

- пластического тела./ Пластическое формоизменение металлов. – М.: Наука, 1967. – С.95-104.
9. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.
10. Сосенушкин Е.Н., Третьякова Е.И., Яновская Е.А. Определение полей напряжений при пластическом деформировании элементов оболочек. /Обработка материалов давлением. Сб. научных трудов. – №1(22). – 2010. – Краматорск. – С.49 – 54.
11. Степанский Л.Г. Расчеты процессов обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1979. – 215 с.
12. Теорияковки и штамповки./ Е.П.Унксов, У.Джонсон, В.Л.Колмогоров и др./ Под общей ред. Е.П.Унксова, А.Г.Овчинникова. М.: Машиностроение, 1992. 720 с.
13. Калюжний О.В. Аналіз інженерним методом процесу обтиску з диференційованим протитиском в конічній матриці./ Обработка материалов давлением. – 2012. - №2(31). – С. 15-21.
14. Попов О.В. Изготовление цельноштампованных тонкостенных деталей переменного сечения. – М.: Машиностроение, 1974. – 120 с.

Поперечная устойчивость разностенных заготовок при обжиге в ступенчатых конических матрицах

Матафонов С.С.

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
8 (911) 243 17 94, smatafonov@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрено влияние разностенности на устойчивость трубных заготовок при обжиге в ступенчатых конических матрицах. Предложена соответствующая математическая модель, которая позволяет спрогнозировать потерю устойчивости заготовок при обжиге на стадии проектирования технологического процесса.

Ключевые слова: обжим, трубная заготовка, разностенность, потеря устойчивости, коническая матрица.

Одним из видов потери поперечной устойчивости заготовок является образование продольных складок в зоне обжимаемой кромки заготовки на участке неприлегания длиной « l » в начальной стадии процесса обжига (Рисунок 1 а, б) при малых пластических деформациях с последующим образованием продольных складок на формируемых коническом и цилиндрическом участках детали.

Этот вид потери поперечной устойчивости заготовки характерен для случая резкого изгиба краевой части заготовки при обжиге в конической матрице с радиусом кривизны ее входной части, равным нулю ($R_p M=0$) или значительно меньшим радиуса кривизны срединной поверхности заготовки в меридиональном сечении на участке неприлегания ($R_p M \ll R_p$) [1...3].

Принципиальными особенностями технологии обжига деталей из трубных заготовок или заготовок, полученных вытяжкой с утонением является:

- значительная разностенность заготовок в поперечных сечениях;
- возможно предварительное деформационное, а в некоторых случаях и термомеханическое упрочнение металла заготовок после предшествующих операций вытяжки с утонением и термических операций;
- применение конических матриц обжига составной ступенчатой конструкции формирующих не один, а несколько ОПД.

Обжим выполняется в верхней конической ступени матрицы (первая стадия процесса) с малыми углами конусности ($\alpha \leq 2^\circ 30'$) без образования участка свободного изгиба (неприлегания) при малых деформациях. Однако сопряжение верхней и нижней ступеней матрицы или двух отдельных матриц выполняется без закругленного участка при $R_p M=0$. Последнее обстоятельство при определенных условиях (малой относительной толщине стенки заготовки S_0/D_0 , большой разностенности δS и большом угле конусности нижней ступени матрицы)

может привести к потере поперечной устойчивости первого вида и складкообразованию. На рисунке 1 даны схемы второй и третьей стадии процесса обжима трубной заготовки в двухступенчатой конической матрице с образованием сопрягающей поверхности радиусом $R_{\rho 1}$ и краевой части заготовки длиной l_{kp1} - участка неприлегания.

