

Напряженно-деформированное состояние в совмещенной операции раздачи и обжима при изготовлении переходников

08, август 2013

DOI: 10.7463/0813.0578962

Сулейман А. А., Шубин И. Н.

УДК 621.7.043.

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

so.solaiman@mail.ru

Введение

При строительстве трубопроводов применяются такие соединительные детали трубопроводов, как переходники рис.1. Стальные переходники используются для соединения труб с разным диаметром. Благодаря переходникам трубопровод становится надёжным и прочным.

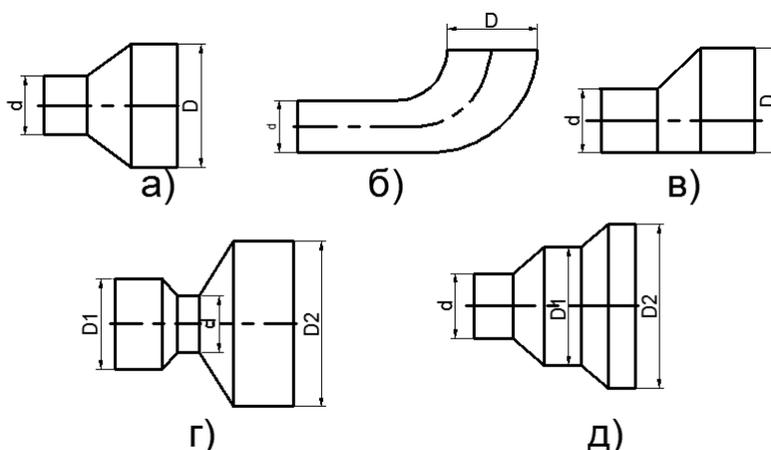


Рис.1. Типы трубных переходников: а) концентрический симметричный; б) крутоизогнутый; в) асимметричный; г) конфузорно-диффузорный; д) ступенчатый.

При изготовлении переходников используют методы обработки резанием. Коэффициент использования материала при обработке резанием деталей переходников

низкий, что является серьезным недостатком. С целью повышения коэффициента использования материала, заготовку для механической обработки получают штамповкой.

В работах [1–8] рассмотрено несколько вариантов изготовления переходников из трубчатых заготовок. Наиболее экономичным среди различных вариантов изготовления переходников методами листовой штамповки, является метод получения переходников совмещением раздачи и обжима. Совмещение операций раздачи и обжима позволяет интенсифицировать процесс формоизменения трубчатой заготовки и получить ступенчатые и конические детали с любым углом конусности за один переход с минимальными отходами металла [2-4].

Особенностью совмещенного процесса обжима-раздачи является наличие двух участков пластической деформации, разделённых между собой упругодеформируемым участком заготовки. На одном из участков пластической деформации осуществляется увеличение диаметра заготовки, т.е. раздача, на другом - уменьшение диаметра заготовки, т.е. обжим.

В работе [6] показано, что при одинаковых условиях на обоих участках деформирование на участке раздачи осуществляется более интенсивно, чем на участке обжима.

Целью работы является исследование и расчет влияния величины коэффициента трения на напряженное и деформированное состояние заготовки при совмещении операций раздачи и обжима при изготовлении переходников, а также определение изменения высоты и толщины стенки заготовки при совмещенной операции.

В работе проведено исследование совмещенного процесса раздачи и обжима, которое позволило определить действующие напряжения и деформаций для обеих зон раздачи и обжима заготовки. Научная новизна работы заключается в построении математических моделей для управления процессом одновременного деформирования заготовка посредством совмещения операций обжима и раздачи заготовки при варьировании величиной коэффициента трения между заготовкой и инструментом.

Методы исследования

При анализе напряжённого и деформированного состояний совмещённой операции обжима и раздачи используется метод суперпозиции, при котором общий очаг пластической деформации условно разбивается на две области раздачи и обжима, решение проводится для

каждой из областей при определённых, соответствующих данной области, граничных условиях. Затем полученные решения распространяются на весь общий очаг деформации.

При совпадении очагов деформации обжима и раздачи, в которых действуют окружные, соответственно сжимающие и растягивающие напряжения, граница очагов деформации проходит в сечении, где меридиональные сжимающие напряжения при обжиме и раздаче равны между собой. Напряжённое и деформированное состояние заготовки в этом случае определяют на основании ранее полученных зависимостей для обжима и раздачи. Сила деформирования заготовки в этих условиях для обжима и раздачи, очевидно, одинакова. Наибольшее изменение диаметра исходной заготовки можно получить при назначении наибольших коэффициентов обжима и раздачи заготовки. Общий коэффициент совмещённой операции обжим с раздачей равен

$$K_{\Sigma} = K_0 \cdot K_p = \frac{R_3}{r_u} \cdot \frac{R_u}{R_3},$$

где K_0 – коэффициент обжима заготовки; K_p – коэффициент раздачи заготовки; R_3 – радиус исходной заготовки; R_u – максимальный радиус заготовки после операции раздачи; r_u – минимальный радиус заготовки после операции обжима.

При допустимых значениях коэффициентов обжима $K_0 = 1,5$ и раздачи $K_p = 1,25$, общий коэффициент совмещённой операции будет равен $K_{\Sigma} = 1,87$ [4].

Метод суперпозиции даёт наглядное представление о процессе формоизменения, однако целостную, физическую картину механизма деформирования, он, к сожалению, отразить не в состоянии. Тем не менее, его использование для отдельных операций даёт возможность избежать трудностей при анализе процессов формоизменения. В соответствии с представленным рис. 2, область обжима распространяется от радиуса $\rho_{гр} = R_3$ до r_u , область раздачи от $\rho_{гр} = R_3$ до R_u .

