

ев И. С. Закономерности формоизменения заготовок при поперечном выдавливании / И. С. Алиев, А. М. Калинов, К. Крюгер // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. пр. – Краматорськ, 2000.– С. 66–70.

Надійшла до редколегії 20.10.2012

УДК 621.73(035)

Критерии оценки неравномерности деформации профилированных заготовок в ресурсосберегающих технологиях штамповки / Бурко В.А. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2012. – №47(953). С. 9-14. Библиогр.: 13 назв.

У статті розглянуті проблеми вибору критерію оцінки нерівномірності деформації різних формою поковок залежно від силових умов, режимів деформації і будови металу. На основі проведеного аналізу встановлено, що кількісні показники нерівномірності деформації при гарячому осіданні заготовок з кольорових металів є невивченими.

Ключові слова: штампування, деформація, профілізація, осідання, фасонування, бочкоутворення.

In article deals with the problem of choosing the criterion of evaluation of uneven deformation of different forgings depending on security conditions, modes of deformation and metal buildings. On the basis of the carried out analysis found that quantitative indicators of uneven deformation of hot sludge preparations from nonferrous metals are unexplored.

Keywords: stamping, bending, profiling, draught, end forming.

УДК 621.77.014

А. В. ГРУШКО, канд. техн. наук, доц., ВНТУ, Вінниця

МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ

Метод эквивалентной оценки силовых характеристик процессов обработки давлением позволяет считать деформирующую силу для натурального материала на основе данных силовых характеристик для двух модельных материалов по известным кривым течения. Кривые течения в методе аппроксимированы степенной функцией по Людвигу. Проверку предложенного метода осуществляли сопоставлением с теоретическими решениями и моделирования методом конечных элементов различных процессов обработки давлением.

Ключевые слова: силовые характеристики, метод конечных элементов, модельный материал, натуральный материал, степенная функция, кривая течения.

Введение. Определение энергосиловых характеристик процессов обработки металлов давлением (ОМД) является одной из важнейших задач, связанной с выбором оборудования, расчетом на прочность инструмента и проектирования оснастки. На сегодняшний день предложено достаточно большое количество методов определения деформирующих усилий, в основе которых лежат аналитические решения – инженерные методы, линий скольжения, верхней оценки и т.д. Как правило, решения базируются на предположении идеально пластического материала и, при необходимости, с дальнейшим учетом упрочнения осредненной оценкой [1]. При исследовании процессов ОМД экспериментально-аналитическими методами, методом конечных элементов, проведением прямого эксперимента получаемые результаты, как правило, не содержат в явном виде механических характеристик, косвенно входящих в результат решения [1-4]. Т.е. результаты будут справедливы лишь для одного материала, на котором проводилось исследование. Переход на материал, с иными механическими свойствами, определяемыми кривой течения [5], требует проведения параллельных экспериментов, что естественно является существенным недостатком при таком подходе моделирования процессов ОМД.

© А. В. Грушко, 2012

Целью работы является разработка метода расчета силовых характеристик процессов ОМД для натурального материала с заданной кривой течения, на основе данных силовых характеристик для натурального материала с известной кривой течения.

Дальнейший анализ будем проводить с учетом таких предположений.

а) Рассматриваются квазимонотонные и сложные процессы нагружения материала. Эффектом Баушингера и скоростным упрочнением материала пренебрегаем.

б) Граничные, контактные условия (коэффициенты трения), форма свободной поверхности, закон движения инструмента для модельного и натурального материала одинаковы.

в) Пластические деформации существенно превышают деформацию текучести и кривая течения материала следует степенному закону (по Людвигу)

$$\sigma_i = Ae_i^n, \quad (1)$$

где A и n – эмпирические коэффициенты – модуль и показатель упрочнения материала соответственно; σ_i , e_i – интенсивность напряжений и деформаций.

