Об обжиге особотонкостенных трубных заготовок

03, март 2013

DOI: 10.7463/0313.0542068

Шишкин А. А.

УДК 621.7.04

МАТИ – Российский государственный технологический университет
им. К.Э. Циолковского

hewa@inbox.ru

Введение

Операция обжига труб широко применяется для изготовления цельноштампованных переходников, тяг управления, а так же герметичных оболочек баллонов высокого давления. Основным преимуществом цельноштампованных деталей являются более выгодные ресурсные и весовые характеристики по сравнению со сварными аналогами.

Наиболее широко применяемый способ обжига - обжим осевым усилием по жесткой матрице, приложенным к торцу заготовки (рисунок 1). Основные проблемы в практическом применении данного способа связаны с явлением потери устойчивости деформируемой заготовки [1].

Рисунок 1 – Схема обжима трубной заготовки осевым усилием по жесткой матрице

В настоящее время хорошо изучен процесс обжима толстостенных цилиндрических заготовок (с отношением толщины стенки к диаметру трубы $S/D > 2-3 \%$). Ограничивающим фактором в данном случае является осевая потеря устойчивости заготовки в зоне передачи усилия. На данный момент существуют различные способы интенсификации процесса обжима, позволяющие предотвратить данное явление [2].

При обжиме тонкостенных труб ($S/D < 2-3 \%$) основным ограничивающим фактором является окружная потеря устойчивости в очаге деформации в виде образования продольного гофра. Существующие способы интенсификации позволяют частично избавиться от данной проблемы [3, 4].

В случае обжима особотонкостенных труб ($S/D < 0.5 \%$) устойчивость заготовки настолько мала, что даже небольшое усилие на торце заготовки практически сразу приводит к осевой потере устойчивости. При этом сохраняется и склонность заготовки к окружной потере устойчивости. В связи с этим целесообразно выполнять обжим, прикладывая усилие к кромке заготовки посредством технологической вставки (рисунок 2). Таким образом, предотвращаются оба вида потери устойчивости заготовки.

На данный момент в литературе не описана методика расчета приведенного способа обжима. Основной целью настоящей работы является теоретическое исследование данного процесса.

Рисунок 2 – Расчетная схема обжима тонкостенной трубы осевым усилием, приложенным к кромке заготовки

1 Теоретическое исследование обжима с технологической вставкой

В связи со сложностью и многокомпонентностью данного процесса использован приближенный инженерный метод расчета [5-7].

Основные допущения:

- напряженное состояние плоское;
- упрочнение отсутствует, $\sigma_s = \text{const}$;
- процесс условно монотонный.

Исходные уравнения:

– уравнение равновесия элемента заготовки в очаге деформации при осесимметричном деформировании с наличием трения на контактной поверхности

$$\rho \frac{d\sigma_m}{d\rho} + \sigma_m - \sigma_\theta - \mu \sigma_n \frac{\rho}{S \sin \alpha} = 0; \quad (1)$$

– уравнение Лапласа из безмоментной теории оболочек

$$\frac{\sigma_n}{S} - \frac{\sigma_m}{R_m} - \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} = 0. \quad (2)$$

1.2 Процесс деформирования тонкой заготовки

Считаем, что нормальные напряжения в данном случае создаются только технологической вставкой. Тогда, выразив из уравнения Лапласа контактные напряжения σ_n (при условии $R_m = \infty$ и $R_\theta = \rho / \cos \alpha$ для конической матрицы) и подставив результат в выражение (1), учитывая приближенное условие пластичности для обжима, получим уравнение равновесия с учетом сил контактного трения:

$$\rho \frac{d\sigma_m}{d\rho} + \sigma_m - \sigma_\theta + \frac{\sigma_{SB} S_{0B}}{\operatorname{tg} \alpha S_0} (\mu_1 - \mu_2) = 0 \quad (3)$$

Здесь ρ – текущий радиус заготовки; α – угол между осью симметрии и образующей матрицы; σ_θ , σ_m – соответственно окружные и меридиональные напряжения; σ_{S3} – напряжение текучести тонкостенной заготовки; σ_{SB} – напряжение текучести технологической вставки; μ_1 – коэффициент трения между заготовкой и матрицей; μ_2 – коэффициент трения между заготовкой и технологической вставкой; S_0 , S_{0B} – соответственно начальные толщины заготовки и вставки.

Приближенное условие пластичности в данном случае будет иметь вид

$$\sigma_\theta = \sigma_m - \sigma_{S3}. \quad (4)$$

Для учета влияния трения на процесс обжима особотонкостенной заготовки с технологической вставкой определяющим фактором будет не порядок значений коэффициентов трения, а разница между ними $\Delta\mu = \mu_1 - \mu_2$.