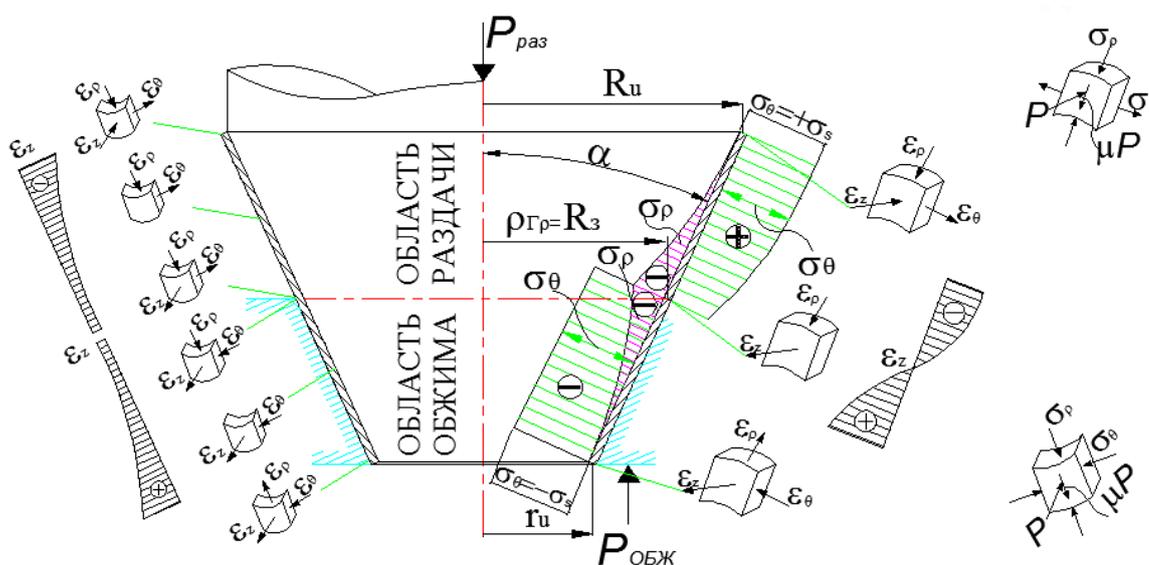


Рис. 2. Схема напряженного и деформированного состояний заготовки при совмещенной операции обжима и раздачи

Определение напряжений и деформаций в очаге деформации

Для определения полей напряжений по очагу деформации заготовки при раздаче и обжиге применяют метод совместного решения приближенного дифференциального уравнения равновесия и уравнения пластичности. Принятые допущения: схема напряженного состояния - плоская ($\sigma_z=0$). Общее дифференциальное уравнение равновесия для тонкостенной оболочки имеет вид

$$\rho \frac{d\sigma_p}{d\rho} + \sigma_p \left(1 + \frac{\rho}{S} \frac{dS}{d\rho}\right) - \sigma_\theta - \frac{\mu\rho}{\sin \alpha} \left(\frac{2q}{S} + \frac{\sigma_p}{R_p} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta}\right) = 0. \quad (1)$$

Здесь σ_p — главные нормальные напряжения в меридиональном направлении; σ_θ — главные нормальные напряжения в тангенциальном направлении; S — толщина стенки деформируемой заготовки; μ — коэффициент трения между инструментом и заготовкой; R_p — радиус кривизны оболочки в меридиональном сечении; R_θ — радиус кривизны оболочки в тангенциальном сечении.

Условие пластичности для операции обжима, имеет вид

$$\sigma_\theta = -\sigma_S, \quad (2)$$

условие пластичности для операции раздача - вид

$$\sigma_\theta - \sigma_p = \sigma_S. \quad (3)$$

Здесь σ_S — напряжение текучести материала.

Изменение толщины стенки по очагу деформации определяем по следующим зависимостям:

- для области операции обжима

$$S = S_0 \sqrt{\frac{R_3}{\rho_0}}, \quad (4)$$

- для области операции раздачи

$$S = S_0 \sqrt{\frac{\rho_p}{R_u}}. \quad (5)$$

Здесь S_0 — исходная толщина заготовки; R_3 — исходный радиус заготовки; ρ_0 —текущий радиус в области операции обжима; ρ_p — текущий радиус в области операции раздачи.

Расчеты проведены на ЭВМ с использованием программы MathCAD. Исходными данными являлись значения радиусов расчетных точек: $r_1 = 21,43\text{мм}$; $r_2 = 23,55\text{мм}$; $r_3 = 25,70\text{мм}$; $r_4 = 27,85\text{мм}$; $r_5 = 30\text{мм}$; $r_6 = 31,50\text{мм}$; $r_7 = 33\text{мм}$; $r_8 = 34,5\text{мм}$; $r_9 = 36\text{мм}$. $R_3 = 30\text{мм}$; $R_u = 36\text{мм}$; $r_u = 21,43\text{мм}$; $S_0 = 2\text{мм}$; $\sigma_S = 292\text{МПа}$; $\alpha = 20^\circ$ – угол конуса детали переходника.

Варьировали значения следующих параметров:

- значения коэффициента трения $\mu_h = \begin{pmatrix} 0,15 \\ 0,25 \\ 0,35 \end{pmatrix}$ на трех уровнях $h = 1..3$;

- значения текущего радиуса обжима $\rho_{oi} = \begin{pmatrix} 21,43 \\ 23,55 \\ 25,7 \\ 27,85 \\ 30 \end{pmatrix}$ мм на пяти уровнях $i = 1..5$;

- значения текущего радиуса раздачи $\rho_{pj} = \begin{pmatrix} 30 \\ 31,5 \\ 33 \\ 34,5 \\ 36 \end{pmatrix}$ мм на пяти уровнях $j = 1..5$.

Исходной заготовкой является стакан, полученный многопереходной вытяжкой из круглой плоской заготовки без межоперационных отжигов.

Упрочнение при этом учитывали по зависимости

$$\sigma_{Sn} = \sigma_{S(n-1)} \left(1 + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{m_n} \right),$$

где σ_{Sn} — напряжение текучести n-го перехода; m_n — коэффициент вытяжки n-го перехода.

