

УДК 621.7:519.85

Солоная Е.В.

Деревенько И.А.

Федотов В.А.

Перлов В.Е.

(Вінницький національний аграрний університет)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ, ФОРМИРУЮЩИХ ПАСПОРТ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ.

*Розглядаються методики експериментального визначення механічних характеристик матеріалів, призначених для виготовлення виробів з листових матеріалів, що дозволило сформувати технологічний паспорт матеріалів.*

*Considers methodologies for the experimental determination of the mechanical characteristics of materials intended for the manufacture of sheet materials, thus allowing a technological passport materials.*

### Вступ

Метод конечных элементов является основой компьютерного моделирования процессов обработки материалов давлением и эффективным средством моделирования аварийных разрушений конструкций.

Модель материала математически описывает реакцию материала на различные воздействия. Модель материала формирует так называемый паспорт материала, включающий различные функции, отражающие поведение материала в различных условиях его деформирования – растяжение, сжатие, сдвиг, двухосное растяжение, растяжение совместно с кручением, испытание материалов в камере высокого давления и т. д. Данная работа не ставит своей задачей разработку новых моделей. Она ставит своей задачей обеспечение экспериментальными данными модели, запрограммированные к настоящему времени в наиболее широко используемых в машиностроении конечно-элементных программах, например, PamStamp/ pam Crach, Abakus, Lg-Dyna, Radios, Autoform.

В лабораториях Винницкого национального технического университета

В.А. Огородниковым и сотрудниками [1] разработаны методы экспериментального определения характеристик материалов, позволяющие определить параметры моделей. Определение параметров моделей может быть представлено следующей схемой: испытание материала → характеристики материала → параметры модели.

В данной работе рассматриваются различные виды испытаний и определение характеристик по результатам этих испытаний.

### Упрочнение

Изотропное упрочнение полностью характеризуется кривыми течения, построенными по результатам испытаний на одноосное растяжение, либо при необходимости получения кривых течения в области больших пластических деформаций – материал испытывают в условиях одноосного сжатия.

Кривые течения строят в координатах: интенсивность напряжений

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

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

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

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 упрочняющегося материала.

Если упрочнение считается кинематическим или смешанным то дополнительно к кривой течения в паспорте материала приводят параметры эффекта Баушингера. Эти параметры определяют путем испытаний на растяжение с последующим сжатием, либо сжатием с последующим растяжением. Методику построения кривых течения, особенности их построения в области больших пластических деформаций изложены в работе [3] а также в [4].

Не останавливаясь на определении интенсивности напряжений (1) и интенсивности деформаций (2) до появления шейки, когда

$$\sigma_i = \frac{P \exp(\varepsilon_i)}{F_0}, \quad (4)$$

где  $P$  – деформирующее усилие,

$$\varepsilon_i = \ln \frac{F_0}{F_i} = 2 \ln \frac{d_0}{d_i}, \quad (5)$$

$F_0, F_i, d_0, d_i$  – площади и диаметры образцов до и в процес се деформирования, остановимся на особенностях построения кривых течения при  $\varepsilon_i \geq \varepsilon_{кр}$ . Для этого испытывали цилиндрические образцы на сжатие

размерами  $h_0 = 15$  мм,  $d_0 = 10$  мм. На боковую поверхность цилиндрических образцов наносили метки алмазной пирамидой вдоль образца -  $b_0$  и

поперек -  $a_0$ . Образцы сжимали до разных степеней деформации  $\varepsilon_u = 0,002; 0,005; 0,01; 0,02; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$  вплоть до разрушения. Интенсивность деформаций рассчитывали по (5), а  $\sigma_i$  по (4). При появлении «бочкообразности» накопленную интенсивность деформаций рассчитывали по формуле

$$\bar{\varepsilon}_u = \frac{2}{\sqrt{3}} \int_0^{\delta} \sqrt{\left(\frac{d\varepsilon_x}{d\delta}\right)^2 + \frac{d\varepsilon_x d\varepsilon_y}{d\delta d\delta} + \left(\frac{d\varepsilon_y}{d\delta}\right)^2} d\delta \quad (6)$$

где  $\delta = \frac{h_0 - h}{h_0}$  – характеризует стадию деформации образца,  $h_0, h$  – высота образца до и в процессе деформации при развитой «бочкообразности» главные напряжения на боковой поверхности цилиндрического образца

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_\varphi = G(\varepsilon_\varphi - \varepsilon_x) \\ \sigma_2 &= \sigma_r = 0 \\ \sigma_3 &= \sigma_z = G(\varepsilon_z - \varepsilon_r), \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где  $G = \frac{2\sigma_u}{3\varepsilon_u}$  – секущий модуль пластичности, определенный нами по распределению твердости [1].

