

УДК 621.919: 621.98.011

Кухарь В.В., Грушко А.В., Еленич Н.П.

ПРЕДЕЛЬНАЯ СТЕПЕНЬ ОСАДКИ С ПРОДОЛЬНОМ ИЗГИБОМ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОБВОДНЫХ ПАТРУБКОВ

Работа посвящена определению максимальной степени осадки с продольным изгибом трубных заготовок в технологии производства обводных патрубков, при которой в заготовках возникают критические напряжения, приводящие к искажению и овализации поперечного сечения.

Роботу присвячено визначенню максимального ступеня осаджування з поздовжнім вигином трубних заготовок у технології виробництва обвідних патрубків, при якій у заготовках виникають критичні напруги, що приводять до викривленню й овалізації поперечного перерізу.

Work is devoted a determination of maximal degree of upsetting with the longitudinal bend of pipes billets in technology of production the by-pass union couplings during which in billets there are critical stresses arise up and resulting to distortion and make oval of cross-section.

Введение

Обводные патрубки широко используются в энергетическом машиностроении, теплоэнергетическом оборудовании, промышленной арматуре, различных циркуляционных контурах, авиационной промышленности и т.д. Известны случаи их использования в устройствах для получения жидкого или газообразного топлива [1], в пищевой (винодельческой) промышленности [2], причем данными отраслями область их применения не ограничивается.

Традиционные способы гибки труб сопровождаются уменьшением площади поперечного сечения по биссектрисе угла изгиба [3], что приводит к увеличению местных сопротивлений трубопроводов.

Решения в данном направлении предложены, например, на основании использования специализированных фильер [4]. Известны способы гибки труб с применением наполнителей в виде песка или свинца [3, 5].

Указанные способы малопроизводительны и не обеспечивают полноты извлечения из трубного изделия наполнителей, летучие соединения и пары которых могут быть токсичны.

Для изготовления, например, крутоизогнутых колен используют заполнение трубной заготовки эластичной средой (резиной, полиуретаном и т.п.). При таком способе необходимо обеспечить повышенное давление наполнителя путём гофрирования заготовки с последующим раз-

глаживанием гофра [6] или выполнения концевой части проходного канала в виде последовательно расположенных сопряженных усечённых конусов [7]. Так же применяют эластичные втулки или оправки, которые обеспечивают растяжение трубных заготовок в окружном направлении, что препятствует искажению поперечного сечения [8].

Данные способы и устройства рассчитаны на деформирование стальных тонкостенных заготовок. Аналогичны технологические ограничения способов [9-11], где стеснённая трубная заготовка проталкивается через формующий канал и калибрующий дорн. Для реализации таких технологий стеснённого изгиба используется специализированное оборудование или инструмент с достаточно сложной конструкцией.

Следует отметить положительное влияние продольной сжимающей силы, в результате действия которой происходит раздача заготовки в окружном направлении, уменьшая искажение поперечного сечения по биссектрисе угла изгиба. Напряженно-деформированное состояние, соответствующее изгибу со сжатием, наблюдается и при продольном изгибе за счет потери устойчивости при осадке высоких цилиндрических заготовок [12, 13]. Возможно деформирование как в горячем, так и в холодном состоянии.

На основе данных предпосылок был предложен способ получения крутоизогнутых трубных элементов методами продольного изгиба трубных заготовок [14, 15]. Однако, не смотря на достаточную изученность авторами напряженно-деформированного состояния заготовок, геометрических отклонений размеров и остаточной пластичности металла в работах [17, 18], предельные значения такого технологического фактора, как степень осадки, ограничиваемая браковочными признаками, не выяснена.

Целью настоящей работы является установление величин предельных степеней осадки с продольным изгибом трубных заготовок в зависимости от особенностей их формоизменения под влиянием таких факторов, как относительные геометрические размеры и материал заготовки.

Осадку с продольным изгибом цилиндрической трубной заготовки проводят в гладких параллельных плитах. Степень осадки трубы определяют из выражения:

$$\varepsilon_y = \frac{L_0 - H_k}{L_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где L_0 – длина (высота) трубной заготовки; H_k – конечная высота заготовки после осадки.

Формоизменение условно можно разделить на две стадии: первоначальная, когда труба осаживается без изгиба, и основная, реали-

зубаемая за счет потери устойчивости заготовки, находящейся в пластическом состоянии. Вторая стадия сопровождается характерным изгибом оси с продолжающимся её укорочением (рис. 1).

