

УДК 621.777.4

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ СПЛОШНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Деревенько Ирина Анатольевна к.т.н., ассистент  
Винницкий национальный аграрный университет  
Derevenko I.*

*Vinnitsia National Agrarian University*

**Аннотация:** предложено алгоритм формирования модели сплошных материалов, параметры которых определяются экспериментальным построением кривых течения в координатах: интенсивность напряжений  $\sigma_i$  – интенсивность деформаций  $e_i$  и диаграмм пластичности в координатах: накопленная интенсивность деформаций вплоть до момента разрушения  $e_p$  – безразмерный показатель напряженного состояния  $\eta$ , от которого существенно зависит пластичность. По результатам экспериментальных испытаний материала на растяжение, сжатие и кручение построено кривую течения и диаграмму пластичности для стали 20.

**Ключевые слова:** модель материала, кривая течения, диаграмма пластичности, моделирование, технологические отказы.

Конечно-элементное моделирование нашло широкое применение в технологиях изготовления изделий машиностроения [1, 2]. В конечно-элементных моделях определяющую роль играет карта материала, которая основывается на модели сплошного материала а также параметрах модели. Модель материала включает модель деформирования и модель технологических отказов в виде неустойчивости пластического деформирования, различных видов разрушения (отрывом, сдвигом, смешанные виды разрушения).

Целью данной работы является разработка алгоритма формирования модели материала и обеспечение ее экспериментальными данными.

В настоящей работе продолжено решение задач формирования технологических карт материала в частности формирование модели сплошного материала, представленной в виде кривых течения и диаграмм пластичности при пластическом деформировании.

Представим модель сплошных материалов в виде функций материала, отражающих свойства материала в зависимости от степени деформации (способности к упрочнению), схемы напряженного состояния, истории деформирования.

Алгоритм формирования модели сплошных материалов заключается в следующем:

1. Изготовление образцов из материала для испытания на растяжение, сжатие и кручение.
2. Экспериментальное испытание образцов на растяжение, сжатие и кручение.
3. Построение кривых течения.
4. Построение диаграмм пластичности

По результатам экспериментальных испытаний материала на растяжение, сжатие и кручение строится кривая течения в координатах: интенсивность напряжений [3]

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2} \quad (1)$$

интенсивность деформаций

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2}. \quad (2)$$

Кривые течения аппроксимируют зависимостью П. Людвига

$$\sigma_i = A\varepsilon_i^n, \quad (3)$$

где  $A$  – коэффициент аппроксимации равный  $\sigma_i$  при  $\varepsilon_i = 1$ ,  $n$  – показатель степени, имеющий физический смысл,  $n = \varepsilon_{кр}$ , при появлении шейки, когда нагрузка на образец достигает максимального значения. Это утверждение справедливо для изотропно упрочняющихся материалов.

На рис. 1 представлена кривая течения материала сталь 20. Коэффициенты аппроксимации  $A = 673$  МПа,  $n = 0,15$ .

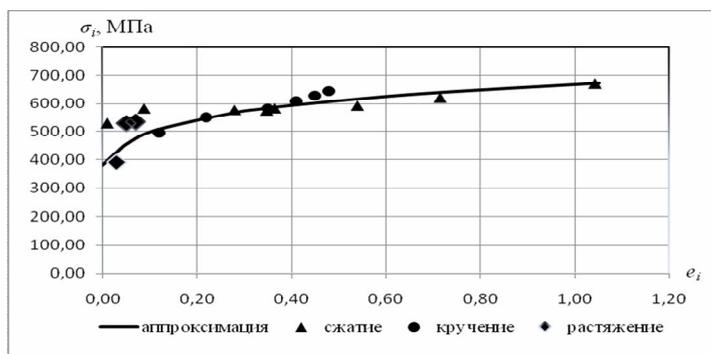


Рис. 1. Кривая течения материала сталь 20

Под диаграммой пластичности в дальнейшем будем понимать механическую характеристику материалов, представленную в виде – пластичность как функция параметров схемы напряженного состояния. Пластичность – мера деформаций – накопленная интенсивность деформаций к моменту разрушения – предельная деформация [2]

$$\varepsilon_p = \int d\varepsilon_{ij}. \quad (4)$$

Диаграммы пластичности строятся по результатам экспериментальных испытаний на растяжение – показатель  $\eta$  нормирован на единицу ( $\eta = 1$ ), одноосное сжатие – показатель  $\eta = -1$ , сдвиг (кручение) – показатель  $\eta = 0$  в координатах: накопленная интенсивность деформации до момента разрушения  $\varepsilon_p$  – показатель напряженного состояния  $\eta$

$$\eta = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i} \quad (5)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – главные напряжения,  $\sigma_i$  – интенсивность напряжений (1).

При построении диаграммы пластичности в условиях  $\eta_1 = 0$  (сдвиг) закручивали цилиндрический образец до разрушения. На цилиндрической образующей сплошного круглого образца наносили риску алмазной пирамидой. Образец доводили до разрушения, угол  $\gamma$  между искривленной риской и продольной осью образца измеряли на инструментальном микроскопе. Предельная деформация равна

$$\varepsilon_p(\eta_1 = 0) = \frac{tg\gamma}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

При сжатии со смазкой (коллоидный графит и глицерин) цилиндрического образца с соотношением высоты к диаметру  $\frac{h_0}{d_0} = 1,5$  до разрушения (появление первой макротрещины, видимой невооруженным глазом). Предельная деформация при этом равна

$$\varepsilon_p(\eta_1 = -1) = 2 \ln \frac{d_i}{d_0} = \ln \frac{h_0}{h_i} \quad (7)$$

где  $d_0, h_0, d_i, h_i$  – высота и диаметры образца до и после осадки соответственно. В условиях одноосного растяжения

$$\varepsilon_p(\eta_1 = 1) = \ln \frac{F_0}{F_{уст.}} \quad (8)$$

где  $F_0, F_{уст.}$  – площади поперечного сечения образца до деформации и на некотором удалении от минимальной площади шейки [4].

