

технологии производства сортового проката и гнутых профилей: Отраслевой сборник научных трудов». – Харьков: УкрНИИмет, 1989. – С. 87 – 90. **4.** Тришевский И.С. Некоторые особенности деформации металла в месте изгиба на 180°. Сб.: «Обработка металлов давлением: Сборник трудов», вып. XX. / И.С. Тришевский, В.П. Стукалов – Харьков: УкрНИИмет, 1972. – С. 93 – 99. **5.** Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Издание 6-е, переработанное. Из-во Машиностроение, 1979г, 520с., ил. **6.** Тришевский О.И. Исследование деформированного состояния металла на участке его изгиба на 180°. // Сб.: «Университетская наука-2009»: Сб. тезисов и докладов в 2-х томах. Мариуполь: ПГТУ, 2009. – 433 с. С. 182. **7.** Тришевский О.И. Моделирование изгиба металла на 180° и исследование его деформированного состояния с использованием цифровых методов. // Сб.: Вестник Национального технического университета «ХПИ»: Х.: НТУ «ХПИ-2009». – №15 – 124 с. – С.71-76.

Надійшла до редколегії 15.10.2012

УДК 621.771.63

Исследование деформированного состояния металла при изгибе до 180° с помощью программного комплекса DEFORM 3D / Плеснецов С.Ю. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №47(953). – С. 71–74. – Бібліогр. 7 назв.

Проведена трьохетапне моделювання процесу згину листового металу до 180° за допомогою програмного комплексу Deform 3D. Отримані розподілення напружень і деформацій, а також графік зусилля на інструменті. Виконано порівняння результатів моделювання з даними, отриманими в ході експериментальних досліджень процесу вигину листового металу до 180°.

Ключові слова: згин, програмний комплекс, Deform 3D, моделювання.

Conducted a three-phase modelling of the process of bending sheet metal up to 180° through the software package Deform 3D. Received distributions of stresses and strains, as well as the force curves on the instrument. Achieved comparison of the modeling results with those obtained in experimental studies of the process of bending sheet metal up to 180°.

Keywords: bending, software system, Deform 3D, simulation model

УДК 621.771.634

Ю. А. ПЛЕСНЕЦОВ, канд. техн. наук, зав. кафедрой, НТУ «ХПІ»

М. А. РУДЮК, студентка, НТУ «ХПІ»

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ С ОТБОРТОВКАМИ

На основе теоретического анализа получены зависимости для определения параметров напряженно-деформированного состояния металла и минимальных радиусов изгиба криволинейных элементов профилей при формовке с растяжением (сжатием). Результаты исследований использованы при разработке технологических схем профилирования и конструировании калибров валков.

Ключевые слова: профиль гнутый, отбортовка, напряженно-деформированное состояние

Введение. Тонкостенные гнутые профили с отбортовками все шире применяются в различных отраслях промышленности и строительства. Это позволяет уменьшить число элементов в конструкциях, улучшить их внешний вид, повысить технологичность изготовления, ускорить сборку изделий из профилей и монтаж конструкций из них и т.д. Отбортовки могут выполняться на полках швеллеров, корытных, С-образных, зетовых и других сортовых профилей. Наличие отбортовки повышает местную устойчивость плоских участков, жесткость полок и профиля в целом без увеличения его толщины и металлоемкости.

Анализ последних исследований и литературы. Профили с отбортовками имеют сложную форму поперечного сечения, большое число мест изгиба и подгибаемых элементов. Поскольку они, как правило, служат готовыми элементами сборных конструкций, предъявляются повышенные требования к их прямолинейности по всей длине и к геометр-

© Ю. А. Плеснецов, М. А. Рудюк, 2012

рии концевых участков (не допускается искажение формы вследствие пружинения). В связи с этим, при проектировании технологии изготовления таких профилей большое внимание уделяется [1-3]:

- разработке рациональных схем профилирования;
- выбору оптимального режима подгибки элементов по переходам;
- применению специальных приемов и способов формовки, обеспечивающих подгибку элементов профиля на заданные углы и качественное выполнение мест изгиба требуемой кривизны, получение профилей без концевых дефектов и смятия кромок, без потери устойчивости и искажения геометрии подгибаемых элементов и профиля в целом, а профилей полузакрытой и закрытой формы – со стабильным зазором между кромками смыкающихся элементов.