Эта формула учитывает предыдущую наследственность упрочнения следующим образом:

- для области операции обжима

$$\sigma_S^{Обж} = \sigma_S \left(1 + \frac{1}{2} \ln \frac{R_z}{r_u} \right) = 292 \left(1 + \frac{1}{2} \ln \frac{30}{21,43} \right), \quad \sigma_S^{Обж} = 341,12 \text{ МПа};$$

- для области операции раздачи

$$\sigma_S^{Раз} = \sigma_S \left(1 + \frac{1}{2} \ln \frac{R_z}{R_z} \right) = 292 \left(1 + \frac{1}{2} \ln \frac{36}{30} \right), \quad \sigma_S^{Раз} = 318,62 \text{ МПа}.$$

Решая совместно уравнения (1) и (2) с учетом изменения толщины стенки в очаге деформации по зависимости (4) для обжима, и (1), (3), (5) - для раздачи, получаем выражения, характеризующее распределение напряжений в очаге деформации в меридиональном направлении:

- для области операции обжима

$$\sigma_{\rho i, h}^{Обж} = -\sigma_S^{Обж} (1 + \mu_h \cdot \text{ctg } \alpha) \left(1 - \frac{r_u}{\rho_{oi}} \right), \quad (6)$$

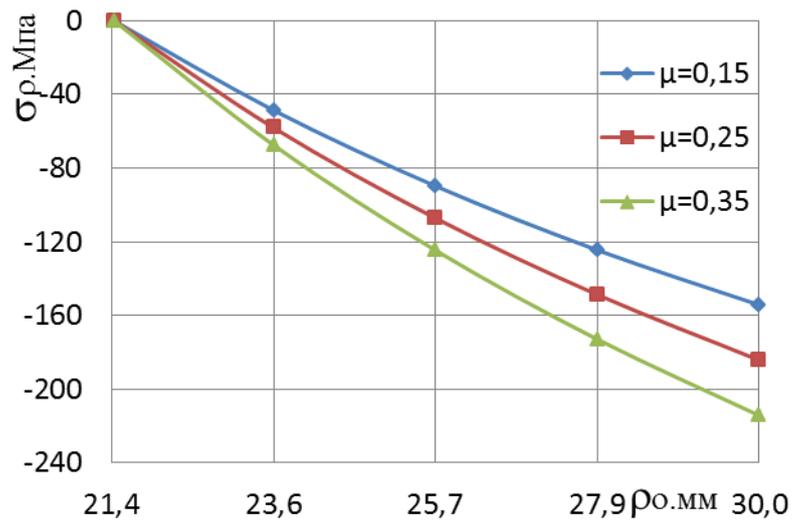
$$\sigma_{\theta}^{Обж} = -\sigma_S^{Обж}; \quad (7)$$

- для области операции раздачи

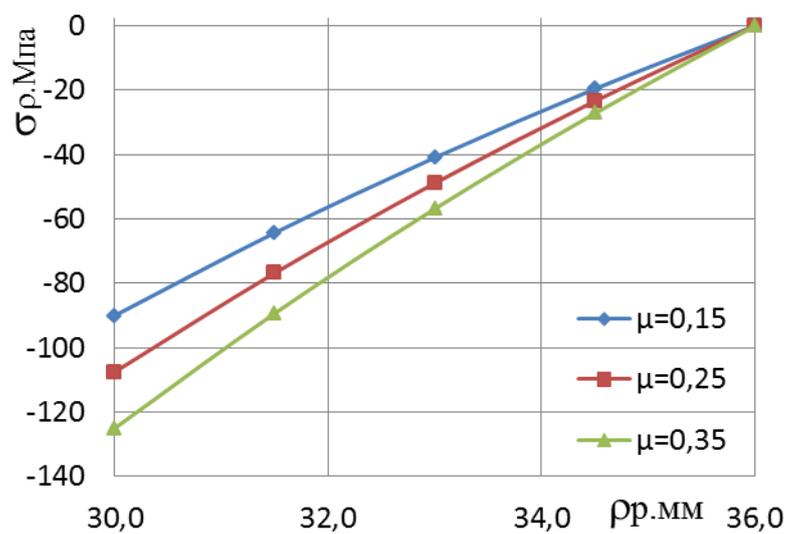
$$\sigma_{\rho j, h}^{Раз} = -\sigma_S^{Раз} (1 + \mu_h \cdot \text{ctg } \alpha) \left(\frac{R_u}{\rho_{pj}} - 1 \right), \quad (8)$$

$$\sigma_{\theta j, h}^{Раз} = -\sigma_S^{Раз} \left[1 - (1 + \mu_h \cdot \text{ctg } \alpha) \left(\frac{R_u}{\rho_{pj}} - 1 \right) \right]. \quad (9)$$

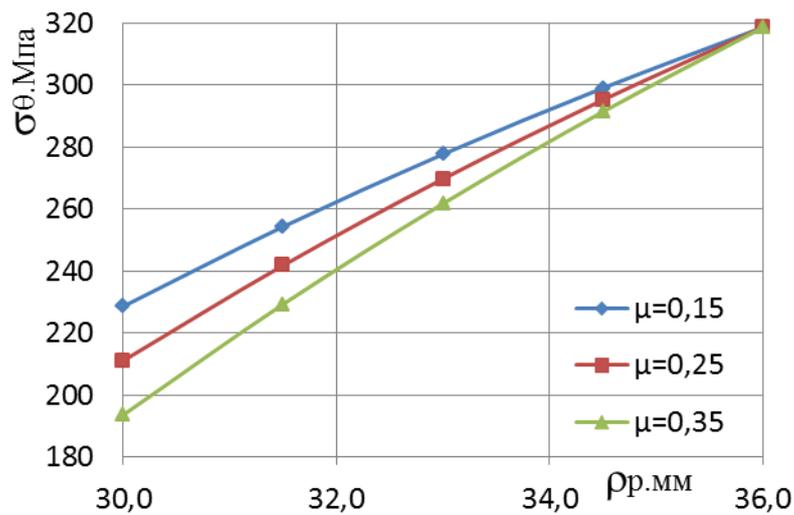
Результаты расчета представлены на рис. 3. Из графиков видно, что с увеличением коэффициента трения увеличиваются сжимающие напряжения σ_{ρ} и уменьшаются растягивающие напряжения σ_{θ} .



a)



b)



в)

Рис. 3. Напряжения σ_ρ обжима (а), σ_ρ (б) и σ_θ (в) раздачи в очаге деформации при различных значениях μ

