

ПАРАМЕТРЫ ДЕФОРМАЦИИ ИЗГИБА ТОЧНЫХ ЗАГОТОВОК

Бровман Т.В.

Тверской государственный технический университет, г.Тверь

Ключевые слова: деформация, упругопластические зоны, остаточные напряжения.

Аннотация. Рассмотрены направления уменьшения остаточных напряжений в металле после деформации изгиба с целью повышения долговечности.

Приоритетными и ключевыми задачами производителей деталей, получаемых методами обработки давлением, является создание технологий массового производства продукта, отвечающего уникальным требованиям, предъявляемым к точности геометрических параметров.

На основе анализа технологий и особенностей процессов нестационарной локальной пластической деформации необходимо определить факторы, влияющие на точность геометрических размеров осесимметричных, тонколистовых заготовок и деталей, получаемых методами изгиба.

Рассмотрим изгиб балки при воздействии на нее усилия P , приложенным в сечении $x = 0,5\ell$, где ℓ – расстояние между опорами по схеме (рис.1). При

действии изгибающего момента [1, 2] $M = \frac{\sigma_T b h^2}{6} = \frac{P\ell}{4}$ имеет место не только

упругая, но и пластическая деформация. С увеличением усилия зона пластической (при $y > 0$ зоны сжатия, а при $y < 0$ зоны растяжения) увеличиваются. Для модели идеального упругопластического тела при величине предела текучести $\sigma_T = const.$ при $|y| \leq y_1$ действуют упругие деформации, а при $0,5h \geq |y| > y_1$ пластические деформации. Разгрузка происходит «упруго» и после ее реализации эпюра остаточных напряжений имеет вид, показанный на рис.1,б [3].

Радиус кривизны ρ связан с усилием при упругопластической деформации зависимостью [4]

$$\rho = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{Eh}{\sigma_T} \sqrt{1 - \frac{4M}{\sigma_T b h^2}}, \quad (1)$$

а кривизна равна $K = 1/\rho \sim v_{,xx}$, где v – прогиб. При изгибе (рис. 1) $M = P\ell/2$, максимальная величина K и минимальная ρ достигается при $x = 0,5\ell$.

Предельная величина момента [5, 6], равна $M_m = \frac{\sigma_T b h^2}{4}$ и усилие

$$P_m = \frac{\sigma_T b \ell^2}{\ell}. \quad (2)$$

Границы упругой и пластических зон при $\frac{\sigma_T b h^2}{6} < M < \frac{\sigma_T b h^2}{4}$; $\frac{2}{3} \frac{\sigma_T b h}{\ell}$

$$y_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} h \sqrt{1 - \frac{2Px}{\sigma_T b h^2}}. \quad (3)$$

