

УДК 621.771.63

О. И. ТРИШЕВСКИЙ, А. Г. КРЮК, С. Ю. ПЛЕСНЕЦОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ УТОНЕНИЯ В МЕСТАХ ИЗГИБА И ИЗМЕНЕНИЕ ШИРИНЫ ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ

Установлено, что утонение, возникающее в местах изгиба тонкостенных гнутых профилей, увеличивает расчётную ширину заготовки и в ряде случаев, особенно при формовке тонкостенных профилей с элементами двойной толщины сложной конфигурации может приводить к искажению их формы. Проведены теоретические исследования величины утонения в местах изгиба гнутых профилей, получена формула для определения приращения ширины в каждом месте изгиба, которой следует пользоваться при проектировании технологии и выборе ширины заготовки при освоении новых профилей.

Ключевые слова: гнутый профиль, место изгиба, утонение металла, приращение ширины заготовки, крутящий момент, радиальная составляющая скорости.

Встановлено, що стоншування, що виникає в місцях вигину тонкостінних гнутих профілів, збільшує розрахункову ширину заготовки і у ряді випадків, особливо при формуванні тонкостінних профілів з елементами подвійної товщини складної конфігурації може приводити до спотворення їх форми. Проведені теоретичні дослідження величини стоншування в місцях вигину гнутих профілів, отримана формула для визначення приросту ширини в кожному місці вигину, якою слід користуватися при проектуванні технології і виборі ширини заготовки при освоєнні нових профілів.

Ключові слова: гнутий профіль, місце вигину, стоншування металу, приріст ширини заготовки, момент, що крутить, радіальна складова швидкості.

When the forming rolls in roll forming mill in the field of bending metal necking occurs, causing a change in bandwidth during its deformation. Therefore, if we ignore this increase in width of the workpiece, during the development of the production of new profiles situation arises technology, when its width is larger than the estimated width of the roll caliber varying mill, which in some cases can lead to the formation of profile defects flatness its individual elements. The perspective gage of profiles of a difficult configuration with elements of double thickness is analyzed. It is set that the weight of 1 running meter of bent profiles, and, therefore, their thickness, permanently decrease. Now, in a gage there are profiles 0.5 mm thick and less. It causes a row of the additional difficulties connected to receiving qualitative thin-walled profiles, in particular, owing to change of thickness of a preformed band from thin-sheet material, origin of nonplanarity on separate sections of profiles is possible. It is set that thinning of sheet metall, arising up in the places of bend of the thin-walled bent types, increases the calculation width of purveyance and in a number of cases, especially at roll forming of the thin-walled types with the elements of double thickness of the complicated configuration can result in distortion of their form. Theoretical researches of size of thinning in the places of bend of the bent types are conducted, a formula is got for determination of increase of width in every place of bend, which it is necessary to use at planning of technology and and choice of width of purveyance at mastering of new types.

Keywords: bent type, place of bend, thinning of metal, increase of width of purveyance, twisting a moment, radial constituent of speed.

Вступление. В работе [1] приведен анализ современного состояния сортамента гнутых профилей с элементами двойной толщины, в котором отмечается, что ввиду с его постоянного совершенствования и развития, что связано с необходимостью повышать экономические показатели и эффективность применения гнутых профилей в различных металлоконструкциях, вес 1 погонного метра гнутых профилей, а, следовательно, их толщина, постоянно снижаются. В настоящее время, в сортаменте есть профили толщиной 0,5 мм и меньше. А это, в свою очередь, вызывает ряд дополнительных трудностей, связанных с получением качественных тонкостенных профилей. В связи с изложенным работы, направленные на анализ возможных причин появления бракованной продукции, их учёт и дальнейшее совершенствование технологии получения экономически эффективной металлопродукции, являются важными и актуальными.

