

Определение пластичности металлов методом комбинированного поперечного выдавливания и высадки

к.т.н. доц. Крутина Е.В., д.т.н. проф. Калпин Ю.Г.
 Университет машиностроения
 89032273525, Ekrutina@rambler.ru

Аннотация. В статье предложена новая методика построения диаграммы пластичности с помощью способа комбинированного поперечного выдавливания и высадки. Обеспечивается однородная деформация на боковой поверхности бурта, исключается наличие сдвиговой компоненты и тензора деформации.

Ключевые слова: пластичность металлов, диаграмма пластичности, напряжение, деформация.

Пластичностью называют предельную деформацию, осуществляемую без разрушения в условиях процесса формоизменения. При холодной объемной штамповке определение пластичности является одной из важнейших задач теории обработки металлов давлением. Оценку пластичности осуществляют на основе критериев пластичности, например: энергетических, силовых, деформационных и комбинированных. Все критерии базируются на использовании диаграммы пластичности, которая отражает зависимость деформации к моменту разрушения ϵ_p от показателя напряженного состояния κ , который в свою очередь показывает отношение среднего нормального напряжения σ к интенсивности напряжений σ_i , т.е. $\kappa = \frac{\sigma}{\sigma_i}$.

Для построения диаграммы пластичности исходные образцы подвергают деформации до разрушения. При этом показатель напряженного состояния κ на протяжении всего процесса деформации остается постоянным. Чаще всего используют такие способы деформации металла, для которых требуется стандартное оборудование и минимум затрат, а именно: сжатие, растяжение и кручение. При этих испытаниях на диаграмме пластичности в диапазоне $-\frac{1}{3} \leq \kappa \leq \frac{1}{3}$ удается получить три достоверные точки [1, 5-8].

Но диапазон показателя напряженного состояния можно значительно расширить, если использовать метод испытания пластичности осадкой в фигурных бойках или поперечным выдавливанием в сужающийся канал, профиль которого выполнен по специальным зависимостям. При этом пластичность будет устанавливаться по увеличению диаметра бурта при появлении первой трещины на боковой поверхности [1, 2]. При осуществлении этого метода можно получить любое число точек на диаграмме пластичности $-\frac{1}{3} \leq \kappa \leq \frac{1}{3}$. Но на боковой поверхности бурта будет проследиваться неоднородность деформации и для каждого вида испытаний требуется изготовление сложной гравюры.

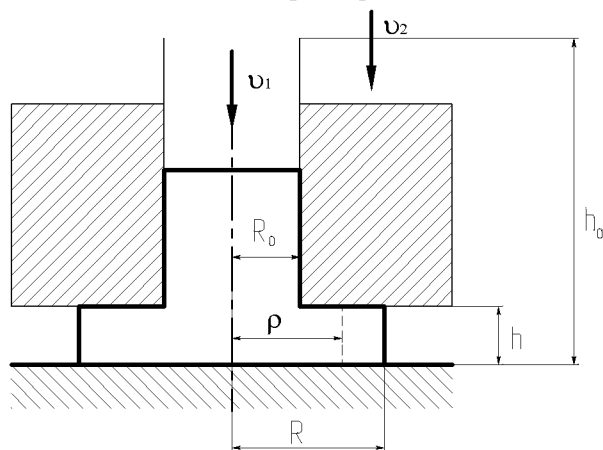


Рисунок 1 – Схема деформации

Эти недостатки метода могут быть устранены при комбинировании процесса поперечного выдавливания бурта в виде диска с плоскими торцами и осадки [1-4]. Обеспечить такой процесс можно, задавая различную скорость движения пуансона v_1 , производящего поперечное выдавливание, и подвижной полуматрицы v_2 , осаживающей фланец образца (рисунок 1).

Необходимо установить соотношения между скоростями v_1 и v_2 . Допустим, требуется провести испытания на пластичность при показателе напряженного состояния k_0 на наружной поверхности бурта. При этом $k_0 = \text{const}$ на протяжении всего процесса испытания,

$$v_1 \cdot \pi \cdot R_0^2 + v_2 \cdot \pi \cdot (R^2 - R_0^2) = 2 \cdot U_\rho \cdot h \cdot \pi \cdot R, \quad (1)$$

где: U_ρ – радиальная компонента скорости точек наружной поверхности бурта. Принято, что величина U_ρ является функцией только координаты ρ .