Материалы исследований. С технологической точки зрения отбортовки на полках профиля позволяют увеличить площадь контакта кромок полок с валками и усилия, передаваемые посредством полок к местам изгиба, для качественной отформовки профиля без смятия кромок. Благодаря наличию отбортовок усилие передается на больший по длине участок полки и тем самым предотвращается местная потеря ее устойчивости.

Напряженно-деформированное состояние металла и утонение заготовки в местах изгиба существенно зависят от величины относительного радиуса кривизны. Минимальный относительный радиус определяется из условий прочности и неразрушения профиля. При их соблюдении, как правило, улучшаются геометрические характеристики профиля, повышается срок службы валков (благодаря созданию плюсовых припусков на износ и увеличению числа возможных переточек при ремонте), оказывается возможным профилировать материалы высокой прочности и ограниченной пластичности без разрушения.

Для качественной отформовки мест изгиба с минимальными радиусами кривизны в профилях с отбортовками разработаны и применяются специальные схемы и способы формовки (рис. 1) – с дополнительным приложением внешних сил, вызывающих изгиб и поперечное растяжение или сжатие мест изгиба. При изготовлении профилей открытой формы предусматривается поперечное растяжение мест изгиба и примыкающих к ним участков, а при изготовлении закрытых профилей – обжатие профиля по контуру и поперечное сжатие мест изгиба в последних переходах.

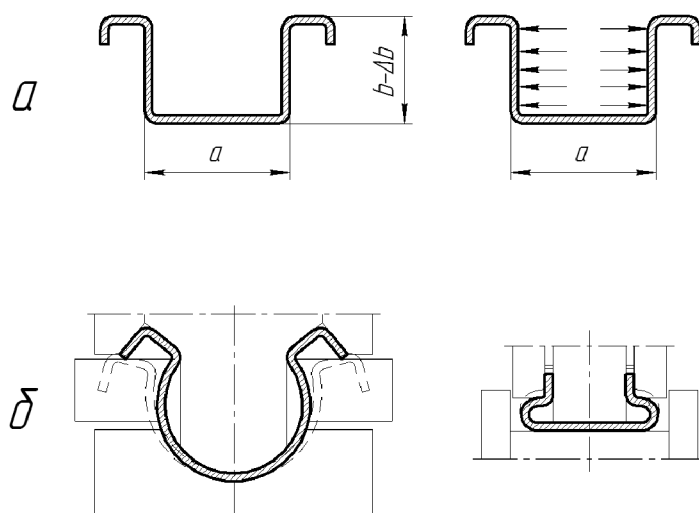


Рис. 1 – Схемы формообразования профилей с применением поперечных сил:
а -растягивающих и б – сжимающих

Рассмотрим применительно к профилям с отбортовками особенности напряженно-деформированного состояния металла мест изгиба, формируемых по схеме изгиба с растяжением (сжатием).

Из схемы на рис. 2 видно, что в валках на условно выделенное место изгиба профиля со стороны смежных с ним подгибаемых участков действуют поперечные силы N . В результате на его внутренней поверхности в местах контакта с валком возникают нормальные напряжения σ_k подобно тому, как это происходит при гибке с растяжением заготовки в штампах на прессах [1-3]. Во внеконтактной области участка плавного перехода действие изгибающего момента и поперечных сил сохраняется, однако контактные напряжения σ_k отсутствуют; поперечные силы уравниваются касательными напряжениями.