Анализ состояния вопроса, основных достижений и литературы. При формоизменении в валках профилегибочного стана в местах изгиба происходит утонение металла, вызывающее изменение ширины полосы в процессе ее деформации. В связи с этим, если не учитывать это увеличение ширины заготовки, при освоении

технологии производства новых профилей возникает ситуация, когда её ширина оказывается больше расчётной ширины калибра валков в той или иной клетки, что в ряде случаев может привести к образованию дефектов профиля по неплоскостности его отдельных элементов. Особенно часто возникновение такого дефекта возможно при освоении профилей сложной формы, в том числе с элементами двойной толщины из тонкостенного материала [1].

В работах [2–5] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов формообразования таких профилей, однако, задача определения конечной зависимости приращения ширины заготовки в процессе формовки там не ставилась и не решалась.

В связи с изложенным, **целью данной работы** является проведение теоретических исследований формообразования участка изгиба на профилях, результаты которых позволили бы получить инженерную зависимость приращения ширины заготовки на участках изгиба, которую можно использовать при проектировании калибровок валков для освоения новых тонкостенных профилей с элементами двойной толщины.

Материалы исследований. Для исследования распределения утонения по поперечному сечению полосы в процессе профилирования рассмотрим

изгиб ее нижним валком в ручье калибра верхнего валька (рис. 1).

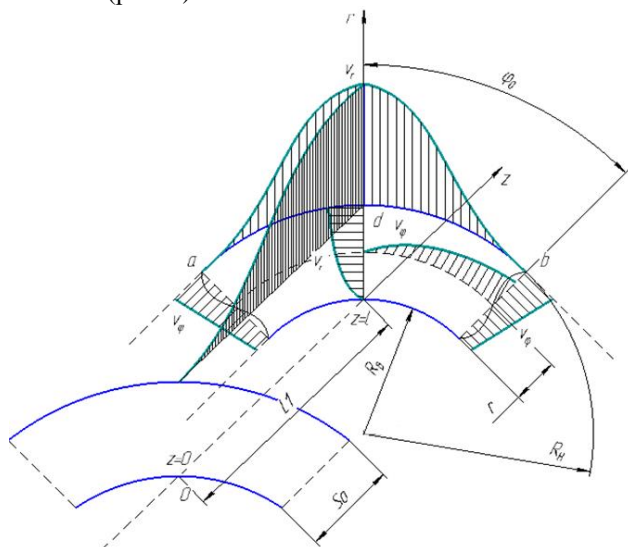


Рис.1 – Схема очага деформации при формообразовании места изгиба на гнутом профиле

При этом значение изгибающего момента для материала, обладающего упругопластическими свойствами, определим по формуле [6].

$$M = \frac{S_0^2 L_1}{4} \left[\sigma_s \left(1 - \frac{P}{E} \right) \left(1 - \frac{4\sigma_s \rho^2}{3E^2 S_0^2} \right)^2 + \frac{P S_0}{3\rho} \right]. \quad (1)$$

где $\rho = \sqrt{R_H R_B}$ – радиус нейтрального слоя напряжений;

P – модуль упрочнения;

S_0 – исходная толщина заготовки;

L_1 – длина очага деформации перед формирующей клетью.

Это выражение позволяет определить радиус кривизны в любом сечении полосы, если известно распределение изгибающих моментов. При этом ширина мест изгиба в каждой последующей клетке равна ширине пластически-деформированного участка полосы в предыдущей клетке.