Для определения размерных параметров $R_{\rho 1}$ и l_{kp1} , согласно схемам на рисунке 1, принимаем следующие допущения:

1) кривизна участков сопряжения «В» и неприлегания «D» заготовки формируется в результате действия моментов пластического изгиба M и моментов $M_{(\sigma_{\rho})}, M_{(\sigma_{\theta})}$, создаваемых напряжениями σ_{ρ} и σ_{θ} [3];

2) участок сопряжения «В» в меридиональном сечении расположен симметрично относительно линии разделения ступеней матрицы С-С, а длина этого участка l принимается равной:

$$l = R_{\rho 1} \sin(\alpha_1 - \alpha_2) \approx R_{\rho 1} (\alpha_1 - \alpha_2). \quad (1)$$

Параметры ρ_1, b, ρ_c определяем из геометрических соотношений (рисунок 1):

$$\begin{cases} \rho_1 = \rho_c - \frac{S}{2} \cos \alpha_1 + b \sin \alpha_1 \\ b = \left(R_{\rho 1} + \frac{S}{2} \right) \operatorname{tg} \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2} \end{cases} \quad (3)$$

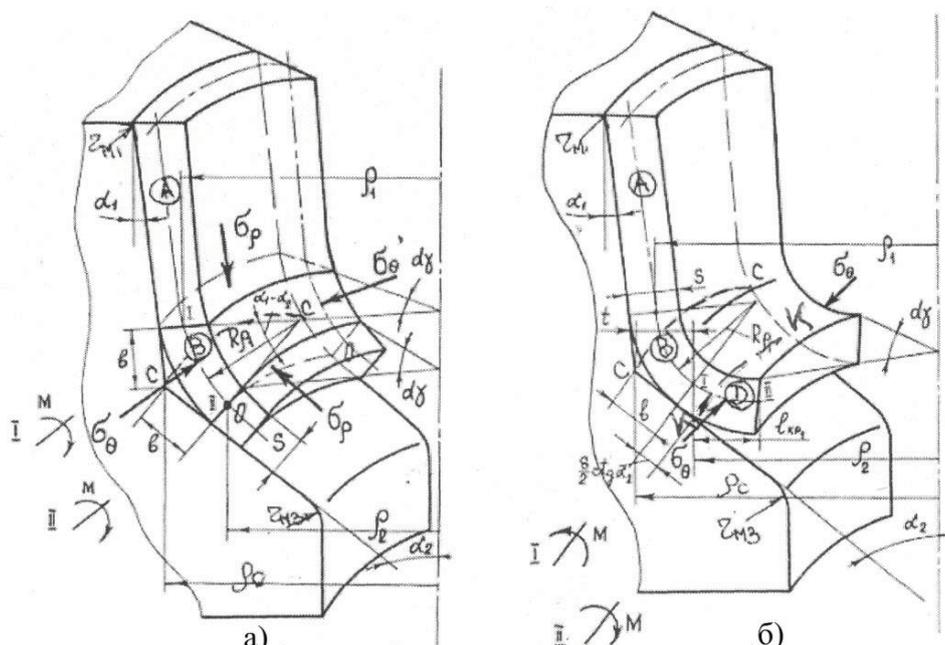


Рисунок 1. Схемы второй (а) и третьей (б) стадии процесса обжима заготовки гильзы в двухступенчатой конической матрице.

В результате совместного решения уравнений (2) и (3), при принятии допущения для краевого участка $\sigma_{\rho} \approx 0$ и несложных упрощений, получим:

$$\frac{l_{kp1}}{S} = \frac{1}{2} \left[\frac{d_c}{S} \frac{1}{\cos \alpha_2} - \frac{2 \operatorname{tg} \alpha_2}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{d_c}{S} - \cos \alpha_1 \right) - \frac{\cos \alpha_1}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Величина тангенциальной деформации ε_{θ} определяется как сумма двух составляющих:

$$\varepsilon_{\theta} = \varepsilon_{\theta 1} + \varepsilon_{\theta 2}, \quad (5)$$