Энергетический подход. Будем полагать, что энергия, затрачиваемая на трение W_f , составляет некую часть от энергии, затраченной на пластическое формоизменение W_{pl} , причем это соотношение не зависит от свойств деформируемого металла. Тогда работа внешней деформирующей силы P

$$\begin{aligned} \int_0^l P(x)dx &= \int \int_{V_{e^*}} \sigma_i de_i dV + W_f \approx q \int \int_{V_{e^*}} \sigma_i de_i dV = \\ &= q \int \int_{V_{e^*}} Ae_i^n de_i dV = q \int \frac{Ae_i^{n+1}}{n+1} dV = q \frac{A}{n+1} \int e_i^{n+1} dV, \end{aligned}$$

где l – путь, на котором выполняется работа силы $P(x)$ (ход рабочего инструмента),

V – объем тела, охваченный пластическими деформациями, $q = \frac{W_f + W_{pl}}{W_{pl}} = const(A, n)$, e^*

– интенсивность деформаций, достигаемых в произвольной точке, e_i – функция распределения интенсивности деформаций по объему тела.

Применим теорему о среднем значении интеграла

$$\int_V e_i dV = \bar{e}_i V, \quad \int_V e_i^{n+1} dV = \overline{e_i^{n+1}} V,$$

где \bar{e}_i , $\overline{e_i^{n+1}}$ – средние значения функций e_i и e_i^{n+1} по объему V .

Введем допущение, что $\overline{e_i^{n+1}} \approx \bar{e}_i^{n+1}$, или $\int_V e_i^{n+1} dV \approx \bar{e}_i^{n+1} V$. Данное соотношение

зависит от вида функции e_i , пределов интегрирования, показателя n . Для большинства реализуемых в действительности полей деформаций, встречаемых в ОМД, и значений показателей $n < 1$ погрешность данного соотношения составляет не более 6%, следовательно

$$\frac{A}{n+1} \int_V e_i^{n+1} dV = \frac{A}{n+1} \bar{e}_i^{n+1} V.$$

Также на основании теоремы о среднем $\int_0^l P(x)dx = \bar{P} \cdot l$, где \bar{P} – среднее значение

силы на ходе рабочего органа.

Допустим, что для различных материалов кривые зависимости сил от перемещения являются эквидистантными. Данное предположение хорошо согласуется с экспериментом, проведенным для различных материалов в разных условиях деформации – осадка, гибка [6], выдавливание, вытяжка с утонением стенки (рис. 1). Таким образом, среднее значение силы пропорционально максимальному усилию P_{\max} или любому текущему значению силы

$$\bar{P} = K \cdot P,$$

где K – коэффициент формы зависимости усилие-перемещение – зависит от стадии деформирования, но для различных материалов $K = const$.

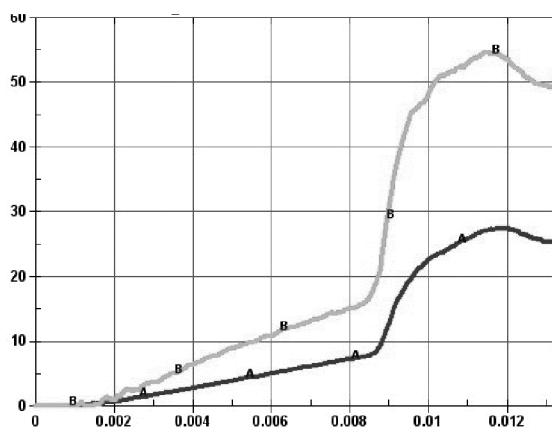


Рис. 1 – Эквидистантные кривые зависимости сила – перемещение для вытяжки с утонением для двух материалов с различными кривыми течения

Имеем $K \cdot Pl = q \frac{A}{n+1} \bar{\epsilon}_i^{n+1} V$, откуда

$$P = \frac{A}{n+1} \bar{\epsilon}_i^{n+1} q \frac{V}{K \cdot l}.$$

Воспользуемся гипотезой о слабой зависимости деформированного состояния от свойств материала [2, 4], т.е. $\bar{\epsilon}_i = const(A, n)$. Тогда, для двух натуральных материалов, свойства которых определяются коэффициентами A_1, n_1 и A_2, n_2 имеем

$$P_1 = \frac{A_1}{n_1+1} \bar{\epsilon}_i^{n_1+1} q \frac{V}{K \cdot l}, \quad P_2 = \frac{A_2}{n_2+1} \bar{\epsilon}_i^{n_2+1} q \frac{V}{K \cdot l},$$