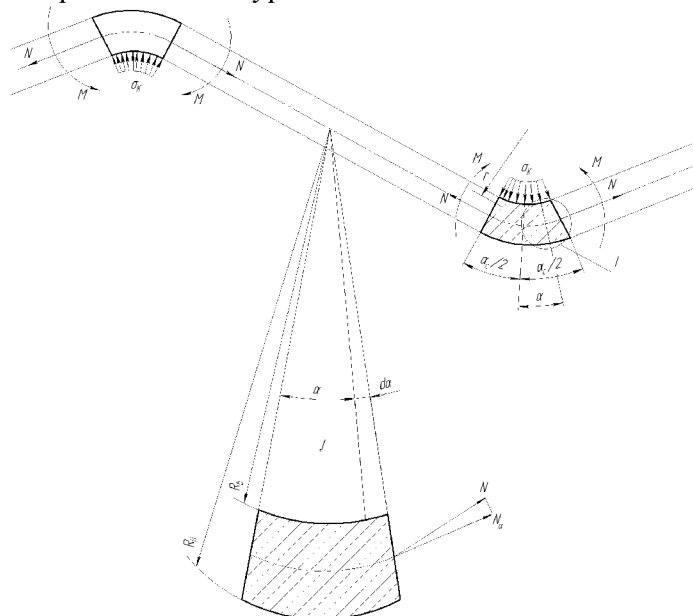


Рис. 2 – Схема приложения сил к элементу места изгиба

Условно ограничив двумя поперечными сечениями элемент места изгиба единичной длины, рассмотрим процесс его подгибки во внеконтактной и контактной областях участка плавного перехода.

В обеих областях нормальная составляющая поперечной силы в произвольном радиальном сечении места изгиба (рис. 2)

$$N_{\alpha} = N \cos(a_c - a), \tag{1}$$

где N – поперечная сила, прикладываемая к условно выделенному элементу места изгиба единичной длины. Очевидно, что с увеличением угла подгибки a_c и приближением сечения к биссектрисе центрального угла места изгиба ($a \rightarrow 0$), значение N_a уменьшается. В граничных со смежными элементами профиля сечениях места изгиба (при $a = a_c$) составляющая $N_a = N$, то есть достигает максимума. Кроме поперечного растяжения, прикладываемая со стороны смежных с местом изгиба участков сила N создает дополнительно изгибающий момент M_N , который увеличивает кривизну изгибаемого элемента.

При одновременном действии момента и поперечной силы интегральная сумма элементарных сил, сил, вызванных тангенциальными напряжениями $\sigma_{\phi\phi}$ (рис. 3, а), должна быть равна составляющей N_a , то есть

$$N_{\alpha} = \int_{R_B}^{R_N} \sigma_{\phi\phi} dr \tag{2}$$

Вследствие этого большая часть места изгиба будет деформирована в направлении действия составляющей N_{α}

При изгибе заготовки без упрочнения в соответствии с гипотезой максимума касательных напряжений в зоне пластических деформаций $\sigma_{\phi\phi} = \pm \sigma_T$.

Обозначив расстояние между нейтральной поверхностью напряжений и срединной поверхностью заготовки через s , имеем:

$$R_B = R_H - s \quad \rho_B = R_H - \frac{s}{2} - c$$

Пренебрегая зоной упругих деформаций, величину поперечной силы выразим зависимостью:

$$N_\alpha = \int_{\rho_B}^{R_H} \sigma_T dr + \int_{R_B}^{\rho_H} (-\sigma_T) dr = \sigma_T (R_H - 2\rho_H + R_B) = 2\sigma_T c \quad (3)$$

Радиус кривизны нейтральной поверхности напряжений:

$$\rho_H = \frac{R_H + R_B}{2} - \frac{N_\alpha}{2\sigma_T} = \frac{R_H + R_B}{2} - \frac{(\sigma_{\varphi\varphi})_{cp} \cdot s}{2\sigma_T} \quad (4)$$

где $(\sigma_{\varphi\varphi})_{cp}$ – среднее по толщине напряжение.

Внешний изгибающий момент $M_{\rho_{1n}}$, необходимый для изгиба элемента единичной длины, может быть определен из условия равенства нулю суммы моментов сил, действующих на заготовку в рассматриваемом сечении

$$\sum M = M_{\rho_{1n}} + M_N + M_\sigma = 0 \quad (5)$$

где M_N – момент, создаваемый поперечной силой относительно центра кривизны срединной поверхности заготовки:

$$M_N = N_\alpha \frac{R_H + R_B}{2} = \sigma_T \cdot c \cdot (R_H + R_B) \quad (5)$$