где $\varepsilon_{\theta 1} = \frac{R_0^B - S_0^B}{\rho_1} - 1$ – тангенциальная деформация краевой части заготовки в верхней ступени матрицы; R_0^B, S_0^B – радиус наружной поверхности и толщина стенки заготовки в верхнем расчетном сечении, поступающей на обжим; $\varepsilon_{\theta 2}$ – дополнительная тангенциальная деформация на участке неприлегания длиной l (Рисунок 2);

$$\varepsilon_{\theta 2} = \frac{\rho_1 - \rho_d}{\rho_1} = \frac{ab + \frac{Kd}{2}}{\rho_1} \quad (6)$$

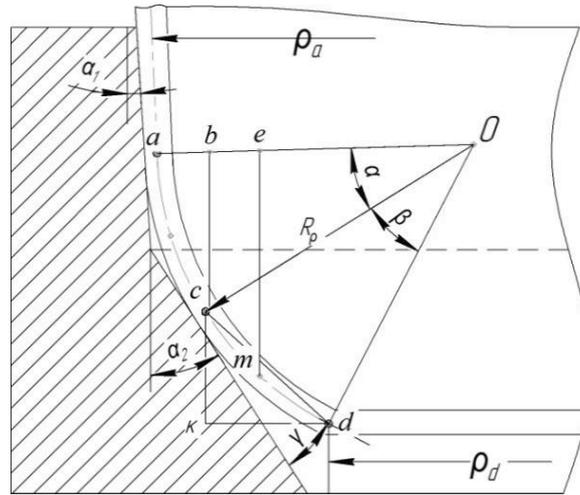


Рисунок 2. Схема к определению дополнительной деформации $\epsilon_{\theta 2}$ краевого участка заготовки.

На основании анализа геометрических соотношений размеров заготовки, согласно рисунку 2, можно приближенно принять, что при $\alpha_2 - \alpha_1 \leq 30^\circ$, $\beta = \alpha_2 - \alpha_1$, $\gamma \cong \frac{1}{2}(\alpha_2 - \alpha_1)$.

Тогда выражение (6) запишется в следующем виде:

$$\epsilon_{\theta 2} = \frac{R_{\rho 1} [1 - \cos(\alpha_2 - \alpha_1)]}{\rho_1} + \frac{l_{кр1} \sin 1,5(\alpha_2 - \alpha_1)}{2\rho_1} \quad (7)$$

Так как значение функции $\cos(\alpha_2 - \alpha_1) \cong 1$, то

$$\epsilon_{\theta 2} \cong \frac{l_{кр1} \sin 1,5(\alpha_2 - \alpha_1)}{2\rho_1} \quad (8)$$

и после подстановки значения $l_{кр1}$ из (4) в (8) получим:

$$\epsilon_{\theta 2} \cong \frac{1}{2} \frac{S}{d_c} \left[\frac{d_c}{S} - \frac{2 \operatorname{tg} \alpha_2}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{d_c}{S} - 1 \right)} - \frac{1}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)} \right]^{\frac{1}{2}} \sin 1,5(\alpha_2 - \alpha_1) \quad (9)$$

В условиях реального производства все без исключения трубные заготовки и заготовки, получаемые вытяжкой с утонением, имеют разностенность. Экспериментально установлено, что разностенность существенно снижает устойчивость заготовок в начальной стадии процесса обжима в нижней ступени матрицы с большим углом конусности α_2 . При этом образование продольной складки у разностенной заготовки всегда наступает в месте наименьшей толщины стенки S_{\min} .

Влияние разностенности на устойчивость заготовки характеризуется двумя технологическими факторами: уменьшенной относительной толщиной слабого продольного сечения $\frac{S_{\min}}{l_{кр1}}$ и соответственно неравномерными деформацией ϵ_{θ} и механическими свойствами материала в поперечном сечении.

Минимальная толщина стенки равна $S_{\min} = S_{\max} - \Delta S$, где $S_{\max} = S$ - максимальная толщина стенки, принимаемая равной ее номинальному значению; ΔS - абсолютная разностенность.