Определение максимальных напряжений и сил деформирования

Определим величину максимального меридионального сжимающего напряжения с учетом изгиба и спрямления на входе в очаг деформации, при коэффициенте трения $\mu = 0,15$ для операции обжима:

$$\sigma_{\rho\max}^{\text{Обж}} = -\sigma_S^{\text{Обж}} (1 + \mu \cdot \text{ctg } \alpha) \left(1 - \frac{r_u}{R_z}\right) (3 - 2 \cos \alpha) \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{R_z}{r_u}}\right), \quad (10)$$

$$\sigma_{\rho\max}^{\text{Обж}} = -168,327 \text{ МПа.}$$

Сила деформирования при операции обжиме равна

$$P_{\text{Обж}} = 2 \cdot \pi \cdot S \cdot R_z \cdot |\sigma_{\rho\max}^{\text{Обж}}|,$$

$$P_{\text{Обж}} = 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 30 \cdot 168,327, \quad P_{\text{Обж}} = 6,346 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Определим величину максимального меридионального сжимающего напряжения с учетом изгиба и спрямления на входе в очаг деформации, при коэффициенте трения $\mu = 0,15$, для операции раздачи:

$$\sigma_{\rho\max}^{\text{Раз}} = -\sigma_S^{\text{Раз}} (1 + \mu \cdot \text{ctg } \alpha) \left(\frac{R_u}{R_z} - 1\right) (3 - 2 \cos \alpha) \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{R_z}{R_u}}\right), \quad (11)$$

$$\sigma_{\rho\max}^{\text{Раз}} = -96,477 \text{ МПа}$$

Сила деформирования при операции раздачи равна

$$P_{\text{Раз}} = 2 \cdot \pi \cdot S \cdot R_z \cdot |\sigma_{\rho\max}^{\text{Раз}}|,$$

$$P_{\text{Раз}} = 2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 30 \cdot 96,477, \quad P_{\text{Раз}} = -3,636 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Погрешность значений сил деформирования для операции обжима и раздачи составила

$$\frac{|P_{\text{Обж}}| - |P_{\text{Раз}}|}{|P_{\text{Раз}}|} \cdot 100 = 74,52\%.$$

Получили, что при одинаковых коэффициенте трения, степени деформации и углах конусности пуансона и матрицы сила раздачи примерно на 75% меньше силы обжима, в связи с чем раздача происходит более интенсивно, чем обжим. Поэтому сила раздачи будет недостаточна для получения конической части обжимом. Увеличить коэффициент формоизменения при обжиме можно, варьируя коэффициентом трения. Для получения более интенсивного обжима, очевидно, необходимо назначить коэффициент трения для обжима меньше, чем для раздачи. Из анализа напряженного состояния можно заметить, что максимальные сжимающие напряжения в меридиональном направлении при раздаче меньше,

чем при обжиме. Поэтому необходимо увеличивать величину $\sigma_{r\max}^{\text{Раз}}$ для раздачи. Увеличение напряжения можно добиться, если назначить коэффициент трения при раздаче больше, чем при обжиме, а также применить дополнительный подпор в меридиональном направлении.

Влияние коэффициента трения на напряжения

Проведем варьирование значением коэффициента трения между инструментом и заготовкой при операциях раздаче и при обжиме и вычислим значения максимальных меридиональных напряжений в зависимости от коэффициента трения.

Значения коэффициента трения при операции обжима равно $\mu_o = \begin{pmatrix} 0,04 \\ 0,1 \\ 0,15 \end{pmatrix}$.

значения коэффициента трения при операции раздачи — $\mu_p = \begin{pmatrix} 0,15 \\ 0,25 \\ 0,35 \end{pmatrix}$.

Подставляем значения μ_o в уравнение (10), получим значение максимального сжимающего меридионального напряжения при различных значениях μ_o для обжима

$$\sigma_{r\max}^{\text{Обж}}(\mu_o) = \begin{pmatrix} -132,302 \text{ Мпа, при } \mu = 0,04 \\ -151,952 \text{ Мпа, при } \mu = 0,1 \\ -168,327 \text{ Мпа, при } \mu = 0,15 \end{pmatrix}.$$

Подставляем значения μ_p в уравнение (11), получим значение максимального сжимающего меридионального напряжения при различных значениях μ_p для раздачи

$$\sigma_{r\max}^{\text{Раз}}(\mu_p) = \begin{pmatrix} -96,477 \text{ Мпа, при } \mu = 0,15 \\ -115,212 \text{ Мпа, при } \mu = 0,25 \\ -133,977 \text{ Мпа, при } \mu = 0,35 \end{pmatrix}.$$

Результаты расчета представлены на рис. 4, при различных значениях μ_o для обжима и μ_p для раздачи.

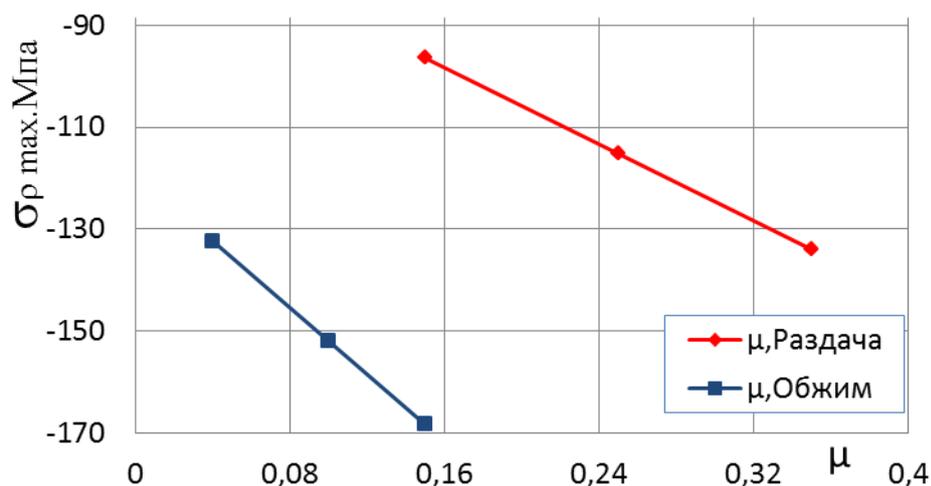


Рис. 3. Зависимость σ_{pmax} от μ

Анализируя полученные решения, можно отметить, что при одинаковых коэффициентах трения и при прочих равных условиях максимальные сжимающие напряжения в меридиональном направлении при раздаче меньше, чем при обжиге. Равномерно изменяя значения коэффициента трения (увеличивая при раздаче и уменьшая при обжиге), добиваемся повышения максимальных напряжений при раздаче, тем самым повышая интенсивность протекания процесса обжига. Оптимальными являются значения коэффициентов трения 0,04 при обжиге и 0,35 при раздаче. Максимальные напряжения при раздаче получаются чуть больше, чем при обжиге. Этого достаточно для равномерного протекания одновременно раздачи и обжига.