В дальнейшем, все параметры, характеризующие натуральный материал, обозначим верхним штрихом. Параметры модельных материалов будут обозначены без штриховки. В результате преобразований, получим силу деформирования модельного материала с произвольными A, n

$$P' = P_1 \frac{A'(n_1 + 1)}{A_1(n' + 1)} \left[\frac{P_2 A_1(n_2 + 1)}{P_1 A_2(n_1 + 1)} \right]^{\frac{n' - n_1}{n_2 - n_1}}. \quad (2)$$

Моделирование полей напряжений. Воспользуемся соотношениями деформационной теории пластичности

$$\sigma_{jj} - \sigma_0 = \frac{2}{3} \frac{\sigma_i}{e_i} e_{jj}, \quad \tau_{jk} = \frac{1}{3} \frac{\sigma_i}{e_i} \gamma_{jk},$$

где σ_i , e_i – интенсивность напряжений и накопленных деформаций; σ_0 – среднее нормальное напряжение; σ_{jj} , τ_{jk} – компоненты тензора напряжений – нормальные напряжения и касательные напряжения; e_{jj} , γ_{jk} – компоненты тензора деформаций [1-3].

С учетом аппроксимации кривой течения (1)

$$\sigma_{jj} - \sigma_0 = \frac{2}{3} \frac{A e_i^n}{e_i} e_{jj} = \frac{2}{3} A e_i^{n-1} e_{jj}.$$

Деформированное состояние слабо зависит от свойств материала, следовательно, примем, что $e_i = e'_i$, $e_{jj} = e'_{jj}$, тогда для натурального материала

$$\sigma'_{jj} - \sigma'_0 = \frac{2}{3} A' e_i^{m-1} e'_{jj} = \frac{2}{3} A' e_i^{n'-1} e_{jj}. \quad (3)$$

Для нахождения σ_0 воспользуемся гипотезой о слабой зависимости показателей напряженного состояния от свойств материала [2, 4]. Примем, что данное соотношение выполняется точно $\eta = \eta'$, тогда

$$\eta = \frac{3\sigma_0}{\sigma_i} = \frac{3\sigma'_0}{\sigma'_i}.$$

Среднее нормальное напряжение для натурального материала

$$\sigma'_0 = \sigma_0 \frac{\sigma'_i}{\sigma_i} = \sigma_0 \frac{A'}{A} e_i^{n'-n} = \sigma_0 A' A^{\left(-\frac{n'}{n}\right)} \sigma_i^{\left(\frac{n'-1}{n}\right)}. \quad (4)$$

С учетом (3) и (4), компоненты тензора напряжений для натурального материала

$$\sigma'_{jk} = \sigma_{jk} \frac{A'}{A} e_i^{n'-n} = \sigma_{jk} A' A^{\left(-\frac{n'}{n}\right)} \sigma_i^{\left(\frac{n'-1}{n}\right)}, \quad (5)$$

$$\tau'_{jk} = \tau_{jk} \frac{A'}{A} e_i^{n'-n} = \tau_{jk} A' A^{\left(-\frac{n'}{n}\right)} \sigma_i^{\left(\frac{n'-1}{n}\right)}. \quad (6)$$

Таким образом, для расчета полей напряжений натурального материала необходимо знать соответствующее поле напряжений модельного материала, эпюры накопленной интенсивности напряжений и коэффициенты аппроксимации кривой течения обоих материалов.

Эпюры контактных напряжений модельного σ_K и натурального σ'_K материала также будут подобны, при одинаковых коэффициентах трения и физических законах контактного взаимодействия. Эта гипотеза подтверждается моделированием ряда процессов МКЭ – осадка, вытяжка, изгиб, выдавливание.

Контактные напряжения натурального материала, с учетом аппроксимирующей функции (1)

$$\sigma'_K = \sigma_K \frac{\sigma'_i}{\sigma_i} = \sigma_K \frac{A'}{A} e_i^{n'-n}.$$

Соотношения (3)-(6) можно также получить, исходя из теории течения

$$\sigma_{jk} - \sigma_0 = \frac{2}{3} \frac{\sigma_i}{\dot{\epsilon}_i} \dot{\epsilon}_{jk},$$

приняв, что дифференциалы (приращения) деформаций слабо зависят от свойств материала, как и конечное деформированное состояние $de_i = de'_i$, $de_{jk} = de'_{jk}$.