Тогда относительная разностенность определится по отношению:

$$\delta_S = \frac{\Delta S}{S} \quad (10)$$

Получаем:

$$S_{\min} = S(1 - \delta_S) \quad (11)$$

При деформации разностенной заготовки наибольшая деформация будет в продольном сечении с наименьшей толщины стенки.

Для оценки степени неравномерности распределения деформации в поперечном сечении заготовки введем коэффициент

$$K_H = \frac{\varepsilon_{\theta\max}}{\varepsilon_{\theta\min}}, \quad (12)$$

Где $\varepsilon_{\theta\min}$, $\varepsilon_{\theta\max}$ – наименьшая и наибольшая тангенциальная деформация.

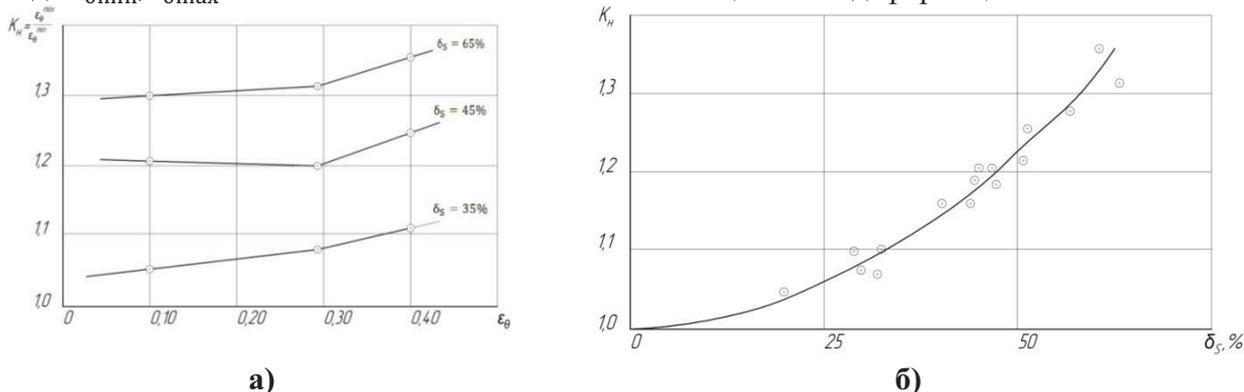


Рисунок 3. Влияние степени деформации (а) и разностенности (б) при $\varepsilon_{\theta} \cong 0,10$ на коэффициент неравномерности.

В результате выполненных экспериментов установлено влияние степени деформации ε_{θ} и разностенности на неравномерность распределения деформации в поперечном сечении обжимаемой заготовки (Рисунок 3). С увеличением степени деформации и разностенности коэффициент неравномерности деформации K_H в сечении возрастает.

На основании обработки экспериментальных данных получена эмпирическая зависимость

$$K_H = [(1 + (\varepsilon_{\theta 1} + \varepsilon_{\theta 2}))](1,35)^{\delta_s}, \quad (13)$$

позволяющая оценивать влияние технологических факторов на степень неравномерности распределения деформации в поперечном сечении разностенной заготовки.

С учетом изложенного условие устойчивости для разностенных заготовок запишется в следующем виде:

$$K_H \varepsilon_{\theta} < \varepsilon_{\theta\text{кр}}, \quad (14)$$

В условии (14) значение ε_{θ} определяется по (5), а $\varepsilon_{\theta\text{кр}} = 1,5 \left(\frac{S}{I_{\text{кр}1}}\right)^2$, но для минимальной толщины по (11).

Тогда получим:

$$\varepsilon_{\theta 1} + \varepsilon_{\theta 2} < \frac{1,5}{K_H} \left(\frac{S}{I_{\text{кр}1}}\right)^2 (1 - \delta_s)^2 \quad (15)$$

Полученная модель поперечной устойчивости заготовки первого вида позволяет оптимизировать конструкцию детали по основным конструкторско-технологическим параметрам и исключить появление отказов при функционировании по причине потери устойчивости и разрушения. Таким образом, у инженера есть возможность при проектировании технологического процесса проверить возможность появления потери устойчивости на всех операциях обжима на основании входящих значений конструктивно-технологических параметров и при необходимости оптимизировать их.