Определение деформаций

Для нахождения деформаций используем уравнение связи между напряжениями и деформациями [5]

$$\frac{\sigma_p - \sigma_z}{\sigma_\theta - \sigma_z} = \frac{d\varepsilon_p - d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\theta - d\varepsilon_z} \quad (12)$$

Условие несжимаемости имеет вид

$$d\varepsilon_p + d\varepsilon_z + d\varepsilon_\theta = 0. \quad (13)$$

Здесь σ_ρ , σ_θ и σ_z - напряжения, действующие соответственно в меридиональном и широтном направлениях, а также перпендикулярно срединной поверхности заготовки; $d\varepsilon_\rho$, $d\varepsilon_\theta$ и $d\varepsilon_z$ - приращение деформаций в тех же направлениях.

Приращение деформаций определяем по формулам

$$d\varepsilon_z = \ln \frac{dS}{S}, \quad (14)$$

$$d\varepsilon_\theta = \ln \frac{d\rho}{\rho}, \quad (15)$$

$$d\varepsilon_\rho = -d\varepsilon_z - d\varepsilon_\theta. \quad (16)$$

Для плоско-напряженного состояния $\sigma_z = 0$, поэтому справедливо равенство

$$\frac{\sigma_\rho}{\sigma_\theta} = \frac{d\varepsilon_\rho - d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\theta - d\varepsilon_z}. \quad (17)$$

Подставляя значения $d\varepsilon_\rho$, $d\varepsilon_z$, $d\varepsilon_\theta$ из формул (14, 15, 16) в формулу (17) и производя несложные преобразования, получим

$$d\varepsilon_z = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{\sigma_\rho - 2\sigma_\theta} d\varepsilon_\theta. \quad (18)$$

Обозначим $A_{(\rho)} = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{\sigma_\rho - 2\sigma_\theta}$, где $A_{(\rho)}$ - текущий коэффициент соотношения полей напряжений.

Интегрируя уравнение (18), получим

$$\ln S_{(\rho)} = A_{(\rho)} \cdot \ln \rho + C. \quad (19)$$

Считаем, что $A_{(\rho)}$ является осредненной постоянной величиной по очагу деформации, поэтому при интегрировании ее можно вынести за знак интеграла. В последующих расчетах $A_{(\rho)}$ принимается переменной величиной, зависящей от σ_ρ и σ_θ . Это допущение отражено в работе Е.А. Попова [5].

Область обжима

Произвольная постоянная интегрирования определяется из граничных условий рис. 2, при $\rho = \rho_0 = R_3$, $S = S_0$.

Подставляя граничные условия в формулу (19), получаем $C = \ln S_0 - A_{(\rho_0)}^0 \cdot \ln R_3$.

Тогда $\ln S = A_{(\rho_0)}^0 \cdot \ln \rho_0 + \ln S_0 - A_{(\rho_0)}^0 \cdot \ln R_3$.

Откуда получаем следующие значения:

- деформация по толщине

$$\varepsilon_z^0(\rho_o) = \ln \frac{S(\rho_o)}{S_0} = A_{(\rho_o)}^0 \cdot \ln \left(\frac{\rho_o}{R_3} \right); \quad (20)$$

- окружную деформацию определяем по формуле

$$\varepsilon_\theta(\rho_o) = \ln \left(\frac{\rho_o}{R_3} \right). \quad (21)$$

Меридиональную деформацию устанавливаем из условия несжимаемости при известных ε_z и ε_θ :

$$\varepsilon_\rho(\rho_o) = -\varepsilon_z(\rho_o) - \varepsilon_\theta(\rho_o). \quad (22)$$

Толщину стенки в очаге деформации получаем из формулы (20):

$$S_{(\rho_o)}^0 = S_0 \cdot e^{\varepsilon_z(\rho_o)} = S_0 \cdot \left(\frac{\rho_o}{R_3} \right)^{A_{(\rho_o)}^0}. \quad (23)$$

Используя формулы (6), (7), (20) – (23) при коэффициенте трения $\mu_o = 0,04$, определяем напряжения σ_ρ , деформации ε и толщину S обжимаемой части заготовки в любой точке с текущим радиусом ρ_o , который изменяется от R_3 до r_u .

Результаты расчета напряжения σ_ρ представлены на рис. 5, при различных значениях ρ_o для обжима.

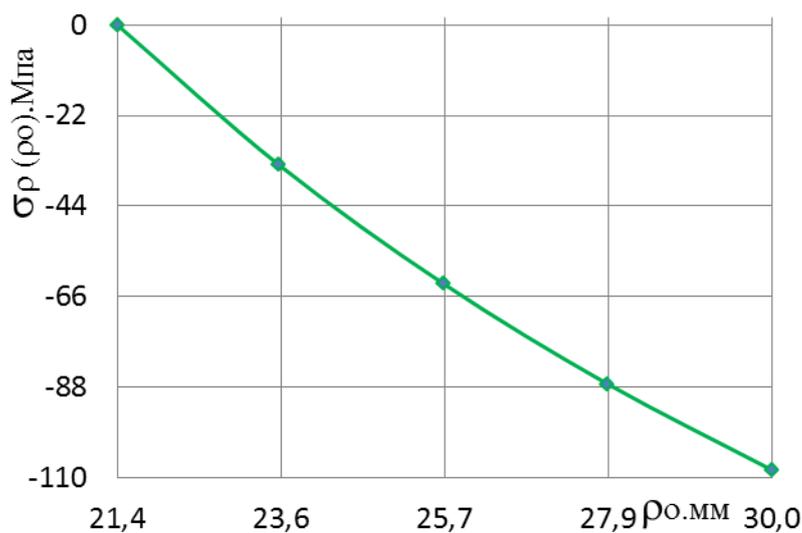


Рис. 5. Зависимость $\sigma_\rho^{обж}$ от ρ_o

Результаты расчета деформации ϵ представлены на рис. 6, при различных значениях ρ_0 для обжима.