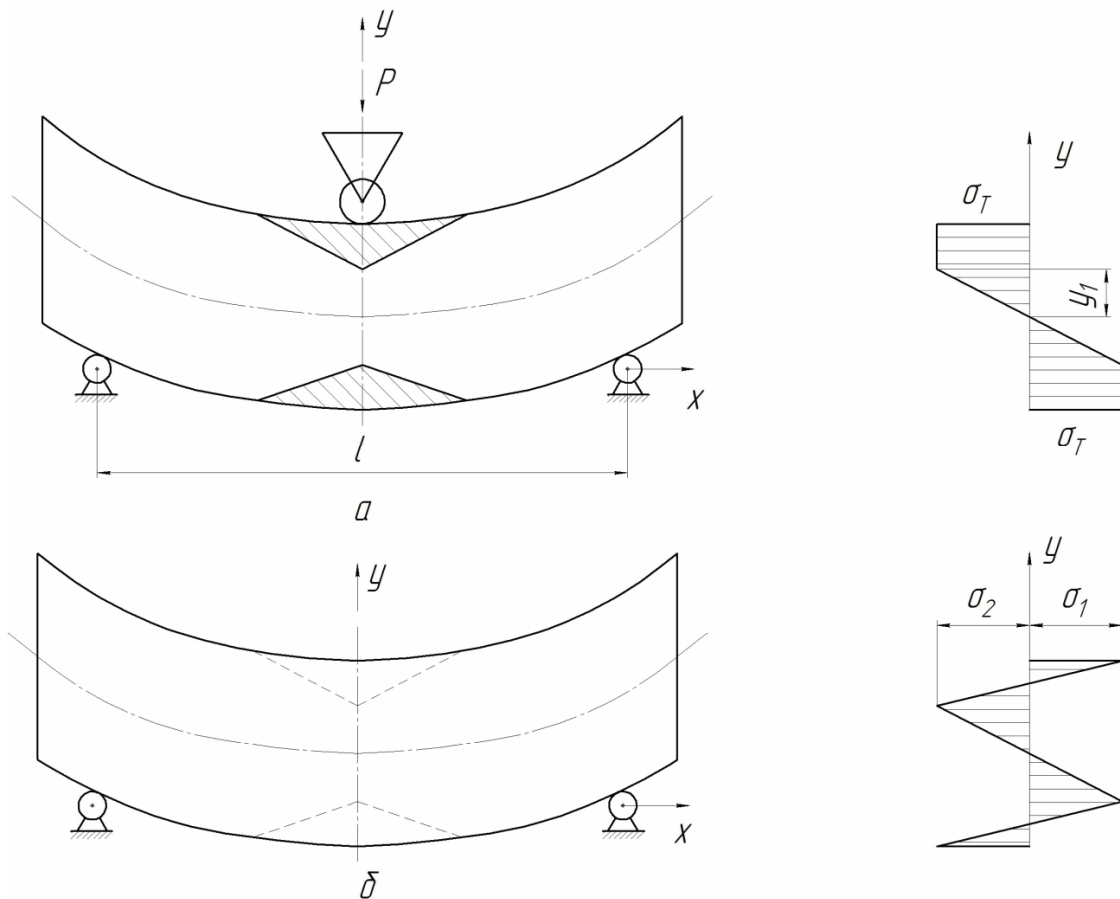


Рис. 1. Схема упругопластической деформации изгиба:
а – при нагрузке, б – после разгрузки

Эта величина равна $0,5h$, при $x_1 = \frac{\sigma_T b h^2}{3P}$, при $x = 0,5\ell$ максимальная величина y_1 равна

$$y_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} h \sqrt{1 - \frac{P\ell}{\sigma_T b h^2}}. \quad (4)$$

Распределение остаточных напряжений (рис.1,б) σ_1, σ_2 , [9] равно

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \sigma_T (1 - 1,5A + 0,5A^3), \\ \sigma_2 &= 0,5\sigma_T (1 - A^2), \end{aligned} \quad (5)$$

где $A = \frac{y_1}{0,5h}$ – относительная толщина пластической зоны, ($A = 0$ при

$P < \frac{2}{3} \frac{\sigma_T b h^2}{\ell}$ и $A_{max} = 1$ при $P_{max} = \sigma_T b h^2 / \ell$).

Условием «равнопрочности» по отношению к величинам остаточных напряжений должно быть равенство

$$\sigma_1 = \sigma_2, \quad (6)$$

что приведет к уравнению

$$1 - 3A + A^2 + A^3 = 1, \quad (7)$$

решение которого с достаточной точностью равно

$$A = 0,4141,$$

и, следовательно, $y_1 = 0,207h$.

Если это максимальная величина y_1 при $x = 0,5\ell$, то из формулы (4) следует

$$P_0 = 0,943 \frac{\sigma_T b h^2}{\ell}, \tag{8}$$

и при $P = P_0$ условие (6) выполнено, P_0 – на 57% отличается от максимальной силы P_{max} . При условии (8) максимальный момент равен $M = 0,236\sigma_T b h^2$, а минимальный радиус кривизны при $x = 0,5\ell$:

$$\rho = 0,2h \frac{E}{\sigma_T}. \tag{9}$$

Изменение напряжений σ_1/σ_T и σ_2/σ_T в функции безразмерного параметра A показано на рис.2. Функция $\frac{\sigma_1}{\sigma_T}$ – сплошная линия и $\frac{\sigma_2}{\sigma_T}$ – штриховая линия.

Видно, что напряжения σ_1 с уменьшением параметра A возрастают быстрее, чем σ_2 и при $A \rightarrow 0$ превышают σ_2 почти в два раза.