M_σ – момент, создаваемый тангенциальными напряжениями $\sigma_{\varphi\varphi}$:

$$\begin{aligned} M_\sigma &= \int_{\rho_H}^{R_H} \sigma_T r dr + \int_{R_B}^{\rho_H} (-\sigma_T) r dr = \frac{\sigma_T}{2} (R_H^2 - 2\rho_H^2 + R_B^2) = \\ &= \frac{\sigma_T}{4} [s^2 + 4c(R + r - c)] \end{aligned} \quad (6)$$

$$M = \sigma_T \frac{s^2}{4} \left[1 - \frac{(\sigma_{\varphi\varphi})_{cp}^2}{\sigma_T^2} \right] \quad (7)$$

Из (7) видно, что при $(\sigma_{\varphi\varphi})_{cp} = 0$, то есть при отсутствии поперечных сил, внешний изгибающий момент $M = M_{\max} = \sigma_T \frac{s^2}{4}$, а с увеличением $(\sigma_{\varphi\varphi})_{cp}$ он уменьшается и при $(\sigma_{\varphi\varphi})_{cp} = \sigma_T$ становится равным нулю (рис. 3).

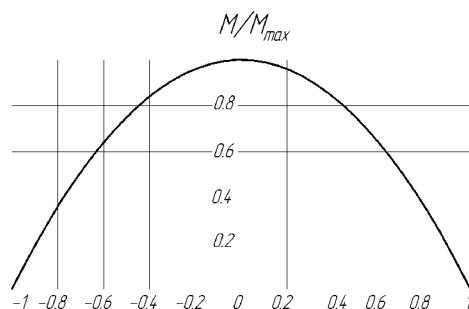


Рис. 3 – Зависимость относительной величины внешнего изгибающего момента $\frac{M}{M_{\max}}$ от относительной величины среднего по толщине тангенциального напряжения $\frac{(\sigma_{\varphi\varphi})_{cp}}{\sigma_T}$ растяжения сжатия

При равенстве площадей эпюр максимальное значение тангенциального напряжения $\sigma_{\varphi\varphi}$ на изогнутом участке больше, чем напряжение σ_p на прямолинейном. Следовательно

льно, пластическое деформирование заготовки и утонение (утолщение) должно локализоваться на криволинейной части профиля. При этом прямолинейные участки, смежные с местом изгиба, будут оставаться жесткими.

Поскольку при изгибе с растяжением поперечное сжатие внутренних слоев металла мест изгиба сменяется растяжением, а при изгибе со сжатием поперечное растяжение наружных слоев – сжатием и по всей толщине происходит деформация одного знака (растяжение или сжатие), пружинение в обоих случаях существенно уменьшается.

Для оценки технологических возможностей формовки криволинейных участков по схеме изгиба с растяжением (сжатием) используем в качестве критерия величину удельной работы при испытании стандартного образца материала на разрыв [4, 5]

$$A_{y\partial} = \frac{B}{m+1} \left(\ln \frac{1}{1-\varphi_u} \right)^{m+1} \quad (8)$$

где B и m – константы, отражающие зависимость между напряжениями и деформациями;

φ_u – относительное поперечное сужение образца.

Удельная работа деформации в точках возможного разрушения

$$A_{y\partial} = \frac{B}{m+1} e_i^{m+1} \quad (9)$$

где e_i – интенсивность деформаций.

На наружной растягиваемой поверхности изгибаемого участка

$$e_i = 1,15(e_p + e_u) \quad (10)$$

Деформация от растяжения (сжатия)

$$e_p = \ln \frac{b_u}{b_{u0}} \quad (11)$$

где b_u и b_{u0} – ширина развертки места изгиба по нейтральной линии деформации до и после растяжения.

Деформация от изгиба

$$e_u = \ln \frac{R_u}{\rho} \quad (12)$$

Выводы. Установленные зависимости позволяют определять параметры напряженно-деформированного состояния металла и минимальные возможные радиусы изгиба.

Результаты исследования были использованы при разработке технологических схем профилирования и конструировании калибров рабочих валков для изготовления корытного профиля четырехпроводного шинопровода размерами 180x95x26x1,5 мм на Харьковском заводе электромонтажных изделий. Было предусмотрено формообразование криволинейных участков по схеме изгиба с растяжением. Для этого в последнем переходе радиусы сопряжения стенки с боковыми стенками уменьшили с 4 до 3 мм, что вызвало дополнительную поперечную деформацию растяжения $e_p = 0,28$ при деформации от изгиба $e_u = 0,18$. Относительный радиус разрушения для стали Ст3 ($\varphi=0,68$) при $K_e = 2,55$ составляет 0,7, расчетный запас пластичности – 0,5.