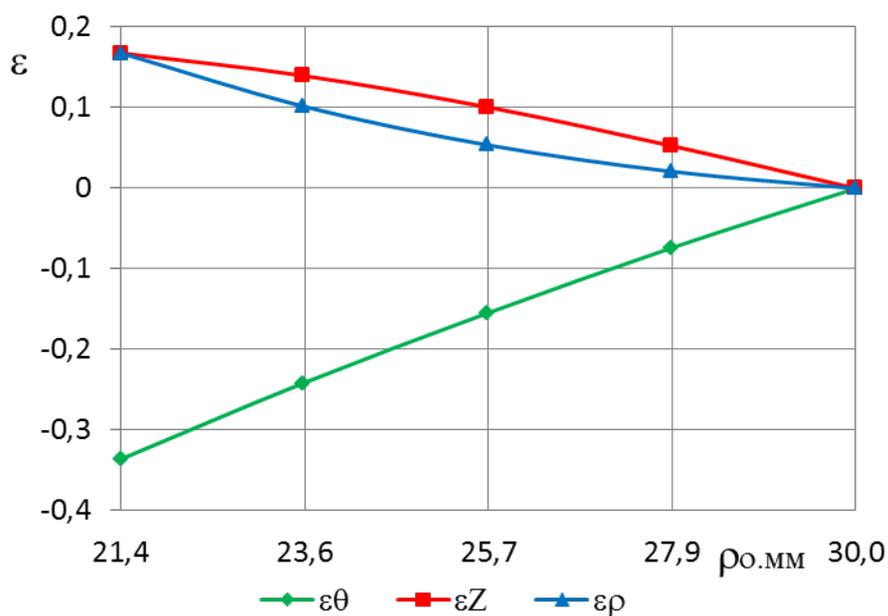


Рис. 6. Изменение деформации (окружной ϵ_θ , по толщине ϵ_z , меридиональной деформации ϵ_ρ) относительно от расстояния от центра заготовки

Результаты расчета изменения толщины S заготовки представлены на рис. 7, при различных значениях ρ_0 для обжима.

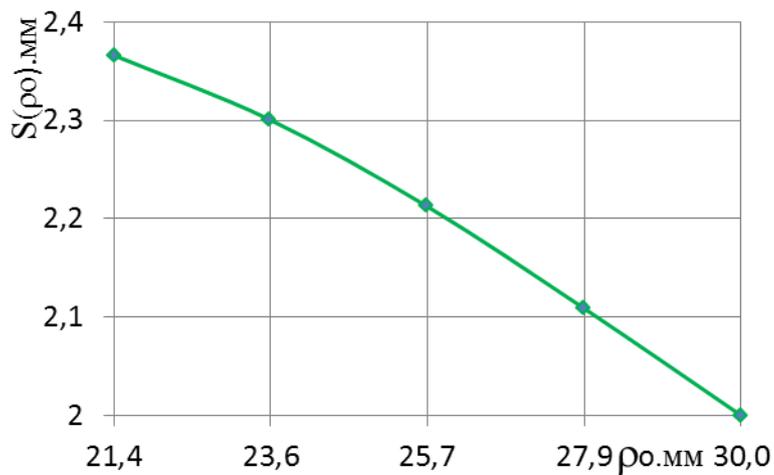


Рис. 7. Изменение толщины стенки заготовки относительно расстояния от центра заготовки

Из приведенных выше расчетов можно заметить, что деформированное состояние при обжиге неоднородно по очагу деформации, оно меняется в зависимости от соотношения нормальных напряжений σ_ρ и σ_θ . Когда меридиональная деформация заготовки в процессе деформирования равна нулю ($\varepsilon_\rho = 0$), при этом, меридиональные напряжения равны $\sigma_\rho = \frac{\sigma_z + \sigma_\theta}{2} = \frac{0 - \sigma_s}{2} = \frac{-\sigma_s}{2}$, а абсолютные значения напряжений $|\sigma_\rho| = \left| \frac{\sigma_\theta}{2} \right|$ и $|\sigma_\theta| = |\sigma_s|$, то деформированное состояние в этих точках является плоским. На остальных участках заготовки деформированное состояние объемное. Когда меридиональные напряжения $|\sigma_\rho|$ уменьшаются происходит утолщение стенки ($\varepsilon_z > 0$).

Область раздачи

Произвольная постоянная интегрирования в формуле (43) для области раздачи определяется из граничных условий. При $\rho = \rho_p = R_3$, толщина стенки S будет равна соответствующей толщине стенки исходной заготовки (граничные условия при раздаче и граничные условия при обжиге одинаковые при $\rho_p = \rho_0 = R_3$) (рис. 2).

Подставляем граничные условия в формулу (19), получаем

$$C = \ln S_0 - A_{(\rho_p)}^P \cdot \ln R_3.$$

Тогда

$$\ln S_{(\rho_p)}^P = A_{(\rho_p)}^P \cdot \ln \rho_p + \ln S_0 - A_{(\rho_p)}^P \cdot \ln R_3.$$

Откуда получим формулы текущей деформации $\varepsilon_z^P(\rho_p)$ и толщины $S_{(\rho_p)}^P$ в области вытяжки в любой точке с радиусом ρ_p .