Пусть имеются поля контактных напряжений для двух модельных материалов, тогда

$$\sigma'_K = \sigma_{K1} \frac{A'}{A_1} e_i^{n'-n_1}, \quad \sigma_{K2} = \sigma_{K1} \frac{A_2}{A_1} e_i^{n_2-n_1},$$

из которых следует, что

$$\sigma'_K = \sigma_{K1} \frac{A'}{A_1} \left[\frac{\sigma_{K2} A_1}{\sigma_{K1} A_2} \right]^{\frac{n'-n_1}{n_2-n_1}}.$$

Предположим, что данное соотношение справедливо и для средних по контактной поверхности значений нормальных контактных напряжений, введя таким образом, гипотезу о силовом подобии

$$\frac{\bar{\sigma}'_K}{\bar{\sigma}_{K1}} = \frac{\sigma'_K}{\sigma_{K1}},$$

$$\bar{\sigma}'_K = \bar{\sigma}_{K1} \frac{A'}{A_1} \left[\frac{\bar{\sigma}_{K2} A_1}{\bar{\sigma}_{K1} A_2} \right]^{\frac{n'-n_1}{n_2-n_1}}.$$

Деформирующее усилие может быть выражено через площадь и среднее значение контактных напряжений (полагаем, что направление контактных напряжений совпадает с направлением главной деформирующей силы)

$$P = \int_F \sigma_K df = \bar{\sigma}_K F.$$

Поскольку геометрии модельной и натурной заготовок одинаковы, то $\frac{\bar{\sigma}_{K2}}{\bar{\sigma}_{K1}} = \frac{P_2}{P_1}$,

$\frac{\bar{\sigma}'_K}{\bar{\sigma}_{K1}} = \frac{P'}{P_1}$. В результате имеем

$$P' = P_1 \frac{A'}{A_1} \left[\frac{P_2 A_1}{P_1 A_2} \right]^{\frac{n'-n_1}{n_2-n_1}}. \quad (7)$$

Сравнение результатов и проверка метода. Рассмотренные подходы являются приближенными и дающими различный результат главных усилий (2), (7), зависящий от вида деформирующего процесса и заложенных в теоретические решения гипотез.

Рассмотрим частные простейшие случаи на основе известных теоретических решений для проверки предложенного метода.

а) Равномерное одноосное растяжение

При равномерном одноосном растяжении (сжатии) до одной и той же степени деформаций

$$P = \sigma_1 F = \sigma_i F = A e_i^n F,$$

где σ_1 – главное напряжение при растяжении, $\sigma_1 = \sigma_i$;

F – текущая площадь поперечного сечения растягиваемого образца.

Для натурального и модельных материалов имеем:

$$P' = A' e_i^{n'} F; \quad P_1 = A_1 e_i^{n_1} F; \quad P_2 = A_2 e_i^{n_2} F.$$

После несложных преобразований получим

$$P' = P_1 \frac{A'}{A_1} \left[\frac{P_2 A_1}{P_1 A_2} \right]^{\frac{n'-n_1}{n_2-n_1}}, \quad (8)$$

т.е. выражение, полностью соответствующее (7).

б) Пластическое кручение сплошного цилиндрического образца

При выполнении гипотезы плоский сечений (линейное распределение деформаций по радиус-вектору) и малых деформациях момент закручивания равен [3]

$$M = \frac{2\pi}{\sqrt{3}(n+3)} A r^3 \left[\frac{r}{r_y} \right]^n,$$

где r – внешний радиус заготовки r_y – радиус упругого ядра.

Момент закручивания для натурального материала, на основе предыдущих рассуждений

$$M' = M_1 \frac{A(n_1+3)}{A_1(n+3)} \left[\frac{M_2 A_1 (n_2+3)}{M_1 A_2 (n_1+3)} \right]^{\frac{n-n_1}{n_2-n_1}}. \quad (9)$$