Видно, что при $A = 0,4142$ эти величины равны, а при $A > 0,4142$ обе функции уменьшаются. При этом существенно уменьшается величина ρ . Из формулы (1) следует, что при $M = \frac{\sigma_T b h^2}{6}$ деформация будет упругой и $\rho = \rho_y = 0,5h(E/\sigma_T)$.

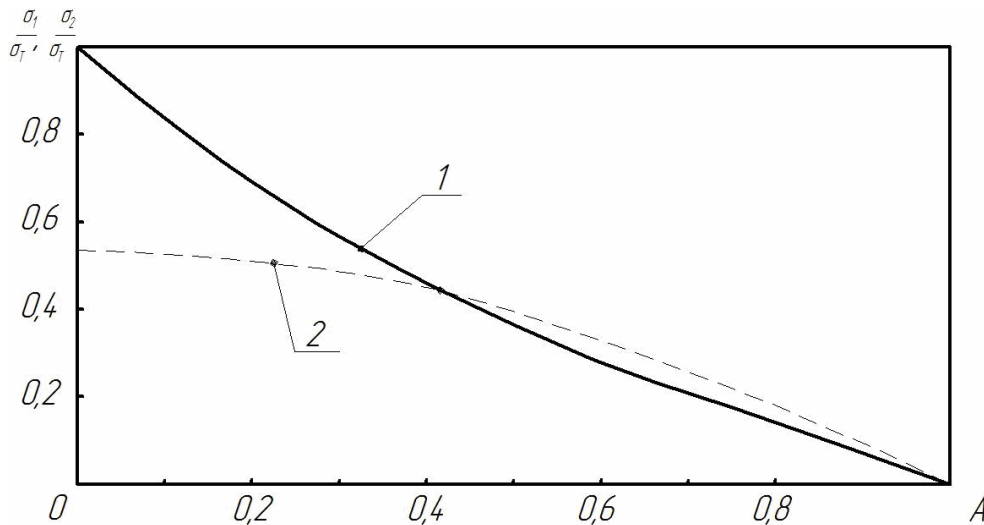


Рис. 2. График зависимости величин остаточных напряжений $\sigma_1(A)$ и $\sigma_2(A)$

Например, при $\sigma_T = 250 \text{ МН/м}^2$, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МН/м}^2$ и $\ell = 1 \text{ м}$, $h = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $b = 1 \text{ м}$, $\rho_y = 2 \text{ м}$ и это будет соответствовать упругой деформации, которая исчезнет при разгрузке. С приближением y_1 к величине $0,5h$ эффективность деформации снижается из-за упругой деформации при разгрузке.

Для этого же примера выбор величины $A = 0,4142$ (8)

$$P_0 = 0,943 \frac{250 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 10^{-6}}{1} = 5,89 \text{ кН}, \quad M_0 = \frac{P\ell}{4} = 1,4725 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

приведет к величине

$$\text{радиуса кривизны } \rho = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{2 \cdot 10^5}{250} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 1,4725 \cdot 10^{-3}}{250 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 10^{-6}}} = 0,83 \text{ м}$$

$$\text{При соотношении } \frac{\rho}{h} = 0,2 \frac{E}{\sigma_T} \quad (10)$$

можно уменьшить в 4,65 остаточные напряжения по сравнению с режимами изгиба при меньших величинах радиуса кривизны. По сравнению с режимом деформации при $A = 0,2$ можно уменьшить остаточные напряжения в 1,4 – 1,6 раза. На рис.2 приведены графики функций $\frac{\sigma_1}{\sigma_T}$ – сплошная линия и $\frac{\sigma_2}{\sigma_T}$ – штриховая линия. Видно, что напряжения σ_1 с уменьшением параметра A возрастают быстрее, чем σ_2 и при $A \rightarrow 0$ превышают σ_2 почти в два раза. Оптимальное для обеспечения равенства $\sigma_1 = \sigma_2$ соотношение радиуса кривизны и толщины заготовки (10) при $\sigma_T = 250 \text{ МН/м}^2$ и $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МН/м}^2$ составляет $\rho/h = 160$.