Выполняя совместное решение уравнений (3, 4) и интегрируя с отдельными переменными согласно граничным условиям (при $\rho = R_0$ у основания заготовки $\sigma_m = 0$) получим уравнение для расчета меридиональных напряжений

$$\sigma_m = \ln \frac{R_0}{\rho} \left(\sigma_{s3} + \Delta\mu \frac{\sigma_{sB} S_{0B}}{\operatorname{tg} \alpha \cdot S_0} \right), \quad (5)$$

где R_0 – исходный радиус заготовки.

Необходимо отметить, что в связи с принятым условием пластичности выражение (5) будет иметь действительные решения только при таких значениях $\Delta\mu$, при которых меридиональные напряжения σ_m будут оставаться положительными.

Толщина стенки на текущем участке заготовки определяется по формуле

$$S = S_0 \left(\frac{\rho}{R_0} \right)^{\frac{\sigma_m + \sigma_\theta}{\sigma_m - 2\sigma_\theta}}, \quad (8)$$

где S_0 – исходная толщина заготовки.

При значении $|\sigma_m| > \sigma_s$ произойдет отрыв кромки тонкостенной заготовки.

1.2 Деформирование технологической вставки

На рисунке 3 изображена схема деформирования технологической вставки, в данном случае это обжим осевым усилием толстостенной трубной заготовки с подпором кромки.

Рисунок 3 – Расчетная схема деформирования технологической вставки

Уравнение равновесия с учетом контактного трения между вставкой и тонкостенной заготовкой имеет вид

$$\rho \frac{d\sigma_{mB}}{d\rho} + \sigma_{mB} - \sigma_{\theta B} - \frac{\mu_2 \sigma_{SB}}{\operatorname{tg} \alpha} = 0, \quad (9)$$

а приближенное условие пластичности – вид

$$\sigma_{\theta B} = -\sigma_{SB}. \quad (10)$$

В результате совместного решения уравнений (9, 10) и интегрирования с отдельными переменными согласно граничным условиям (при $\rho = R_{кр}$ на кромке заготовки $\sigma_{mB} = \sigma_m^*$) получим уравнение для расчета меридиональных напряжений:

$$\sigma_{mB} = -\sigma_{SB} \left(1 + \frac{\mu_2}{\operatorname{tg} \alpha} \right) + \frac{R_{кр}}{\rho} \left(\sigma_m^* + \sigma_{SB} \left(1 + \frac{\mu_2}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \right). \quad (11)$$

Здесь $R_{кр}$ – радиус на кромке заготовки, $\sigma_m^* = \sigma_m (S_0 / S_{B0})$ – напряжение подпора, создаваемое тонкостенной заготовкой.

Толщина стенки на текущем участке технологической вставки определяется по формуле

$$S_B = S_{B0} \left(\frac{\rho}{R_0} \right)^{\frac{\sigma_{mB} + \sigma_{\theta B}}{\sigma_{mB} - 2\sigma_{\theta B}}}. \quad (13)$$

Момент осевой потери устойчивости технологической вставки определяется выражением $|\sigma_{\text{мв}}| > \sigma_{\text{Т}}$, где $\sigma_{\text{Т}}$ – предел текучести материала вставки.

Полученные выражения могут быть применены для расчета обжима по сферической матрице, при этом необходимо использовать осредненное значение параметра $\frac{\mu}{\text{tg}\alpha}$ для учета контактного трения.

2 Экспериментальная проверка теоретических расчетов

Эксперименты по обжиму осеботонкостенных труб проведены в матрице со сферической образующей. Для деформирования использованы заготовки из материала АМг3М диаметром $D=52$ мм и толщиной стенки $S=0,11$ мм, технологическая вставка – труба $\varnothing 52 \times 2$ из материала АМг6М. Обжим выполнен до начала осевой потери устойчивости технологической вставки. Диаметр кромки после обжима составил 35 мм.

На рисунке 4 приведены результаты расчетов и экспериментальные точки по распределению толщины детали по образующей матрицы. В расчете принято осредненное значение угла образующей матрицы $\alpha = 20^\circ$. В связи со сложностью оценки величины коэффициентов трения расчет выполнялся для различных значений этого коэффициента. Наиболее близкие к экспериментальным данным результаты показал расчет с разницей коэффициентов трения $\Delta\mu = -0,01$.

___ расчет со значением $\Delta\mu = -0,01$; _ _ _ расчет со значением $\Delta\mu = 0$;

..... расчет со значением $\Delta\mu = 0,01$; ■ экспериментальные точки

Рисунок 4 – Распределение толщины заготовки по образующей матрицы при обжиге

На рисунке 5 представлены расчетные графики распределения толщины технологической вставки по образующей матрицы и экспериментальные точки. При расчете с различными коэффициентами трения распределения толщин практически совпали.

При расчете напряженно-деформированного состояния технологической вставки расчетные значения толщин оказались несколько ниже экспериментальных, вероятно это связано с тем, что в расчете не был учтен подпор, создаваемый огибающей кромку частью тонкостенной заготовки (рис. 2). По тем же причинам расчетные значения меридиональных напряжений σ_{mB} на вставке оказались немного ниже предела текучести материала σ_T .