Также, допустим существование некоторого процесса кручения, в котором распределение интенсивности накопленных деформаций по радиус-вектору нелинейно (следует степенному закону), расширив возможные варианты неравномерного распределения деформаций по сечению (рис. 2)

$$e_i = \left(\frac{\rho}{r} \right)^k \varepsilon_m,$$

где ρ – радиус-вектор, k – коэффициент аппроксимации (для общности примем, что он может изменяться в достаточно широких пределах от 0 и, к примеру, до 4), ε_m – накопленная интенсивность деформаций на поверхности круглого образца. Тогда

$$M = \frac{2\pi}{\sqrt{3}(kn+3)} Ar^3 \left[\frac{r}{r_y} \right]^{kn}.$$

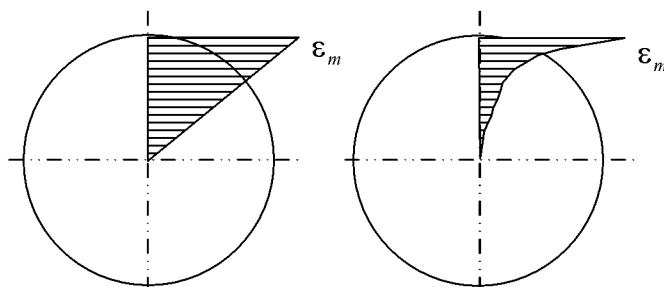


Рис. 2. – Линейное и существенно нелинейное распределение интенсивности деформаций при кручении

Окончательно, момент кручения натурального материала для случая неравномерного, степенного распределения деформаций

$$M' = M_1 \frac{A(kn_1+3)}{A_1(kn+3)} \left[\frac{M_2 A_1(kn_2+3)}{M_1 A_2(kn_1+3)} \right]^{\frac{n-n_1}{n_2-n_1}}. \quad (10)$$

в) Пластический чистый изгиб полосы прямоугольного сечения

Так же как и в случае с кручением, примем распределение интенсивности накопленных деформаций в виде степенного, расширив возможные варианты неравномерного распределения деформаций по сечению

$$e_i = \left(\frac{y}{h/2} \right)^k \varepsilon_m,$$

где y – расстояние от нейтральной линии до рассматриваемой точки, h – высота прямоугольной полосы, k – коэффициент аппроксимации.

б) Изгибающий момент

$$M = \frac{Abh^{kn+2}}{2h_y^{kn}(n+2)},$$

где b , h – размеры полосы прямоугольного сечения, h_y – высота слоя, находящегося в упругом состоянии.

В результате преобразований имеем:

$$M' = M_1 \frac{A(kn_1+2)}{A_1(kn+2)} \left[\frac{M_2 A_1(kn_2+2)}{M_1 A_2(kn_1+2)} \right]^{\frac{n-n_1}{n_2-n_1}}. \quad (11)$$

При выполнении гипотезы плоский сечений и малых деформациях показатель степени k равен 1, как при упругих деформациях, $M = \frac{Abh^{n+2}}{2h_y^n(n+2)}$ [3] и соотношение (11)

примет вид:

$$M' = M_1 \frac{A(n_1+2)}{A_1(n+2)} \left[\frac{M_2 A_1(n_2+2)}{M_1 A_2(n_1+2)} \right]^{\frac{n-n_1}{n_2-n_1}}.$$

Таким образом, рассмотренные случаи описывают как полностью равномерное распределение деформаций и напряжений (растяжение-сжатие) так и существенно неравномерное (кручение, изгиб).

Формулы (2), (7-11) отличаются составляющей, которую обозначим

$$f = \frac{kn_1 + m}{kn + m} \left[\frac{kn_2 + m}{kn_1 + m} \right]^{\frac{n-n_1}{n_2-n_1}},$$

где $m = 0, 1, 2, 3$ – коэффициент, получаемый в результате интегрирования; $0 \leq k \leq 4$ – неизвестный коэффициент аппроксимации неравномерности распределения пластических деформаций по сечению; $0,05 \leq n_i \leq 0,5$ – показатель упрочнения модельных и натурального материалов – указаны наиболее часто встречающиеся его значения.

Установлено, что для $0,05 \leq n_i \leq 0,5$, $0 \leq k \leq 4$ функция f_i принимает значения $0,97 \leq f_i \leq 1,03$, т.е., можно принять, что $f_i \approx 1$.

Таким образом, зависимости обобщенного усилия для различных процессов ОМД определяются по приближенной формуле

$$P' \approx P_1 \frac{A'}{A_1} \left[\frac{P_2 A_1}{P_1 A_2} \right]^{\frac{n'-n_1}{n_2-n_1}}, \quad (12)$$

где P_i – обобщенная деформирующая сила.