Схемы подгибки с дополнительным приложением поперечных сил в калибрах валков успешно применяются для более качественной отформовки мест изгиба профилей на заданные радиусы кривизны, уменьшения пружинения при профилировании, получения профилей без концевых дефектов и смятия кромок, с заданными зазорами между кромками.

По разработанной технологии изготавливаются тонкостенные профили ко-рытной и С-образной формы с элементами двойной толщины, со сложными многоэлементными отбортовками для электромонтажных изделий и теплиц.

Список литературы. 1. *Тришевский И.С.* Теоретические основы процесса профилирования / Тришевский И.С., Докторов М. Е // М.: Металлургия, 1980. – 288 с. 2. *Сторожев М. В.* Теория обработки металлов давлением./ Сторожев М. В., Попов Е. А.// М.: Машиностроение, 1971. – 424 с. 3. *Мошин Е. Н.* Определение основных параметров процесса гибки с растяжением. – Вестник машиностроения. Машгиз, 1953, № 12, с. 36–41. 4. *Тришевский И.С.* Особенности производства гнутых профилей с многоэлементными отбортовками. / Тришевский И.С., Докторов М. Е., Пшеничная Н. В. // Сталь, 1981, № 3, с. 51-54. 5. *Тришевский И. С.* Минимальные радиусы изгиба при профилировании в валках. / Тришевский И. С., Докторов М. Е., Антипенко А. П. // Металлург. 1970, № 8, с. 30–32. 6. *Докторов М. Е.* К вопросу изготовления гнутых профилей с отбортовками. / Докторов М. Е., Пшеничная Н. В. // В сб.: Теория и технология производства гнутых профилей проката. Харьков: УкрНИИМет, 1981, с. 15–23.

Надійшла до редколегії 15.10.2012

УДК 621.771.634

Исследование напряженно-деформированного состояния гнутых профилей с отбортовками / Пленецов Ю.А., Рудюк М.А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №47(953). – С. 74–79. – Бібліогр. 6 назв.

На основі теоретичного аналізу отримано залежності для визначення параметрів напружено-деформованого стану металу і мінімальних радіусів вигину криволінійних елементів профілів при формуванню з розтягуванням (стискуванням). Результати досліджень використані при розробці технологічних схем профілювання і конструюванні калібрів валків.

Ключові слова: профіль гнутих, відбортовка, напружено-деформований стан.

Based on the theoretical analysis of the dependences for the parameters of the stress-strain state of the metal and the minimum bend radius of curved elements in molding profiles with tension (compression). The results of the studies were used in the development of process flow diagrams and design profiling caliber rolls.

Keywords: profile bending, flanging, the stress-strain state.

УДК 621.73: 621.98: 004.9 (075.8)

Е. Н. ПОЧЕКУЕВ, канд. тех. наук, доц., «ТГУ», Тольятти

П. Н. ШЕНБЕРГЕР, ст. преподаватель, «ТГУ», Тольятти.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ШТАМПОВ ДЛЯ ВЫРУБКИ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК

Рассматривается процесс проектирования разделительных штампов для вырубки листовых заготовок. Представлены методы формализации базы знаний процесса проектирования типовых штампов с помощью системного подхода на основе иерархической структуры конструкции, состоящей из параметризованных механизмов и узлов.

Ключевые слова: проектирование разделительных штампов, параметризация конструкции, формализация базы знаний.

Введение. Процесс проектирования последовательных разделительных штампов для холодной листовой штамповки сопряжен со значительными трудностями при выборе необходимой конструкции штампа. Сложность определения структуры штампа обусловлена значительным количеством возможных вариантов его конструкций.

Связи между деталями и узлами определяемой конструкции штампа устанавливаются логическими предложениями и высказываниями, формирующими базу знаний процесса проектирования [1]. Отсутствие методик установления, формализации и переноса логических данных в вид, приемлемый для систем автоматизированного проектирования,

© Е. Н. Почекуев, П. Н. Шенбергер, 2012