Выводы

В условиях реального производства все заготовки имеют разностенность. Это обуславливается либо особенностью изготовления трубного проката, либо технологическими особенностями предшествующих обжиму операций (чаще всего это операции вытяжки). При этом разностенность оказывает большое влияние на качество конечных штампованных деталей (заготовок). Поэтому учет влияния ряда параметров, влияющих на обжим, в том числе, и разностенности, является важным при проектировании технологических процессов обжима.

Представленная в статье математическая модель поперечной устойчивости первого вида, полученная на основе теоретических и экспериментальных исследований с учетом разностенности при обжиге в конических матрицах позволяет оптимизировать конструкцию детали по основным конструкторско-технологическим параметрам и исключить появление отка-

зов при функционировании по причине потери устойчивости и разрушения.

Литература

1. Лясников А.В., Агеев Н.П., Кузнецов Д.П., Данилин Г.А., Дриго А.В. и др. Сопротивление материалов пластическому деформированию в приложениях к процессам обработки металлов давлением. СПб.: «Внешторгиздат-Петербург», 1995. 527 с.
2. Агеев Н.П., Данилин Г.А., Огородников В.П. Технология производства патронов стрелкового оружия. Ч.2. Процессы штамповки. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т., 2006. 533 с.
3. Попов Е.А., Основы теории листовой штамповки. М.:Машиностроение, 1968. 283 с.

Феноменологический подход к определению показателя напряженного состояния для диаграммы пластичности

к.т.н. доц. Грушко А.В.

Винницкий национальный технический университет, Украина
+38-0432-59-84-65, grushko@svitonline.com

Аннотация. Предложен параметр напряженного состояния в виде суммы относительных главных напряжений с коэффициентами их влияния. Коэффициенты влияния являются механическими свойствами материала. Диаграмму пластичности при помощи данного показателя предлагается аппроксимировать экспоненциальной функцией. Проверка для различных материалов показала достаточную близость опытных точек к диаграмме пластичности. Даны рекомендации по определению коэффициентов при произвольных видах испытаний. Минимальное количество испытаний – 4.

Ключевые слова: параметр напряженного состояния, диаграмма пластичности, механические свойства материала, разрушение

Введение

Пластичность металлов зависит от ряда факторов, среди которых, кроме природы самого материала, основными являются термомеханические параметры процесса: вид напряженного состояния, температура, история деформирования и пр. Наибольшее распространение получил показатель вида напряженного состояния, характеризующий пластичность, определяется показателем жесткости напряженного состояния (относительным гидростатическим давлением) по В.А. Бабичкову в виде $\eta = c \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}$, где σ_i - интенсивность нормальных напряжений (напряжение Мизеса), c - нормировочный коэффициент; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - главные нормальные напряжения [1-3].

Считается, что пластичность металла достаточно хорошо описывается показателем η при его отрицательных значениях. Однако в положительной области для пластичных материалов наблюдается немонотонность зависимости пластичности от η , что вносит неопределенность при аппроксимации и экстраполяции экспериментальных данных. Поиск удобного показателя и функции диаграммы пластичности, отвечающие условиям монотонности, нулевой пластичности при равномерном трехосном растяжении и удовлетворительной корреляции с экспериментальными данными до сих пор является дискуссионным вопросом. Не исключено, что универсальный показатель напряженного состояния, инвариантный по отношению к механическим свойствам материала, может вообще не существовать, и для каждого материала, вообще говоря, может быть свой параметр, от которого монотонно зависит его пластичность [3, 4].

Целью работы является обоснование показателя вида напряженного состояния с учетом свойств материала при аппроксимации диаграммы пластичности монотонной функцией, поиск его констант и проверка для различных материалов и критериев деформируемости.