Зная компоненты тензора напряжений определяли  $\sigma_u$  по (1).

На рис. 1- 4 показаны кривые течения сталей 38x214ЮА (рис.1), 38x214ЮА (рис.2 после т.о.), 30x314ФА (рис.3 в состоянии поставки)

30X314ФА (рис.4 после т.о.)

Кривые аппроксимированы уравнением (3), в котором

$A=1330$  МПа,  $n= 0,26$  (сталь 38x214ЮА, поставка),

$A=1488$  МПа,  $n= 0,13$  (сталь 38x214ЮА, после т.о.),

$A=1081$  МПа,  $n=0,23$  (сталь 30х314ФА, поставка),  
 $A=1587$  МПа,  $n=0,009$  (сталь 30х314ФА, после т.о.)  
 Анизотропное упрочнение.

При кинематическом или смешанном упрочнении (анизотропное упрочнение) дополнительно в паспорт материала приводятся параметры эффекта Баушингера. Физическая суть эффекта Баушингера заключается в снижении сопротивления небольшим пластическим деформациям после предварительной пластической деформации противоположного знака. Экспериментальные данные [4,7] показывают, что упрочнение материала при растяжении снижает по абсолютной величине предел текучести при сжатии и наоборот. Это явление называют эффектом Баушингера. Вообще при пластическом деформировании металлы приобретают свойства анизотропии, иначе говоря механические характеристики первоначально изотропных металлов, например, предел текучести начинает зависеть от направления деформирования. Эффект Баушингера является следствием приобретенной анизотропии металлов.

В конечно-элементных программах используется модель Баушингера- --Шабота. Согласно этой модели приращение добавочных напряжений полностью определяется приращениями деформаций и добавочными напряжениями и не зависит от предистории деформирования. В программе «crash» используют модель Бакхауза, согласно которой приращение добавочных напряжений определяется всей предисторией пластического деформирования.

В лаборатории ВНТУ разработана методика экспериментального определения эффекта Баушингера.

Г.Б.Талыповым предлагается оценивать эффект Баушингера, например, при одноосному растяжению-сжатию по соотношению

$$\beta = \frac{\sigma_d}{\sigma(\varepsilon)}, \quad (8)$$

где  $\sigma_d$  - условная граница текучести при сжатии образца после его растяжения до деформации  $\varepsilon$ ,  $d$  - величина допуска на пластическую деформацию в %. Обычно принимают равным  $d=0,002$ .

Результаты экспериментальных исследований показывают, что параметр  $\beta$  интенсивно уменьшается при накопленной деформации  $\varepsilon \leq 0,05$ . При деформации  $\varepsilon > 0,05$  этот параметр для большинства металлов остается постоянным и равным некоторому значению  $\beta_m$ . В связи с этим его можно рассматривать как механическую характеристику металлов, которая характеризует их склонность к проявлению деформационной анизотропии.

При расчетах технологических процессов можно использовать зависимость  $\beta = \beta(\varepsilon_u)$  в виде [7]

$$\beta = 1 + (1 - \beta_m) \left[ \frac{\varepsilon_u}{0.05} - 2 \right] \frac{\varepsilon_u}{0.05}, \quad (9)$$

при  $\varepsilon_u = 0,005$

С целью определения параметра  $\beta$  изготавливают стандартные цилиндрические образцы диаметром  $d=10$  мм и длиной рабочей части

$l=100$  мм.

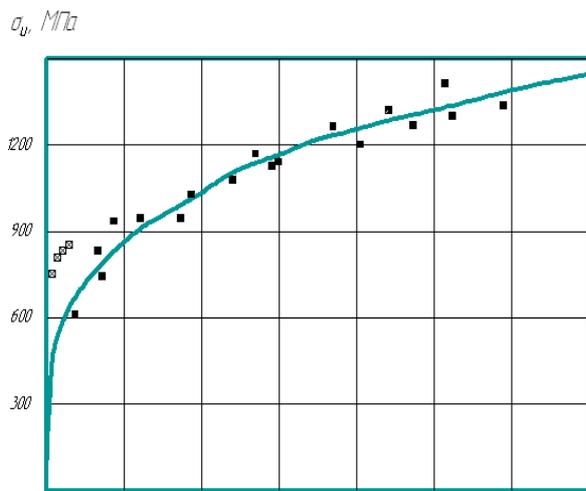
Образцы растягивают до деформаций  $\varepsilon_u=0,04; 0,1$ . Затем из предварительно растянутых образцов изготавливают цилиндрические образцы на сжатие. Высота образца  $h_0=15$  мм, диаметр  $d_0=10$ мм. Торцы образцов отвечают чистоте после токарной обработки, что позволяет удерживать смазку при осадке.