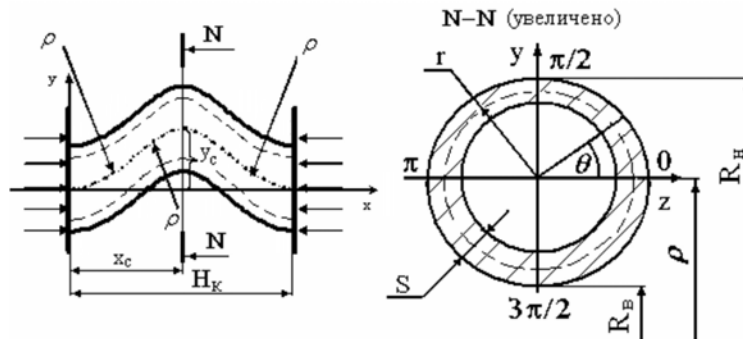


Рисунок 1 – Схема осадки трубной заготовки: ρ и S – соответственно радиусы кривизны и толщина стенки трубы после деформации; H_k – конечная высота осаженой трубной заготовки; $x_c = H_k/2$ – для симметричного прогиба; y_c – прогиб заготовки по средней линии; r – окружной радиус срединной поверхности трубы; R_v и R_n – внутренний и наружный радиусы кривизны изогнутой трубной заготовки соответственно; θ – угол, определяющий положение материальной точки в сечении трубы

Укорочение оси представляет собой величину:

$$\delta = \frac{L_0 - L_k}{L_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где L_0 и L_k – начальная высота трубной заготовки и длина её изогнутой оси после осадки соответственно.

Окончанием второй стадии следует считать появление овализации поперечного сечения при больших степенях осадки, смятия стенок трубы или гофрообразования, т.е. проявление потери устойчивости второго рода, (браковочные признаки).

Предварительно проведенные эксперименты по холодной осадке стальных (Сталь 3), медных (М1), латунных (Л98) и свинцовых (ССу) образцов показали, что в первом приближении должны выполняться следующие условия, связанные с осуществимостью процесса $L_0/D_0 = 3,3 \div 6,2$ и $S_0/D_0 \geq 0,17$, где D_0 и S_0 – начальные диаметр и толщина заготовки соответственно. Это связано с тем, что при $S_0/D_0 < 0,17$ первая стадия осадки заготовки слишком мала и потеря устойчивости второго рода наступает сразу в начале основной стадии при малых степенях осадки. Заготовки с $L_0/D_0 < 3,3$ после осадки не получают требуемой изогнутой формы, а заготовки с $L_0/D_0 > 6,2$ при изгибе не увеличивают поперечное сечение по биссектрисе прогиба (сечение NN по рис.1). Именно увеличение проходного сечения в месте изгиба тру-

бы позволяет получать патрубки с пониженным гидравлическим сопротивлением [14, 15, 17].

При анализе процесса принимали следующие допущения:

- кривая течения материала заготовки при холодной деформации аппроксимируется степенной зависимостью вида $\sigma_i = A e_i^n$, где σ_i – интенсивность напряжений; e_i – интенсивность логарифмических деформаций; n – показатель упрочнения материала;
- полагаем, что материал изотропный;
- процесс монотонный (наиболее грубое допущение для зон, которые в первой стадии осаживаются, а во второй подвержены растягивающим осевым напряжениям);
- считаем оболочку (изгибающуюся заготовку) безмоментной, соответственно, в пластической области реализуется плоское напряженное состояние с главными нормальными напряжениями в поперечном (σ_α) и меридиональном (σ_θ) сечениях трубы, касательное напряжение $\tau_{\alpha\theta} = 0$;
- по всей длине заготовки справедлива гипотеза плоских сечений;
- гофрообразование, овализация, смятие и прочие геометрические отклонения возникают при превышении напряжениями σ_α и σ_θ некоторой критической величины.