Следовательно, для получения деформирующего усилия процесса ОМД для исследуемого материала, можно взять два модельных материала с известными кривыми течения и разными показателями упрочнения. Измерить усилия на этих материалах (или провести моделирование с использованием, например, МКЭ). Усилие деформации для модельного материала с кривой течения, согласно (1) определяется на основе этих данных по выражению (12).

Проверку предложенного способа расчета усилий выполнили путем моделирования МКЭ процессов растяжения, сжатия цилиндрических образцов, осадки цилиндра перпендикулярно его оси, гибки. Задавались коэффициентами аппроксимации, согласно (1), в пределах $n = 0,1 \dots 0,5$ и $A = 500 \dots 1500$ МПа – большинство материалов, используемых в ОМД соответствуют таким коэффициентам. Ошибка расчета усилия по (12) даже при значительной экстраполяции в значениях n и A составляла на более 4%, что для определения усилий более чем достаточно.

Для большей точности моделирования следует выбирать натурные материалы с существенно отличающимися n и A (кривыми течения) таким образом, чтобы характеристики модельного материала были между ними. Например, при численных методах расчета $n_1 = 0,5$, $A_1 = 500$ МПа и $n_2 = 0,1$ и $A_2 = 1500$ МПа. Показатель $n = 0$ соответствует случаю идеально пластического материала с сильно отличающимся полем деформаций в отличие от упрочняющегося, поэтому не рекомендуется принимать один из модельных материалов со значением n меньше 0.1 во избежание неопределенной ошибки и увеличения погрешности расчета.

Если известна функция (полученная на основе экспериментальных данных или численными методами моделирования) $P_{\max 1}(x, y, z, \dots)$ для натурального материала с параметрами A_1, n_1 , то можно получить функцию $P_{\max}(x, y, z, \dots)$ для модельного материала при произвольных параметрах A, n , исходя из предположения их эквидистантности. Обобщая

также указанные рассуждения на геометрически подобные модели [1], получим зависимость деформирующей силы натурального материала

$$P_{\max}(x, y, z, \dots, A, n) = \kappa^2 P_{\max 1}(x, y, z, \dots) \frac{A}{A_1} \left[\frac{P'_{\max 2} A_1}{P'_{\max 1} A_2} \right]^{n-n_1},$$

где $P_{\max 1}(x, y, z, \dots)$ – функция деформирующих сил модельного материала с коэффициентами кривой течения A_1, n_1 ; (x, y, z, \dots) – технологические параметры; $P'_{\max 1}, P'_{\max 2}$ – силы при некотором сочетании влияющих параметров (x', y', z', \dots) для материалов с кривой течения A_1, n_1 и A_2, n_2 соответственно; $\kappa = \frac{l}{l_1} = \frac{b}{b_1} = \dots$ – масштабный коэффициент

геометрически подобной модели, где l_1, b_1 обозначены линейные параметры модели (например, толщина, радиус изгиба и пр.),

Данный подход является удобным, при использовании планирования эксперимента и поиске регрессионных зависимостей деформирующих усилий [7]. При этом количество выполненных экспериментов увеличивается минимум на 1, при существенном увеличении точности получаемых в результате значений сил, по сравнению с регрессионной моделью, если переменные A, n включать в матрицу планирования.

Выводы.

1. На основании данных о деформирующих силах и кривых течений двух материалов можно оценить силу для третьего материала кривая течения которого отлична от модельных.

2. Деформирующая сила пропорциональна модулю упрочнения, следовательно для моделирования энергосиловых параметров деформации высокопрочных материалов достаточно провести испытания для модельного материала с такой же упрочняемостью и умножить на соотношение модулей A'/A_1 .

3. Метод эквивалентной оценки является приближенным и его погрешность зависит от выполнения ряда гипотез как физических, так и математических. Однако максимальная ошибка в исследованных случаях, как равномерной так и существенно неравномерной деформации, не превысила 10%, что дает основание использовать данный метода в различных процессах ОМД. Метод ограничен использованием степенной зависимости кривой течения в виде (1). Если материалы имеют иной закон упрочнения, то необходим дополнительный анализ. В частности, приведение функции к степенному виду или аналогичному выводу предложенных зависимостей.

4. При составлении регрессионных инженерных моделей энергосиловых параметров процессов ОМД нет необходимости включать характеристики материала в матрицу планирования эксперимента, что существенно сокращает трудоемкость его проведения и повышает точность самой модели.