— расчет со значением $\mu_2 = 0,1$; ■ экспериментальные точки

Рисунок 5 – Распределения толщины технологической вставки по образующей матрицы

Заключение

В результате проведенной работы исследован способ обжима особотонкостенных трубных заготовок, получены математические зависимости для расчета напряженно-деформированного состояния данного процесса, которые удовлетворительно согласуются с результатами эксперимента. Определена степень влияния сил контактного трения в данном процессе.

Список литературы

1. Пашкевич А.Г., Орехов А.В. Гофрообразование при обжиге тонкостенных оболочек осевым усилием деформирования // Известия вузов. Машиностроение. 1978. № 2. С. 122-126.

2. Пашкевич А.Г., Глазков В.И., Ершов В.И., Каширин М.Ф. Интенсификация процесса обжима полых цилиндрических заготовок // Кузнечно-штамповочное производство. 1976. № 3. С. 36-39.
3. Горбунов М.Н., Пашкевич А.Г., Каширин М.Ф., Орехов А.В. Предотвращение гофрообразования при обжиме тонкостенных цилиндрических оболочек // Кузнечно-штамповочное производство. 1977. № 1. С. 18-20.
4. Шишкин А.А. Методы предотвращения потери устойчивости при обжиме тонкостенных труб // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. Сборник трудов к 70-летию кафедры «Технология производства летательных аппаратов». Москва, 2010. С. 43-44.
5. Ершов В.И., Попов О.В., Чумадин А.С. и др. Листовая штамповка. Расчет технологических параметров: Справочник. М.: Изд-во МАИ, 1999. 516 с.
6. Основы авиа- и ракетостроения: учеб. пособие для вузов / А.С. Чумадин, В.И. Ершов, К.А. Макаров и др. М.: Инфра-М, 2008. 992 с.
7. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1977. 424 с.

Swaging of extremely thin-walled pipe shells

03, March 2013

DOI: 10.7463/0313.0542068

Shishkin A.A.

«MATI» - Russian State Technological University
hewa@inbox.ru

This article covers problems relative to reduction of extremely thin-walled pipe shells in a rigid die with the use of a tooling shell. This problem was solved by an engineering method of prediction based on the stress equilibrium equation, approximate plasticity condition and the Laplace equation of momentless theory of shells. For calculation of this process, mathematical expressions were obtained and verified experimentally. Experimental researches were conducted with the use of tube shells made of aluminum alloys. It was found that contact friction between an extremely thin-walled shell and a tooling shell influence the process.

Publications with keywords: [thin-walled workpiece](#), [redaction of tube](#), [loss of stability](#)

Publications with words: [thin-walled workpiece](#), [redaction of tube](#), [loss of stability](#)

References

1. Pashkevich A.G., Orehov A.V. Gofroobrazovanie pri obzhime tonkostennyh obolochek oseвым usiliem deformirovaniya [The formation of corrugations in crimping of thin-walled shell by using axial effort of deformation]. *Izvestija vuzov. Mashinostroenie*, 1978, no. 2, pp. 122-126.
2. Pashkevich A.G., Glazkov V.I., Ershov V.I., Kashirin M.F. Intensifikacija processa obzhima polyh cilindricheskih zagotovok [Intensification of process of crimping of hollow cylindrical workpieces]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo* [Forging and stamping production], 1976, no. 3, pp. 36-39.
3. Gorbunov M.N., Pashkevich A.G., Kashirin M.F., Orehov A.V. Predotvrashhenie gofroobrazovaniya pri obzhime tonkostennyh cilindricheskih obolochek [Preventing the formation of corrugations at crimping of thin-walled cylindrical shells]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo* [Forging and stamping production], 1977, no. 1, pp. 18-20.

4. Shishkin A.A. Metody predotvrashhenija poteri ustojchivosti pri obzhime tonkostennyh trub [Methods of preventing the loss of stability in crimping of thin-walled pipes]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. Sbornik trudov k 70-letiju kafedry «Tehnologija proizvodstva letatel'nyh apparatov»* [Forging and stamping production. Processing of materials by pressure. The collection of works of the 70-th anniversary of the Department «Technology of production of aircraft»]. Moscow , 2010, pp. 43-44.
5. Ershov V.I., Popov O.V., Chumadin A.S., et al. *Listovaja shtampovka. Raschet tehnologicheskikh parametrov: Spravochnik* [Sheet-metal stamping. The calculation of process parameters: Reference book]. Moscow, MAI Publ., 1999. 516 p.
6. Chumadin A.S., Ershov V.I., Makarov K.A., et al. *Osnovy avia- i raketostroenija* [Fundamentals of aircraft and rocket production]. Moscow, Infra-M, 2008. 992 p.
7. Storozhev M.V., Popov E.A. *Teoriya obrabotki metallov davleniem* [Theory of plastic metal working]. Moscow, Mashinostroenie, 1977. 424 p.