Полезным является воздействие напряжений сжатия у наружной поверхности и необходимо выбирать параметр $A \leq 0,2$. При воздействии агрессивной среды на внутреннюю поверхность заготовки в зоне меньшего радиуса будет иметь место отрицательное влияние остаточных напряжений растяжения согласно формулам (9), (10).

Таким образом, при выборе режимов деформации для процессов изгиба необходимо определять не только усилия, величину мощности привода, но и величины остаточных напряжений.

Список литературы

1. Brovman T.V. Sheet Bending Deformation in Production of Thin-Walled Pipes // World Journal of Mechanics, 2014, 4, December 2014 in Sci Res. <http://www.scirp.org/journal/wjm>
2. Бровман Т.В. Способ вытяжки осесимметричных заготовок с их предварительной деформацией // Заготовительные производства в машиностроении. 2014. №5. С.20-23
3. Бровман Т.В. Локальная пластическая деформация полых заготовок [Brovman T.V., Babenko N.E. Local plastic deformation of hollow billets / T.V. Brovman, N.E. Babenko // Russianmetallurgy (Metally). 2014. Т. 2014. № 7. С. 521–526] // Металлы. 2014. №4. С.23–29.
4. Бровман Т.В. Локальная деформация труб с криволинейными осями // Сборник материалов DFMN–2015VI –Международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». 10–13 ноября 2015 г. Москва, ИМЕТ РАН. – С.336.
5. Бровман Т.В. Усилия при локальной деформации полых заготовок // Технология металлов. 2015. № 6. С. 9–13.
6. Бровман Т.В. Определение усилий подгибки в штампах кромок стальных кольцевых заготовок // Производство проката. 2015. № 2. С. 18–23.
7. Бровман Т.В. О выборе режимов изгиба при вальцовке заготовок // Производство проката. 2014. № 12. С. 29–32.
8. Brovman T.V. New technological process of drawing // Journal of Harmonized Research (Johr). 2014. № 2.Р. 201–207.
9. Бровман Т.В. Повышение точности при изготовлении криволинейных металлических заготовок деформацией изгиба // Металлы. 2016, №3. С. 92–100.

Сведения об авторе:

Бровман Татьяна Васильевна – к.т.н., доцент, ТвГТУ, г.Тверь.

THE DEFORMATION PARAMETERS OF THE BEND ACCURATE PARTS

Brovman T.V.

Keywords: deformation, elastic-plastic zones, residual stresses.

Abstract. The directions of reduction of residual stresses in the metal after bending deformation in order to increase durability are considered.

References

1. Brovman T.V. Sheet Bending Deformation in Production of Thin-Walled Pipes // World Journal of Mechanics, 2014, 4, December 2014 in Sci Res. <http://www.scirp.org/journal/wjm>
2. Browman T.V. Method of drawing of axisymmetric workpieces with the preliminary deformation of blank // Production in mechanical engineering. 2014. No. 5.P. 20-23
3. Brovman T.V. Local plastic deformation of hollow billets [Brovman T.V., Babenko N.E. Local plastic deformation of hollowbillets/[text]T.V. Brovman, E.N. Babenko Russianmetallurgy (are metally of). 2014. Vol. 2014. No. 7. P. 521-526]. Metals. 2014.No. 4. P. 23-29.
4. Browman T.V. Local deformation of pipes with curvilinear axis // Collection of materials DFMN–2015VI –International conference "Deformation and fracture of materials and nanomaterials". November 10-13, 2015 in Moscow, IMET RAS.– P. 336.
5. Brovman T.V. Efforts at local deformation of hollow billets // Metal technology. 2015. No. 6. P. 9-13.
6. Browman T.V. Determination of the efforts of the hems in the edges of stamps steel ring blanks // Production of rolled. 2015. No. 2. P. 18-23.
7. Browman T.V. On the choice of modes of bending during the rolling of the billet // Production of rolled products. 2014. No. 12. P. 29-32.
8. Brovman T.V. New technological process of drawing // Journal of Harmonized Research (Johr). 2014. No. 2.P. 201-207.
9. Browman T.V. Increase of accuracy in the manufacture of a curved metal blanks to a deformation of bending // Metals. 2016, №3.P. 92-100.