На рис.5 показано изменение параметра  $\beta$  в зависимости от степени деформации стали 30x314 ФА после т.о., а на рис. 6 стали 38x214ЮА после т.о.

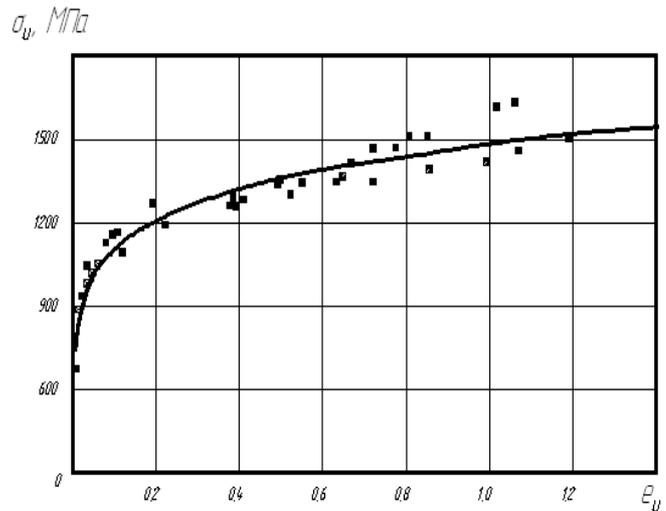
Кривые построены по результатам исследований образцов по двум методикам : сжатии предварительно растянутых образцов, а также однообразцовым способом [7]. Как показано на рис.5 начиная с деформации  $\varepsilon_i=0,1$  величина  $\beta$  становится постоянной и составляет величину  $\beta_m=0,15$ , на рис.6  $\varepsilon_i=0,15$ ;  $\beta_m=0,15$ .

С целью получения параметра без проведения трудоемких экспериментов можно воспользоваться аппроксимирующей функцией в виде [7]

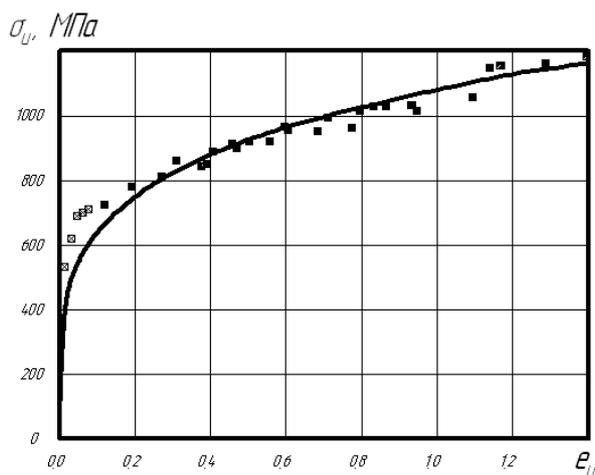
$$\beta = \beta_m + (1 - \beta_m) \exp(-100 \varepsilon_u) \quad (10)$$



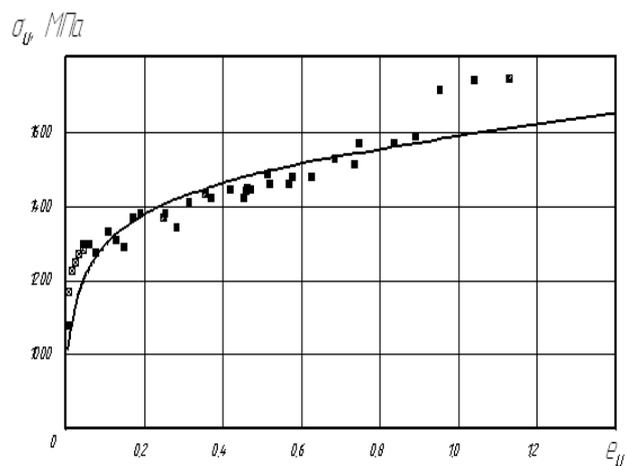
**Рис. 1. - Кривая течения стали 38X2MЮА в состоянии поставки. Вторая партия (■ - сжатие, □ - растяжение, — - аппроксимация)**