Отсюда:

$$U_\rho = \frac{(v_1 - v_2) \cdot R_0^2}{2 \cdot h \cdot R} + \frac{v_2 \cdot R}{2 \cdot h}. \quad (2)$$

Компоненты тензора скоростей деформации при $\rho = R$ определяются соотношениями Коши, в соответствии с которыми имеем:

$$\dot{\epsilon}_\rho = \frac{v_2}{2 \cdot h} - \frac{v_1 - v_2}{2 \cdot h} \cdot \frac{\rho_0^2}{\rho^2}, \quad (3)$$

$$\dot{\epsilon}_\theta = \frac{v_2}{2 \cdot h} + \frac{(v_1 - v_2) \cdot \rho_0^2}{2 \cdot h \cdot \rho^2}, \quad (4)$$

$$\dot{\epsilon}_z = -\frac{v_2}{h}. \quad (5)$$

Из последнего уравнения с учетом граничного условия $U_z = 0$ при $z = 0$ найдем осевую составляющую скорости $U_z = -\frac{v_2 \cdot z}{h}$.

При этом сдвиговая компонента равна:

$$\dot{\gamma}_{\rho z} = \frac{v_2 \cdot z \cdot \frac{dh}{d\rho}}{h^2} = 0, \quad (6)$$

так как при плоской контактной поверхности верхней полуматрицы $\frac{dh}{d\rho} = 0$.

Интенсивность скоростей деформации на боковой поверхности бурта равна:

$$\dot{\epsilon}_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{(\dot{\epsilon}_\rho - \dot{\epsilon}_\theta)^2 + (\dot{\epsilon}_\theta - \dot{\epsilon}_z)^2 + (\dot{\epsilon}_z - \dot{\epsilon}_\rho)^2} = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{3 \cdot M^2 + 2 \cdot N^2}, \quad (7)$$

где: $M = \frac{v_1 - v_2}{2 \cdot h} \cdot \frac{R_0^2}{R^2}$; $N = \frac{3}{2} \cdot \frac{v_2}{h}$.

Используем соотношение Леви-Мизеса $\sigma_\rho = \sigma + \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_i}{\dot{\epsilon}_i} \cdot \dot{\epsilon}_\rho$.

При $\rho = R$, $\sigma_\rho = 0$, $k_0 = -\frac{2 \cdot \dot{\epsilon}_\rho}{3 \cdot \dot{\epsilon}_i}$. Подставив в последнее уравнение значения $\dot{\epsilon}_\rho$ и $\dot{\epsilon}_i$,

получаем:

$$k_0 = -\frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \frac{(N - 3 \cdot M)}{\sqrt{3 \cdot M^2 - 2 \cdot N^2}}. \quad (8)$$

Отсюда можно найти значение скорости v_2 как функцию v_1 и k_0 :

$$x_2 = x_1 \frac{b \left[k \left(\sqrt{6k^2 + 14} - kb \right) - 2(b+1) \right]}{k^2(b^2 + 6) + 2b(b+1) + 2}, \text{ где: } b = \frac{\beta_0^2}{\beta_0}$$

В частности, если $k_0=0$, то $\varepsilon_p = 0$. Тогда:

$$\frac{v_2}{2 \cdot h} - \frac{v_1 - v_2}{2 \cdot h} \cdot \frac{R_0^2}{R^2} \text{ и } v_2 = \frac{v_1 \cdot R_0^2}{R_0^2 + R^2}. \quad (9)$$

Как видно из последней формулы, для поддержания показателя напряженного состояния постоянным в процессе деформирования, скорость v_2 должна уменьшаться с возрастанием радиуса наружной поверхности фланца R . Однако регулирование скорости v_2 удобнее осуществлять не по R , а по ходу пуансона S .

Для установления зависимости v_2 от S используем условие постоянства расхода за время dt :

$$\pi \cdot R_0^2 \cdot v_1 \cdot dt + \pi \cdot (R^2 - R_0^2) \cdot v_2 \cdot dt = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot R \cdot dR. \quad (10)$$

С учетом соотношения (10) получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{R_0^2 + R^2}{R_0^2 \cdot R} \cdot dR = \frac{v_1}{h} \cdot dt = \frac{dS}{h}. \quad (11)$$

Второе дифференциальное уравнение получаем из соотношения:

$$h = h_0 - \int_0^t v_2 \cdot dt.$$

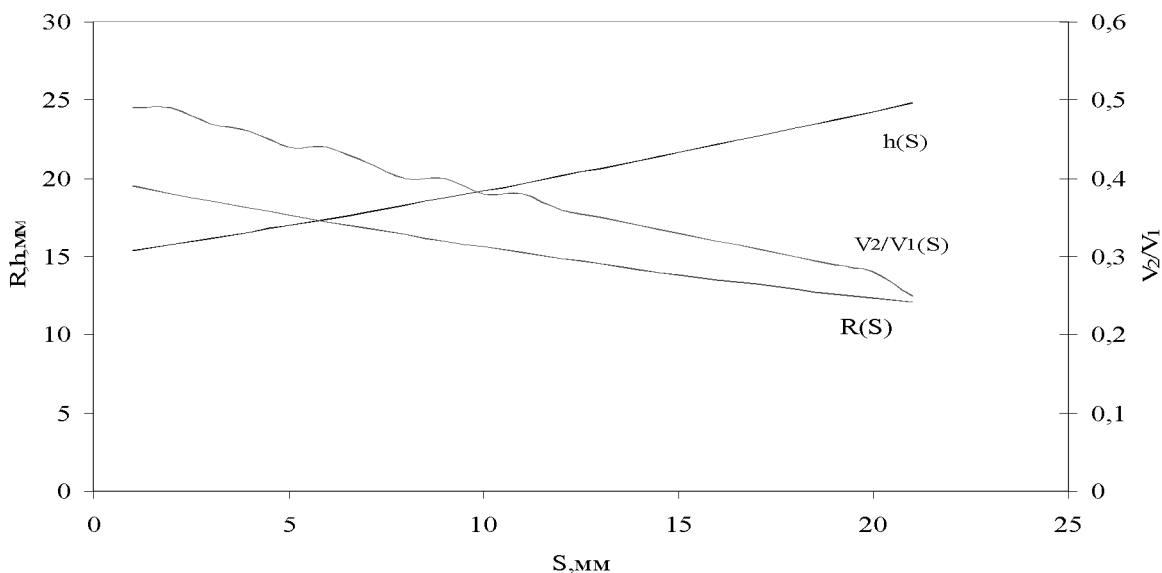


Рисунок 2 – График зависимости R , h , $V2/V1$, от хода пуансона

Отсюда:

$$dh = -v_2 \cdot dt = -\frac{R_0^2}{R_0^2 + R^2} \cdot dS. \quad (12)$$

Из системы уравнений (11) и (12), с учетом начальных условий $R = R_0$, $h = h_0$ при $S = 0$, определяем величины R , h , v_2 как функции хода S (рисунок 1).

Заключение

Получена зависимость, которая позволяет регулировать скорости движения пуансона и

матрицы и таким образом влиять на получение заданного напряженного состояния.

Литература

1. Крутина Е.В. Разработка технологических процессов холодной объемной штамповки осесимметричных деталей комбинированием поперечного выдавливания и высадки. // Дисс.канд.техн.наук. М., 2003.
2. Калпин Ю.Г., Крутина Е.В. Построение диаграммы пластичности методом комбинированного поперечного выдавливания и высадки. Сборник научных трудов «Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением». Тула: ТГУ, 2000, с. 150-154.
3. Игнатенко В.Н., Молодов А.В., Крутина Е.В. Кинематика течения металла при комбинированном радиальном и обратном выдавливании в конической матрице. Сборник трудов международной научно-технической конференции. Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) «Автомобиле и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященная 145-летию МГТУ «МАМИ», 2010.
4. Петров М.А., Петров П.А., Калпин Ю.Г. Исследование кинематики процесса радиального выдавливания с «бегущим» очагом деформации. Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. М., МГТУ «МАМИ», 2007, с. 164-168.
5. Воронцов А.Л. Анализ напряженного и кинематического состояния сплошной и трубной заготовок при радиальном выдавливании. Вестник машиностроения, 1998, № 3, с. 33-35.
6. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Никитин М.Ю., Типалина А.В. Экспериментальное исследование механических свойств демпфирующего материала. / Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. М., МГТУ «МАМИ», 2010, № 1, с. 166-170.
7. Шпунькин Н.Ф., Типалин С.А., Гладков В.А., Никитин М.Ю. Исследование обтяжки с растяжением листового материала. // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал.-М., МГТУ «МАМИ», 2008, № 1, с. 206-212.
8. Ларин С.Н., Соболев Я.А. Двухосное растяжение анизотропной листовой заготовки в режиме кратковременной ползучести. // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. Тула: Изд-во ТулГУ. 2011. Вып. 5. с. 151-160.

Особенности расчета и оптимизации сварной станины для уникальных станков

д.т.н. проф. Максимов Ю.В., к.т.н. Порхунув С.Г., Кузьминский Д.Л.
Университет машиностроения
rkb@mami.ru

Анотация. В настоящее время, когда выпуск металлорежущих станков осуществляется единичными или мелкосерийными партиями, актуальной является проблема перевода базовых деталей станков с литого на сварное исполнение. Однако отсутствие экспериментально проверенной методики, позволяющей производить расчеты и оптимизацию сварных базовых деталей станков в зависимости от условий, поставленных в каждом конкретном случае, сдерживает процесс их повсеместного внедрения в станкостроении.

Ключевые слова: базовые детали станков, сварное исполнение, методы расчета и оптимизации

Научные исследования выполнялись при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Государственного контракта № 16.740.11.0439 от 26 ноября 2010г.

Наиболее ярким примером уникального станка со сварной станиной является станок ОКШ-1436, разработанный конструкторским бюро ООО «РКБ-МАМИ» (рисунок 1). Данный станок позволяет обрабатывать детали диаметром до 1436 мм. и массой 7586 кг и состоит из сварных корпусных деталей.

К корпусным деталям относятся все так называемые базовые детали машин: станины,