Сопоставляя распределение изгибающих моментов по ширине полосы с его значением на границе участка пластической деформации можем определить ширину места изгиба, на которой происходит утонение металла.

$$M = \sigma_s \frac{S_0^2 L_1}{4}, \quad (2)$$

Приняв во внимание, что распределение изгибающих моментов является функцией внешних сил в каждом сечении по ширине места изгиба, можно определить радиус кривизны из уравнения (1):

$$\frac{8\sigma_s^3 \left(1 - \frac{P}{E} \right)}{9E^4 S_0^4} \rho^4 - \frac{8\sigma_s^2 \left(1 - \frac{P}{E} \right)}{3E^2 S_0^2} \rho^2 + \frac{P S_0}{3} \rho - \left[\frac{4M}{L_1 S_0^2} - \sigma_s \left(1 - \frac{P}{E} \right) \right] = 0. \quad (3)$$

Рассматривая утонение в каждом конкретном сечении места изгиба как функцию относительного радиуса кривизны в этом же сечении, определенного по формуле (3), величину утонения находим из следующего уравнения [7]:

$$\eta^3 - 2\eta^2(2r_e + 1) + \eta(4r_e^2 + 4r_e + 1,25) - 0,25 = 0, \quad (4)$$

где η – относительное удлинение,

r_e – относительный внутренний радиус.

Таким образом, уравнения (3) и (4) позволяют установить зависимость утонения от параметров и формы профиля, механических свойств металла полосы.

Учитывая, что при профилировании значение утонения с увеличением относительного радиуса изгиба стремится к нулю, а при его уменьшении – значительно возрастает, с достаточной степенью точности можно принять зависимость абсолютного утонения от радиуса изгиба в виде гиперболы:

$$\Delta S = \frac{A}{\rho^n}, \quad (5)$$

где A и n – постоянные.

Исследования изготовления на профилегибочных станах уголков, швеллеров и других сортовых профилей показало, что перемещение металла в местах изгиба вдоль полосы отсутствует, поэтому осевая составляющая скорости равна нулю:

$$v_z = 0. \quad (6)$$

Остальные две составляющие – радиальная v_r и тангенциальная v_φ – зависят от всех трех координат:

$$v_r = v_r(r, \varphi, z); \quad v_\varphi = v_\varphi(r, \varphi, z).$$

Экспериментальные исследования утонения в местах изгиба показали, что по мере прохождения полосы через валки профилегибочного стана, то есть с уменьшением внутреннего радиуса места изгиба, увеличивается степень утонения; при этом утонение по ширине места изгиба распределяется неравномерно и является функцией полярного угла φ в месте изгиба.

Так как скорости частиц металла тождественно равны перемещениям в единицу времени, радиальную составляющую скорости можно записать в общем виде следующим образом:

$$v_r = \left(Ar + \frac{B}{r} \right) \Phi(\varphi) \frac{z}{l}, \quad (7)$$

где r – текущий радиус-вектор точки в месте изгиба;

A и B – постоянные коэффициенты;

$\Phi(\varphi)$ – функция полярного угла φ , учитывающая зависимость радиальной составляющей скорости v_r от этого угла;

l – длина участка полосы, на которой происходит утонение при формоизменении полосы от плоской до готового профиля;

z – аппликата рассматриваемого поперечного сечения полосы.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що змінення кута підгибки полок на участку очага деформації за осевої плоскістю валков незначительно по сравнению з зміненням його перед этой плоскістю. В соответствии з зміненням кута підгибки змінюються і деформації в місці згиба. Поэтому длину участка полосы l , на которой происходит утонение, принимаем как сумму длин очагов деформации перед осевої плоскістю валков по всем проходам, считая, что величина утонения распределяется по этой длине равномерно.

Для нахождения коэффициентов A и B уравнения (7) рассмотрим перемещение точек металла, лежащих на биссектрисе угла згиба (при $\varphi = 0$) в поперечном сечении полосы $z=l$. В этом сечении перемещение частиц металла, лежащих на биссектрисе угла згиба, происходит только вдоль радиуса, что позволяет принять в выражении для радиальной составляющей скорости этих точек $\Phi(\varphi) = 1$, после чего выражение (7) можно записать в следующем виде:

$$v_r = Ar + \frac{B}{r} \quad (8)$$

Коэффициенты A и B выражения (8) можно определить из граничных условий формоизменения полосы в валках профилегибочного стана: точка касания полосы с вершиной верхнего валка, лежащая на биссектрисе угла места згиба во внутреннем радиусе, остается неподвижной относительно остальных точек места згиба на всем протяжении перехода полосы из плоской заготовки в готовый профиль, то есть ее радиальное перемещение равно нулю, а точка, лежащая на наружном радиусе, получает максимальное перемещение.