В результате рассмотрения напряженно-деформированного состояния трубной заготовки, осаживаемой с продольным изгибом, ранее, в работах [16, 17], были получены уравнения для расчета главных нормальных напряжений в поперечном (σ_α) и меридиональном (σ_θ) сечениях трубы:

$$\sigma_\alpha = A e_\alpha^n 2^n \left(2 + \frac{r}{r + \rho / \sin \theta} \right)^{-n} \left[1 + \frac{r}{r + \rho / \sin \theta} + \left(\frac{r}{r + \rho / \sin \theta} \right)^2 \right]^{0,5n-0,5}; \quad (3)$$

$$\sigma_\theta = -\sigma_\alpha \frac{r}{\rho + r \sin \theta}, \quad (4)$$

где $e_\alpha = \ln \frac{1 + (r \sin \theta) / \rho}{1 + \delta / (1 + 1)}$ – продольные логарифмические деформации в поперечном сечении.

Единого критерия для выявления условий появления браковочных признаков по потере устойчивости второго рода не выявлено. При различных процессах листовой штамповки ориентируются на технологические задачи, при этом предельные соотношения первоначальных размеров заготовок определены эмпирическим путём [19]. В нашем случае удобно воспользоваться критерием устойчивого протекания процесса деформации без образования гофр, который приведен в работе [20]:

$$\sigma_{\alpha} \leq 0,8\sigma_m; \quad \sigma_{\theta} \leq 0,8\sigma_m, \quad (5)$$

где σ_m - предел текучести материала заготовки.

Условие (5) было введено в расчетный модуль, составленный в пакете MathCAD по результатам работ [16, 17]. Расчеты проводили для данных эксперимента по холодной осадке латунных (Л98, $\sigma_m = 585$ МПа) заготовок $D_0 = 14$ мм, $L_0 = 56; 70$ и 84 мм ($L_0/D_0 = 4,0; 5,0$ и $6,0$ соответственно), при толщинах стенки $S_0 = 2,5$ и $4,0$ мм ($S_0/D_0 = 0,18$ и $0,29$ соответственно).

Для вычисления укорочения оси в программе в первом приближении использовалась формула, инвариантная к материалу и относительной толщине стенки трубной заготовки:

$$\delta = k_{\delta} \left(1,716 - 0,263 \cdot \frac{L_0}{D_0} \right) \cdot \varepsilon_y, \quad (6)$$

где $k_{\delta} = 1 \div 2$, причем значения, близкие к 1 принимались для более толстостенных заготовок из пластичных материалов при больших степенях осадки, а значения, близкие к 2 принимались для тонкостенных заготовок из менее пластичных материалов при не больших степенях осадки.

На рис. 2 приведены рассчитанные значения предельных степеней осадки ($\varepsilon_{y,кр}$) по условию появления потери устойчивости второго рода, а так же описание кривых аппроксимирующими уравнениями для заготовок с различными относительными толщинами стенок: $\varepsilon_{y,кр(018)}$ и $\varepsilon_{y,кр(029)}$ - для заготовок с $S_0/D_0 = 0,18$ и $0,29$ соответственно. Достоверность аппроксимации оценивали коэффициентом детерминации R^2 , который при использовании полиномов второго порядка принимает удовлетворительные значения, близкие к единице.

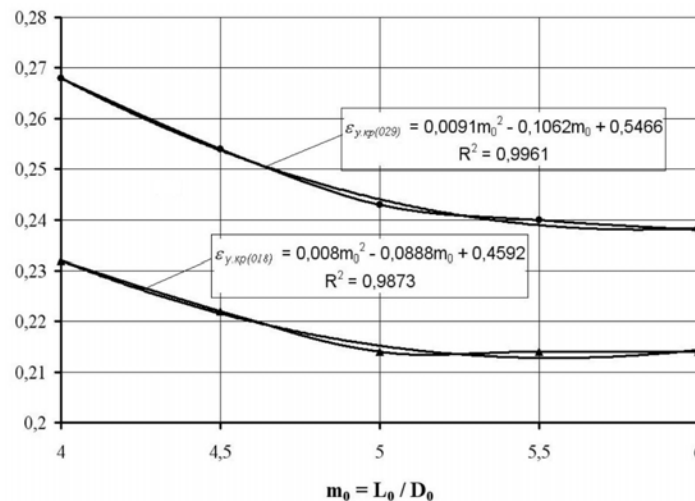


Рисунок 2 - Критические степени деформации при продольном изгибе трубных латунных (Л98) заготовок

В результате обработки полученных данных, при предположении линейной зависимости параметров формоизменения от величин относительной толщины стенки, получили выражения для вычисления предельных степеней осадки с продольным изгибом трубных заготовок:

$$\varepsilon_{y,kr} = A \cdot m_0^2 + B \cdot m_0 + C, \quad (7)$$

где $A = 0,01 \cdot \frac{S_0}{D_0} + 0,0062$; $B = -0,1582 \cdot \frac{S_0}{D_0} - 0,0603$; $C = 0,7945 \cdot \frac{S_0}{D_0} + 0,3163$.

