad (8)$$

Полное давление на единицу длины шины составит:

$$P = 2 \int_0^b \left[ \sigma_T + \frac{\tau_k^b}{2bh} (b^2 - x^2) \right] dx = 2\sigma_T b \left( 1 + \frac{\tau_k^b b}{3h\sigma_T} \right). \quad (9)$$

Удельное давление будет:

$$p = \frac{P}{2b} = \sigma_T \left( 1 + \frac{\tau_k^b b}{3h\sigma_T} \right). \quad (10)$$

Данное уравнение справедливо для случаев, когда  $\tau_k^b = f\sigma_T$ .

Полученные зависимости позволяют сделать вывод, что величины нормального напряжения, полного и удельного давления зависят от обрабатываемого материала, степени и скорости деформации, определяемых величиной  $\sigma_T$ , и от параметра  $fb/h$ , отражающего влияние напряженного состояния. Увеличение данного параметра способствует повышению удельного давления. Чем больше коэффициент трения, тем больше удельное и полное давление.

При вибрационном деформировании происходит ослабление контакта (или отрыв) обрабатываемого инструмента от обрабатываемой поверхности. В силу этого снижается коэффициент трения по сравнению с обычной раздачей.

Результаты подсчетов удельного давления в зависимости от обрабатываемого материала и вида обработки приведены в табл. 1.

Таблица 1. Удельное давление обработки

Материал	Удельное давление $p$ , МН/м <sup>2</sup>	
	Вибрационное деформирование, $A = 0,5$ мм	Обычная обработка
Сталь 65Г	2,98	7,45
Сталь 45	2,44	6,1
Сталь 10	1,42	3,55

## 5. Выводы

Проведенные исследования показали, что при вибрационном нагружении по сравнению с обычной обработкой поверхности детали требуется приложить в

2,5 раза меньше удельное давление для получения одинаковой величины деформации.

**Список литературы:** 1. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов / С.И. Губкин. – М.: Металлургиздат, 1970. – 472 с. 2. Унксов Е.П. Инженерная теория пластичности / Е.П. Унксов. – М.: Машгиз, 1969. – 372 с.

*Поступила в редколлегию 05.09.2011*

**УДК 539.3: 519.876.5**

**А.М. МИЛЬЦЫН**, канд. техн. наук, проф., начальник отдела. ТД  
Днепропетровского завода сварочных материалов

**В.И. ОЛЕВСКИЙ**, канд. техн. наук, доц., ГВНЗ УДХТУ, Днепропетровск

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОБОЛОЧЕК НА ОСНОВЕ ПОДОБИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ СМЫСЛЕ**

Предложена концепция подобия оболочек с несовершенствами в условиях единой технологии их изготовления. Экспериментально обоснованы гипотезы подобия в технологическом смысле. Ключевые слова: подобие, модель, несовершенства, масштаб.

Запропоновано концепцію подібності оболонок з недосконалостями в умовах єдиної технології їх виготовлення. Експериментально обґрунтовано гіпотези подібності в технологічному сенсі. Ключові слова: подібність, модель, недосконалість, масштаб.

A concept of the similarity of shells with imperfections based on the single manufacturing methods is proposed. The hypothesis of similarity in the technological sense eexperimentally substantiated. Keywords: similarity, model, imperfections, scale.

### **1. Введение**

При моделировании стохастических зависимостей между механическими, физическими и геометрическими параметрами тонкостенных оболочек на основе теории статистического подобия [1, 2] идентификация модели и природы осуществляется путем сравнения законов распределения или выборочных характеристик распределения этих параметров. При этом устанавливается равенство критериев подобия для параметров распределения. Параметр несущей способности моделируемой конструкции  $P_n$  определяется одноименным параметром модели  $P_m$ , умноженным на константу подобия  $\alpha$  с учетом стохастического характера рассматриваемых связей. Расчет крупногабаритных тонкостенных конструкций, основанный на теории статистического подобия, требует точной подгонки модели и природы и, зачастую, не может быть осуществлен. При этом естественно, а часто и единственно возможно исследовать узкий класс подобных конструкций, например, выполненных из тождественного материала в рамках единой технологии. Исследования показывают, что строгие условия подобия могут быть установлены лишь для конкретных пар модель – натура с заранее заданным соотношением факторов, по которым устанавливается подобие. В общем же случае соотношение безразмерных параметров натуральных изделий и моделей имеет значимую