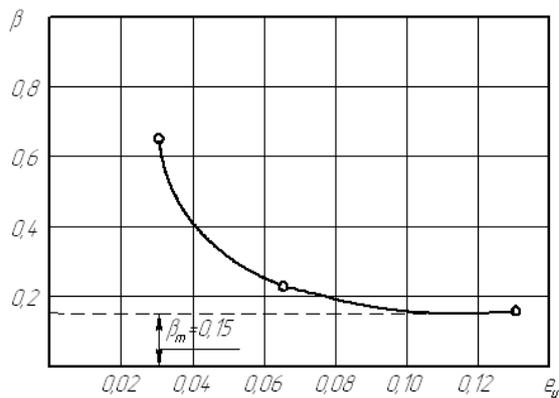
**Рис. 2. - Кривая течения стали 38X2MЮА после термообработки. Вторая партия (■ - сжатие, □ - растяжение, — - аппроксимация)**



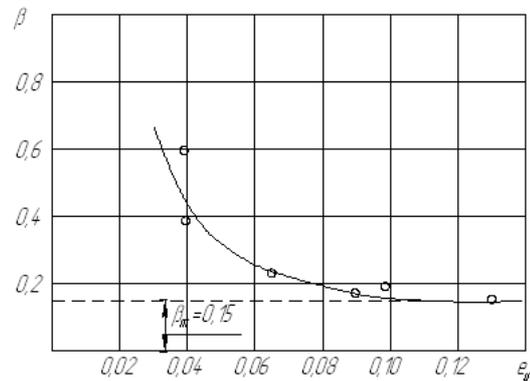
**Рис. 3. - Кривая течения стали 30X3MФА в состоянии поставки. Вторая партия (■ - сжатие, □ - растяжение, — - аппроксимация)**



**Рис. 4. - Кривая течения стали 0X3MФА после термообработки. Вторая партия (■ - сжатие, □ - растяжение, — - аппроксимация)**



**Рис. 5. - Зависимость параметра  $\beta$  от предварительной деформации растяжения  $\epsilon_{ii}$  стали 30X3MФА после термообработки.**



**Рис. 6. - Зависимость параметра  $\beta$  от предварительной деформации растяжения  $\epsilon_{ii}$  стали 30X3MФА после термообработки.**

### Выводы

1. Рассмотрены методики экспериментального определения механических характеристик материалов, предназначенных для изготовления изделий из листовых материалов, что позволило сформировать технологический паспорт материалов.
2. Получены экспериментальным путем кривые течения сталей 38X1214ЮА, 30X314 ФА в координатах интенсивность напряжений, интенсивность деформаций. Кривые аппроксимированы степенными функциями, коэффициенты аппроксимации которых могут использоваться в программах моделей материала.
3. Получены экспериментальным путем зависимости параметра Баушингера от величины предварительной деформации стали 30X314ФА. Показано, что начиная с деформаций  $\epsilon_i = 0,1 ; 0,15$  величина  $\beta$  постоянная и составляет значения  $\beta = 0,15$ .
4. Разработанные в работе методики и результаты формирования технологического паспорта материала могут быть использованы в конечно-элементных программах.

### Литература

1. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. - К.: Вища школа, 1983 - 175 с.
2. Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении – К.: УМК ВО, 1989. – 152 с.
3. Грушко О.В., Огородников В.А., Муzychuk В.И. Особенности построения кривой течения материалов на участке шейкообразования // удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорськ .: ДДМА. - 2005. - с 93-97.
4. Огородніков В.А., Муzychuk В.І., Нахайчук О.В. Механіка процесів холодного формозмінювання з однотипними схемами механізму деформації. Монографія. - Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця 2007.- 179 с.
5. Смирнов-Аляев Г.А. Механические основы пластической обработки металлов. - Л.: Машиностроение. 1978. - 368 с.
6. Елисеев В.В., Гольцев А.М., Елизаров Ю.М. Экспериментальное построение диаграмм предельных деформаций листовых материалов // Межвузовский сборник «Теория и практика машиностроительного оборудования» .- Выпуск 13 - Воронеж – 2003. –с .180 - 188.
7. Хван Д.В. Повышение эффективности в обработке металлов давлением // Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1995. – с. 224