Данная методика может быть использована для расчета предельных степеней осадки трубных заготовок с продольным изгибом из различных материалов.

Выводы

Разработан принцип ограничения предельных степеней осадки с продольным изгибом трубных заготовок, учитывающий критерий возникновения в поперечном сечении критических напряжений, при которых реализуется потеря устойчивости второго рода (искажение, овализация проходного сечения, гофрообразование и т.п.). Первоочередное влияние на величину $\varepsilon_{y,kr}$ оказывают геометрические размеры и свойства материала заготовок.

Перспективой исследований в данном направлении является уточнение величин укорочения оси δ (на которые так же влияют материал и относительные геометрические размеры заготовок) с привлечением методов планирования эксперимента и систем анализа данных, что существенно повысит точность математических моделей для расчета напряженно-деформированного состояния трубных заготовок при продольном изгибе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2203922 (RU) МПК7 В01F 7/00, С 10 G 7/06. Способ и установка для переработки влагосодержащего органического вещества в жидкое и газообразное топливо.
2. Патент РФ № 2236445 (RU) МПК 7С 12 G 1/02. Устройство для экстрагирования мезги и отделения суслу.
3. Малов А.Н. Технология холодной штамповки. – М.: Машиностроение, 1978. – 374 с.
4. Ершов А.Г. Формообразование патрубков из труб изгибом, вталкиванием в фильеру с внутренним давлением // Кузнечно-штамповочное производство. – 1974. - №7. – С. 23-26.
5. А.с. 1296262 СССР, МКИ4 В 21 D 9/15. Способ гибки труб.
6. А.с. 1310068 СССР, МКИ4 В 21 D 9/15. Способ изготовления крутоизогнутых колен.
7. А.с. 1255241 СССР, МКИ4 В 21 D 9/15. Устройство для гибки труб.

8. А.с. 1433546 СССР, МКИ4 В 21 D 9/01. Устройство для гибки трубных заготовок.
9. Розенберг О.А., Мельниченко В.В., Студенец С.Ф. Новая технология получения крутоизогнутых стальных отводов методом холодного пластического деформирования // Известия АИН Украины: Спец. выпуск отделения «Тяжелое и транспортное машиностроение». – 1998. – С. 96-102.
10. Формообразование крутоизогнутых отводов изгибом протягиваемой трубы // Розенберг О.А., Огородников В.А., Грушко А.В. и др. Монография. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 140 с.
11. Огородников В.А., Грушко А.В. Моделирование процесса формообразования крутоизогнутых отводов на основе теории деформируемости // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Зб.наук.праць. – Краматорськ, 2000. – С. 5 - 10.
12. Диамантопуло К.К., Кухарь В.В. Исследование осадки с потерей устойчивости заготовки для приближения её формы к форме поковки // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії: Зб.наук.праць. – Краматорськ, ДДМА, 1999. – С. 71 - 74.
13. Пат. 34699 А Україна, МПК7 В 21К 1/08, В 21К 1/12. Спосіб виготовлення вісесиметричних поковок з відростками.
14. Кухарь В.В., Грушко А.В. Получение обводных патрубков с минимальным гидравлическим сопротивлением. Вестник Приазовского государственного технического университета. Вып. 15. – Мариуполь. – 2005. – С. 109 -112.
15. Декл. пат. 11205 Україна, МПК7 В 21 D 9/15. Спосіб одержання крутозігнутих трубних елементів.
16. Грушко А.В., Кухарь В.В. Деформируемость обводных патрубков в процессе их формоизменения продольным изгибом // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії: Зб.наук.пр. Краматорськ. – ДДМА. – 2006. – С. 335-339.
17. Еленич Н.П., Грушко А.В., Кухарь В.В. Напряженно-деформированное состояние трубчатых заготовок в условиях их пластического продольного изгиба // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Зб.наук.пр. Краматорськ. – ДДМА. – 2007. – С. 163-168.