На рис. 2 представлена диаграмма пластичности материала сталь 20.

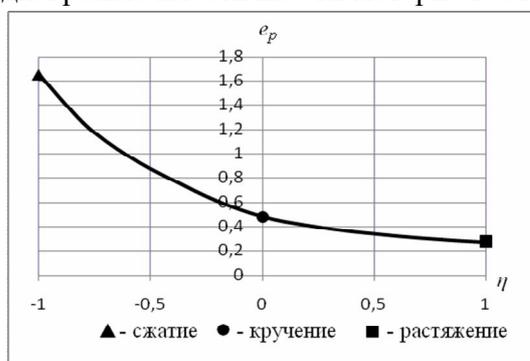


Рис. 2. Диаграмма пластичности материала сталь 20

Механические свойства сплошных материалов, их пластичность существенно зависит от показателей напряженного состояния и других факторов, поэтому модель материала играет определяющую роль при прогнозировании технологических отказов. Основными технологическими отказами в процессах холодной объемной штамповки являются: локализация деформации в виде потери устойчивости пластического деформирования, разрушения металла при различных механизмах его протекания.

Перечисленные технологические отказы обуславливают необходимость создания модели сплошных материалов, параметры которых определяются экспериментальным построением кривых течения в координатах: интенсивность напряжений  $\sigma_i$  – интенсивность деформаций  $e_i$  и диаграмм пластичности в координатах: накопленная интенсивность деформаций вплоть до момента разрушения  $e_p$  – безразмерный показатель напряженного состояния  $\eta$ , от которого существенно зависит пластичность.

### Список литературы

1. Матвеев С. А. Возможности конечно-элементного анализа при решении технологических задач обработки металлов давлением / С. А. Матвеев, В. С. Мамутов, К. М. Иванов // *Металлообработка*. – 2003. – №1. – С. 23–28.
2. Петров П. А. Моделирование выдавливания осесимметричной детали с помощью системы QFORM 2D/3D / П. А. Петров, Д. А. Гневашев, Ю. К. Филиппов // *Заготовительные производства в машиностроении*. – 2003. – №12. – С. 26–27.

3. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. / В. А. Огородников. – К.: Вища шк., 1983. – 175 с.
4. Огородников В. А. Диаграммы пластичности и особенности их построения / В. А. Огородников, И. Ю. Кирица, В. И. Музычук // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематичний зб. наук. пр. – Краматорськ, 2006 – С. 231–255.

### References

1. Matveev S. A. Vozmozhnosti konechno-elementnogo analiza pri reshenii tehnologicheskikh zadach obrabotki metallov davleniem / S. A. Matveev, V. S. Mamutov, K. M. Ivanov // Metalloobrabotka. – 2003. – #1. – S. 23–28.
2. Petrov P. A. Modelirovanie vyidavlivaniya osesimmetrichnoy detali s pomoschyu sistemy QFORM 2D/3D / P. A. Petrov, D. A. Gnevashev, Yu. K. Filippov // Zagotovitelnyie proizvodstva v mashinostroenii. – 2003. – #12. – S. 26–27.
3. Ogorodnikov V. A. Otsenka deformiruемости metallov pri obrabotke davleniem. / V. A. Ogorodnikov. – К.: Vischa shk., 1983. – 175 s.
4. Ogorodnikov V. A. Diagrammy plastichnosti i osobennosti ih postroeniya / V. A. Ogorodnikov, I. Yu. Kiritsa, V. I. Muzychuk // Udoskonalennyya protsesiv i obladnannya obrobki tiskom v metalurgii i mashinobuduvanni: Tematichniy zb. nauk. pr. – Kramators'k, 2006 – S. 231–255.

## ВИЗНАЧЕННЯ АЛГОРИТМА ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ СУЦІЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Анотація:** запропоновано алгоритм формування моделі суцільних матеріалів, параметри яких визначаються експериментальним побудовою кривих течії в координатах: інтенсивність напружень  $\sigma_i$  – інтенсивність деформації  $e_i$  і діаграм пластичності в координатах: накопичена інтенсивність деформації аж до моменту руйнування  $e_p$  – безрозмірний показник напруженого стану  $\eta$ , від якого істотно залежить пластичність. За результатами експериментальних випробувань матеріалу на розтяг, стиск і кручення побудовано криву течії і діаграму пластичності для сталі 20.

**Ключові слова:** модель матеріалу, крива течії, діаграма пластичності, моделювання, технологічні відмови.

## DETERMINATION OF FORMATION MODEL ALGORITHM SOLID MATERIALS

**Summari:** proposed algorithm for the formation of solid material model parameters determined by the construction of the experimental flow curves in the coordinates:  $\sigma_i$  stress intensity  $\sigma_i$  – the intensity of deformation  $e_i$  – plasticity and diagrams in the coordinates: accumulated strain intensity up to the point of destruction  $e_p$  – dimensionless measure the stress state  $\eta$ , which essentially depends on the plasticity. According to the results of experimental tests of material for tension, compression and torsion built flow curve and plasticity chart for steel 20.

**Keywords:** model material flow curve diagram plasticity modeling, technological failures.