Деформация по толщине определяем по формуле

$$\varepsilon_z^P(\rho_p) = \ln \frac{S_{(\rho_p)}^P}{S_0} = A_{(\rho_p)}^P \cdot \ln \left(\frac{\rho_p}{R_3} \right), \quad (24)$$

окружную деформацию — по формуле

$$\varepsilon_\theta(\rho_p) = \ln \left(\frac{\rho_p}{R_3} \right). \quad (25)$$

Меридиональную деформацию устанавливаем из условия несжимаемости при известных ε_z и ε_θ :

$$\varepsilon_p(\rho_p) = -\varepsilon_z(\rho_p) - \varepsilon_\theta(\rho_p). \quad (26)$$

Толщину стенки в очаге деформации можно получить из формулы (24):

$$S_{(\rho_p)}^P = S_0 \cdot e^{\varepsilon_z(\rho_p)} = S_0 \cdot \left(\frac{\rho_p}{R_3}\right)^{A_{(\rho_p)}^P}. \quad (27)$$

Используя формулы (8), (9), (24) – (27) при коэффициенте трения $\mu_p = 0,15$ определяем напряжения σ_p и σ_θ , деформации ε и толщину S раздаваемой части заготовки в любой точке с текущим радиусом ρ_p , который изменяется от R_3 до R_u .

Результаты расчета напряжения представлены на рис. 8, при различных значениях ρ_p для раздачи.

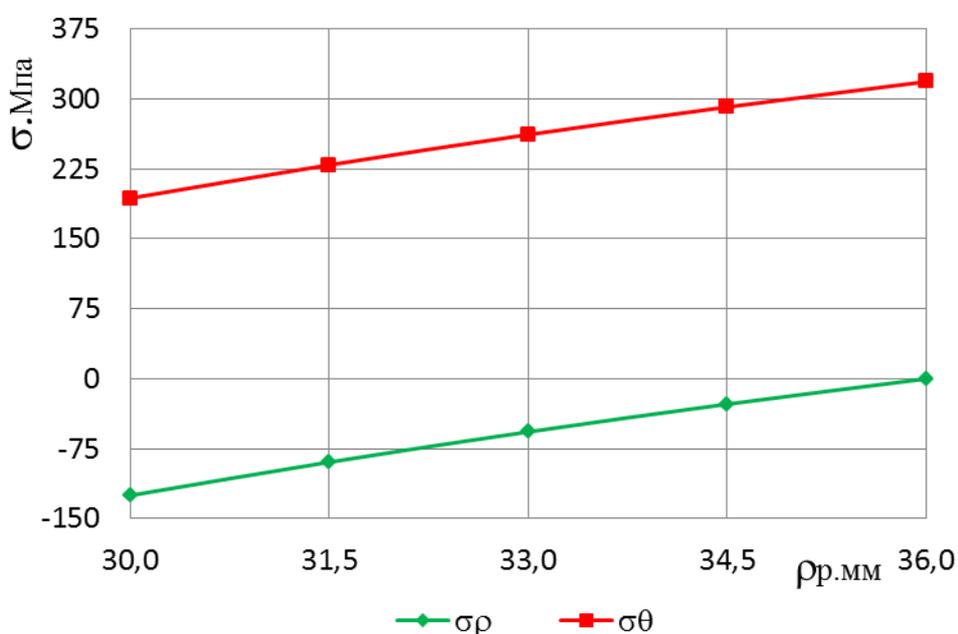


Рис. 8. Зависимость $\sigma_\rho^{Pаз}$ и $\sigma_\theta^{Pаз}$ от ρ_p

Результаты расчета деформации ε представлены на рис. 9, при различных значениях ρ_p для раздачи.

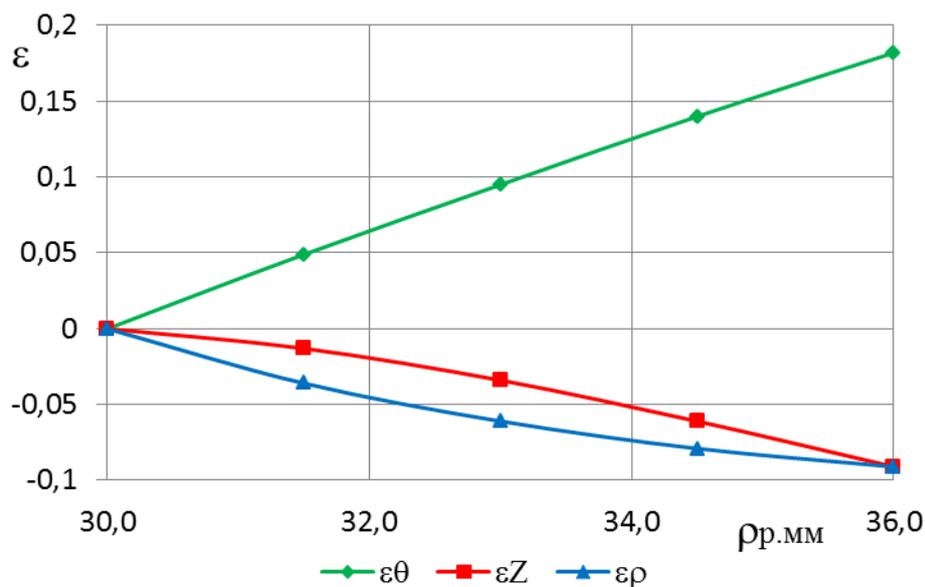


Рис. 9. Изменение деформации (окружной ε_θ , по толщине ε_Z , меридиональной деформации ε_ρ) относительно от расстояния от центра заготовки

Результаты расчета изменения толщины S заготовки представлены на рис. 10, при различных значениях ρ_p для раздачи.