Таким образом, эти граничные условия имеют вид:

$$v_r = 0 \text{ при } r=R_g; \quad v_r = -v_0 \text{ при } r=R_n. \quad (9)$$

Из (7) и (9) получим систему двух уравнений с двумя неизвестными A и B :

$$AR_g + \frac{B}{R_g} = 0; \quad AR_n + \frac{B}{R_n} = -v_0. \quad (10)$$

Решаем (10):

$$A = -\frac{v_0}{R_n - \frac{R_g^2}{R_n}}; \quad B = \frac{v_0 R_g^2}{R_n - \frac{R_g^2}{R_n}}. \quad (11)$$

Подставив значения A и B (11) в (8), после некоторых преобразований получим следующее выражение для радиальной составляющей скорости:

$$v_r = -\frac{v_0}{R_n - \frac{R_g^2}{R_n}} \left(r - \frac{R_g^2}{r} \right) \Phi(\varphi) \frac{z}{l}. \quad (12)$$

В выражении (12) осталась неизвестной только функция $\Phi(\varphi)$. На основании экспериментальных исследований было встановлено, что змінення утонения по ширине места згиба описывается функцией следующего вида:

$$\Phi(\varphi) = \cos^4 \frac{\pi\varphi}{2\varphi_0} \quad (13)$$

Подставив (13) в (12), получим окончательное выражение для радиальной составляющей скорости:

$$v_r = -\frac{v_0}{R_n - \frac{R_g^2}{R_n}} \left(r - \frac{R_g^2}{r} \right) \frac{z}{l} \cos^4 \frac{\pi\varphi}{2\varphi_0}. \quad (14)$$

Так как течение металла вдоль полосы отсутствует, то площадь, заключенная между наружной поверхностью места згиба в деформированном и недеформированном состояниях, будет определять приращение ширины исходной заготовки при ее формоизменении.

Эту площадь можно определить следующим образом:

$$F = \int_0^{\varphi_0} v_r R_n d\varphi \quad (15)$$

где v_r – радиальная составляющая скорости;

$R_n d\varphi$ – длина элемента дуги на наружной поверхности места згиба.

Подставив выражение радиальной составляющей скорости из (14) при $\eta=R_n$ в (15) и проинтегрировав, получим:

$$F = \frac{3}{4} v_0 R_n \varphi_0 \frac{z}{l}$$

Для готового профиля (то есть при $\frac{z}{l} = 1$),

имеем:

$$F = \frac{3}{4} v_0 R_n \varphi_0$$

Тогда величина приращения ширины исходной заготовки

$$\Delta b = \frac{F}{S_0} = \frac{3}{4} v_0 \frac{R_n \varphi_0}{S_0} \quad (16)$$

где R_n – наружный радиус в месте згиба, мм;

$\varphi_0 = \frac{\alpha}{2}$ – половина угла подгибки элемента профиля, принятого по калибровке, рад;

$v_0 = \Delta S_{\max}$ – величина максимального утонения в месте згиба, мм;

Подставив в (16) значения φ_0 и v_0 , получим формулу для определения величины приращения ширины исходной заготовки:

$$\Delta b = \frac{3\Delta S_{\max}}{8S_0} R_n \alpha \quad (17)$$

Выводы. 1. На основании исследования процесса утонения в местах згиба получена формула

для определения величины приращения ширины исходной заготовки.

2. Полученная зависимость позволит правильно определять ширину исходной заготовки для получения качественных гнутых профилей проката с размерами в пределах установленных допусков на готовое изделие.