Список литературы: 1. *Евстратов В. А.* Теория обработки металлов давлением: Учебник для вузов по спец. "Машины и технология обраб. металлов давлением" / В. А. Евстратов: – Харьков Вища школа Изд-во при Харьк. ун-те 1981. – 248 с. 2. *Огородников В. А.* Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) : монография / Огородников В. А., Киселев В. Б., Сивак И. О. – Винница : Универсум–Винница, 2005. – С. 176–183. – ISBN 966-641-117-2. 3. *Смирнов В. С.* Теория обработки металлов давлением / В. С. Смирнов: М. : Металлургия, 1973. – 496 с. 4. *Огородников В.А.* Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении: Учеб.пособие / В.А. Огородников. – К.: УМК ВО, 1989. – 152 с. 5. *Грушко О.В.* Определение кривой течения материала по стандартным механическим характеристикам / Грушко О.В. // Вісник Національного технічного університету

України "КП". Серія: "Машиностроение" – 2010 – №60. – С. 133-137. 6. Грушко О.В. Особливості товстолистового штампування за схемою згину та зсуву / О.В. Грушко, Т.І. Молодецька // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування. – 2011. – №62. – С.193-197. 7. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.

Надійшла до редколегії 23.10.2012

УДК 621.77.014

Метод эквивалентной оценки энергосиловых параметров процессов пластического формоизменения / Грушко А. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №47(953). – С. 14–23. – Бібліогр.:7 назв.

Метод еквівалентної оцінки силових характеристик процесів обробки тиском дозволяє розрахувати деформуючу силу для натурального матеріалу на основі даних силових характеристик для двох модельних матеріалів за відомими кривими течіями. Криві течії в методі апроксимовані степеневою функцією за Людвігом. Перевірку запропонованого методу здійснювали зіпівставленням з теоретичними рішеннями і моделювання методом кінцевих елементів різних процесів обробки тиску.

Ключові слова: силові характеристики, метод кінцевих елементів, модельний матеріал, натурний матеріал, степенева функція, крива течії

The method of equivalent grade of power parameters of pressure processes allows us to calculate the pressure deforming force for natural materials based on force characteristics for the two model materials for known flow curve. The flow curves in the method are approximated with a power function by Ludwig. Verification of the proposed method was carried out by comparison with theoretical solutions and finite element modeling of various processes of pressure.

Keywords: power characteristics, finite element method, the model material, full-scale material, power function, flow curve

УДК 621.77

І. В. ГУНЬКО, канд. техн. наук, проф., проректор ВНАУ, Вінниця

ОЦІНКА ГРАНИЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ТА ДЕФОРМІВНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ФОРМУВАННІ ЗАГОТОВОК ВАЛЬЦЮВАННЯМ

Запропоновано методику визначення напружено-деформованого стану на вільній поверхні заготовки при вальцюванні. В основу методики покладено експериментально-аналітичний метод, що передбачає відновлення за експериментальними даними аналітичної залежності між компонентами логарифмічних деформацій. Побудовано узагальнену скалярну модель граничного стану матеріалу вільної поверхні заготовки при вальцюванні.

Ключові слова: вальцювання, коефіцієнт витяжки, напружено-деформований стан, вільна поверхня, показник напруженого стану, гранична деформація.

Вступ. Процес формування вальцюванням використовується переважно в якості підготовчої операції до об'ємного штампування з метою цілеспрямованого перерозподілу металу вихідної заготовки. При цьому забезпечується усунення надмірної нерівномірності деформації, неодночасного заповнення металом порожнини штампу, досягнення високої ступені деформації; виготовлення якісних штампованих виробів з високим коефіцієнтом використання металу; виготовлення складно профільованих виробів, в т.ч. з криволінійною віссю; формування сприятливої структури металу і покращення його механічних характеристик [1].

Формування заготовок здійснюється в калібрах. Абсолютні зміни вихідної висоти H_0 , ширини B_0 і довжини l_0 вальцюваної заготовки називають відповідно абсолютним обтискуванням ΔH , абсолютним потовщенням ΔB і абсолютним видовженням Δl . Відносні зміни розмірів заготовки характеризують переважно коефіцієнтом витяжки

© І. В. Гунько, 2012