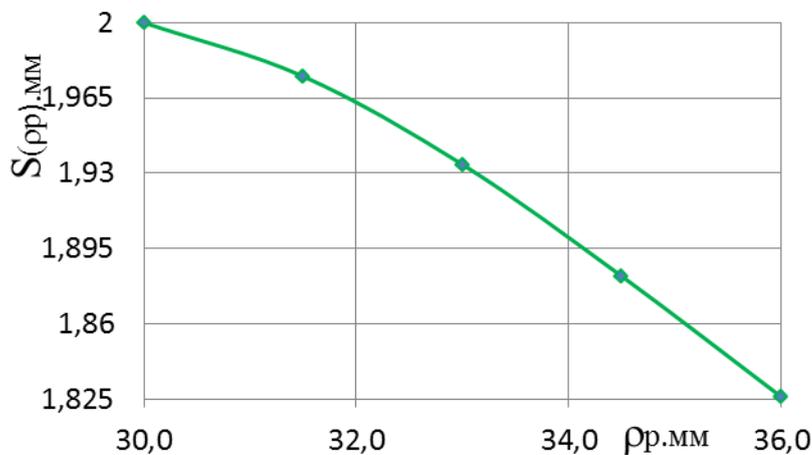


Рис. 10. Изменение толщины стенки заготовки относительно расстояния от центра заготовки

Из приведенных выше расчетов можно заметить, что деформированное состояние при раздаче также неоднородно по очагу деформации. Оно меняется в зависимости от соотношения нормальных напряжений σ_ρ и σ_θ , и в точках, где абсолютные значения

напряжений σ_p и σ_θ равны между собой, толщина заготовки в процессе деформирования не изменяется, деформированное состояние - плоское.

В общем случае деформированное состояние заготовки объемное, причем там, где $|\sigma_p| > |\sigma_\theta|$, происходит утолщение стенки ($\epsilon_z > 0$), а на участке, где $|\sigma_p| < |\sigma_\theta|$ - утонение ($\epsilon_z < 0$).

Результаты расчетов

При обжиге толщина стенки заготовки возрастает на 18%, а при раздаче уменьшается на 9%. Так как при раздаче высота заготовки уменьшается на 9,1%, а при обжиге высота увеличивается на 16,8%, общее увеличение высоты заготовки в совмещенной операции составит 7,7%, что говорит о том, что в этой совмещенной операции превалирует все же операция обжига.

Выводы

1) Варьируя величиной коэффициента трения между заготовкой и инструментом, можно управлять процессом одновременного деформирования заготовки посредством совмещения операций обжига и раздачи.

2) Величина коэффициента трения в области раздачи деформируемой заготовки должна в (3...5 раз) превышать значения коэффициента трения в области обжига. Тем самым возрастают меридиональные сжимающие напряжения раздачи, равные или несколько больше напряжений обжига ($\sigma_{pmax}^{Раз} \geq \sigma_{pmax}^{Обж}$), что обеспечивает одновременное выполнение операций раздачи и обжига.

3) Высота заготовки после деформирования увеличивается на 7,7% за счет обжига, положительное значение ϵ_p при обжиге компенсируется отрицательной меридиональной деформацией при раздаче.

Список литературы

1. Романовский В.И. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1979. 520 с.
2. Ковка и штамповка: справочник. В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / Под ред. С.С. Яковлева. М.: Машиностроение, 2010. 732 с.
3. Семёнов Е.И. Ковка и штамповка. М.: Машиностроение, 1987. 544 с.

4. Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н. Технология и автоматизация листовой штамповки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 480 с.
5. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1977. 278 с.
6. Горбунов М.Н. Штамповка деталей из трубчатых заготовок. М.: Машгиз, 1960. 190 с.
7. Евсюков С.А. Способ получения переходников с наружным цилиндрическим пояском: пат. 2087234 Российская Федерация. 1997.
8. Евсюков С.А. Способ получения переходников с внутренним цилиндрическим пояском: пат. 2060086 Российская Федерация. 1996.

Stress-strain state in a combined operation of expansion and swaging when manufacturing adapters

08, August 2013

DOI: 10.7463/0813.0578962

Solaiman A.A., Shubin I.N.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

so.solaiman@mail.ru

The authors consider a combination of two operations (expansion and swaging) in one manufacturing step. A coordinated solution to equilibrium equations, plastic conditions, relations between stresses and strains were used during the analysis of these operations. As a result, data were obtained for calculation of effective stresses and strains for both zones - swaging and expansion. The results of the study and calculation of the friction effect on the magnitude of stress and strain state in the combined operation are given in this work. Methods of controlling the formation process were defined. A numerical experiment was carried out with the use of MATCAD by varying the main parameters of the process which are friction and strain.

Publications with keywords: [swaging](#), [plasticity](#), [adapter](#), [multiple operations](#), [equilibrium equations](#), [the equation of communication](#), [stress and strain](#), [the effect of friction](#)

Publications with words: [swaging](#), [plasticity](#), [adapter](#), [multiple operations](#), [equilibrium equations](#), [the equation of communication](#), [stress and strain](#), [the effect of friction](#)

References

1. Romanovskiy V.I. *Spravochnik po kholodnoy shtampovke* [Handbook on cold stamping]. Leningrad, Mashinostroenie, 1979. 520 p.
2. Yakovlev S.S., ed. *Kovka i shtampovka: spravochnik. V 4 t. T. 4. Listovaya shtampovka* [Forging and stamping: a Handbook. In 4 vols. Vol. 4. Sheet-metal stamping]. Moscow, Mashinostroenie, 2010. 732 p.
3. Semenov E.I. *Kovka i shtampovka* [Forging and stamping]. Moscow, Mashinostroenie, 1987. 544 p.
4. Popov E.A., Kovalev V.G., Shubin I.N. *Tekhnologiya i avtomatizatsiya listovoy shtampovki* [Technology and automation of sheet-metal stamping]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2000. 480 p.
5. Popov E.A. *Osnovy teorii listovoy shtampovki* [Fundamentals of the theory of sheet-metal stamping]. Moscow, Mashinostroenie, 1977. 278 p.

6. Gorbunov M.N. *Shtampovka detaley iz trubchatykh zagotovok* [Stamping parts of tubular blanks]. Moscow, Mashgiz, 1960. 190 p.
7. Evsyukov S.A. *Sposob polucheniya perekhodnikov s naruzhnym tsilindricheskim poyaskom* [Method for producing adapters with outer cylindrical belt]. Patent RF, no. 2087234, 1997.
8. Evsyukov S.A. *Sposob polucheniya perekhodnikov s vnutrennim tsilindricheskim poyaskom* [Method for producing adapters with internal cylindrical belt]. Patent RF, no. 2060086, 1996.