Список литературы:

1. Тришевский О.И., Плеснецов С.Ю. Анализ современного состояния производства и применения специальных профилей с местами изгиба на 180°. // Обработка материалов давлением. Сб. науч. трудов ДГМА. – Краматорск. – 2009. – № 2 (21). – С. 227–230.
2. Тришевский О.И., Плеснецов С.Ю. Теоретический анализ формовки специальных профилей с местами изгиба на 180°. // Вісник НТУ «ХПІ». Харків. – 2009. – № 33. – С. 119–130.
3. Тришевский О.И., Плеснецов С.Ю. Разработка методики исследования специальных гнутых профилей с элементами изгиба на 180° и технологии их производства // Вісник НТУ У «КПІ» – Київ. – 2010. – № 60 – С. 212–215.
4. Плеснецов С.Ю. Исследование угонений и смещения нейтрального слоя при изгибе листового металла на 180°. // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків. – 2011. – № 47. – С. 69–75.
5. Плеснецов С.Ю., Тришевский О.И. Теоретический анализ деформированного состояния металла в местах изгиба до 180°. // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків. – 2015. – № 24 (1133). – С. 77–86.
6. Алексеев Ю. Н. Вопросы пластического течения металлов. // Харьков: Изд-во ХГУ, 1958.

Бібліографічні описи / Библиографическое описание / Bibliography descriptions

Исследование угонения в местах изгиба и изменение ширины исходной заготовки / О. И. Тришевский, А. Г. Крюк, С.Ю. Плеснецов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 30(1202). – С. 74–78. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2519-2671

Дослідження стоншування в місцях вигину і зміна ширини вихідної заготовки / О. І. Тришевський, А. Г. Крюк, С. Ю. Плеснецов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 30(1202). – С. 73–78. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2519-2671

Thinning research in places of a bend and change of width of the initial purveyance / O. I. Trishevsky, A. G. Kryuk, S. Yu. Plesnetsov // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2016. – No 30 (1202). – P. 74–78. – Bibliogr.: 7 – ISSN 2519-2671

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Тришевський Олег Ігоревич – доктор технічних наук, професор, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенко, завідувач кафедри «Технологія матеріалів» тел. 050-407-26-11, e-mail: 3shev@ukr.net.

Тришевський Олег Ігоревич – доктор технічних наук, професор, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенко, завідувач кафедри «Технологія матеріалів» тел. 050-407-26-11, e-mail: 3shev@ukr.net.

Trishevskiy Oleh Igorovic – doctor of engineering sciences, professor, Kharkiv national technical university of agriculture, the name of Petro Vasilenko, manager of department «Technology of materials», tel., 407-26-11, e-mail: 3shev@ukr.net.

Крюк Анатолій Григорьевич – кандидат технічних наук, професор кафедри «Естественные науки и технологии» Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця, г. Харків; тел.: (057) 7020265 (доп. 328); e-mail: kافتtech@hneu.edu.ua.

Крюк Анатолій Григорьевич – кандидат технічних наук, професор кафедри «Природничі науки та технології» Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця, м. Харків; тел.: (057) 7020265 (доп. 328); e-mail: kافتtech@hneu.edu.ua.

Kryuk Anatoliy Grigorievich – PhD, professor of "Science and Technology" Kharkiv National Economic University named after Semen Kuznets on Kharkiv; tel. (057) 7020265 (доп. 328); e-mail: kافتtech@hneu.edu.ua

Плеснецов Сергей Юрьевич – ассистент кафедры ПМНК, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» (НТУ «ХПИ»), тел. 050-841-30-09, e-mail: plesnetsov@gmail.com.

Плеснецов Сергій Юрійович – ассистент кафедры ПМНК, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»), тел. 050-841-30-09, e-mail: plesnetsov@gmail.com

Plesnetsov Sergey Yurevich – ассистент kafedry PMNK, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (NTU «KHPI»), tel. 050-841-30-09, e-mail: plesnetsov@gmail.com.