

УДК 621.771.63:621.7.043

Тришевский О. И.
Крюк А. Г.**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ ГОФРОВ, ФОРМУЕМЫХ МЕСТНОЙ ВЫТЯЖКОЙ В ВАЛКАХ**

Одним из прогрессивных и наиболее экономичных видов металлопродукции являются профили высокой жёсткости, представляющие собой листовые или профильные изделия, на плоских, наиболее нагруженных участках которых выполнены прерывистые гофры различной конфигурации и расположения, повышающие жёсткость всей детали в целом.

Профили высокой жесткости, которые благодаря своей высокой конструктивной готовности и экономичности находят широкое применение во многих металлопотребляющих отраслях промышленности, особенно в тяжелом, транспортном машиностроении, автомобилестроении, сельскохозяйственном машиностроении и строительстве, можно разделить на несколько групп:

листовые профили высокой жесткости, представляющие собой листовые изделия с плоскими, недеформированными участками вдоль кромок и периодическими гофрами различной формы и ориентации, выполненными на центральном участке профиля;

тонкостенные профили высокой жесткости – сортовые гнутые профили типа корытных, швеллерных, С-образных, чаще всего больших сечений и разверток, на плоские стенки и полки которых нанесены прерывистые гофры жесткости;

листовые и сортовые рифленые профили повышенной жесткости, представляющие собой листовые или профильные изделия, усиленные по всему сечению или на отдельных участках мелкими сквозными продольными гофрами (рифлениями), которые при толщине заготовки 0,5–2,0 мм могут иметь высоту 1–5 мм и шаг 3–10 мм;

комбинированные профили высокой жесткости – различные сочетания и модификации профилей первых трех групп.

Общим для профилей всех указанных групп является наличие на их плоских элементах гофров жёсткости, формообразование которых осуществляется за счёт местной вытяжки, т. е. запаса пластических свойств металла заготовки. Причём, в отличие от листовой штамповки на прессах формообразование гофров происходит при контакте с валками лишь в их осевой плоскости и по небольшим участкам очага деформации, образуемым формирующими элементами перед осевой плоскостью. По основной плоскости заготовки полоса ничем не зафиксирована, что создаёт определённые трудности в получении качественных гофров. Кроме того, для гофров, расположенных у боковых кромок заготовки, и гофров по середине листового профиля, а также гофров, расположенных на стенках тонкостенных профилей высокой жёсткости условия формообразования (за счёт возможности перемещения металла в зону формовки и утяжки боковых кромок) отличаются друг от друга.

Формообразование гофров жёсткости на листовой заготовке происходит за счет пластической деформации на участке формовки и сопровождается соответствующей упругой деформацией. Эта деформация оказывает существенное влияние на геометрические параметры профиля, вызывая пружинение металла и соответствующее уменьшение высоты отформованного гофра.

Таким образом, характерные особенности формообразования гофров за счёт местной вытяжки металла в валках профилегибочных станков могут приводить к несоответствию фактических размеров одного из основных конструктивных параметров гофров – их действительной высоты – высоте, заложенной при проектировании технологии, а также разновысотности полученных гофров по ширине полосы. Эти особенности формовки существенно снижают эксплуатационные свойства полученной продукции, в частности её несущую способность, и должны учитываться при разработке технологии изготовления новых профилей.

В работе [1] описываются перспективы развития производства эффективных профилей высокой жёсткости и не рассматриваются технологические аспекты решения этой проблемы. Работа [2] посвящена вопросам получения качественных профилей лишь по показателю плоскостности готовой продукции и обеспечению условий формовки, которые не вызвали бы пластическую потерю устойчивости плоских элементов профиля. Наконец, в работе [3] среди приведенных в изложенной методике расчёта основных технологических параметров изготовления профилей высокой жёсткости формовкой в валках зависимостей, приведена формула для определения критической высоты формовки гофров по критерию не нарушения сплошности металла, но не рассматриваются вопросы уменьшения высоты гофров за счёт пружинения металла.

Целью данной работы является определение действительной высоты гофров, получаемых формовкой в валках за счёт местной вытяжки металла с учетом пружинения, что является важным и недостаточно исследованным вопросом проектирования технологического процесса валковой формовки профилей с периодическими гофрами.

При разработке рациональной технологии получения профилей высокой жёсткости одним из важнейших технологических параметров, без определения которого невозможно правильно рассчитать и спроектировать калибровку валков, получить бездефектную, качественную продукцию – является критическая высота формовки гофров до нарушения сплошности металла (т. е. до возникновения трещин и надрывов на гофрах).

В работе [3] была приведена аналитическая зависимость для определения максимальной допустимой высоты, которую можно получить формовкой без нарушения сплошности гофра:

$$H_{кр} = \frac{2\sqrt{3}b_2}{\pi} \sqrt[m+1]{\frac{A_{кр}}{K}}, \quad (1)$$

где $A_{кр}$ – удельная критическая работа разрушения, определяемая по стандартным испытаниям образца материала на растяжение;

b_2 – половина ширины поперечного сечения гофра;

K и m – коэффициенты упрочнения металла в процессе формовки.

Для учёта и определения действительной высоты гофра после пружинения разработана расчетная схема (рис. 1), в соответствии с которой конфигурация отформованного гофра представляет собой косинусоиду с амплитудой, равной высоте гофра H . Считаем, что после пружинения конфигурация гофра остается прежней, однако амплитуда косинусоиды уменьшается до величины $H_{ост}$, равной действительной высоте гофра.

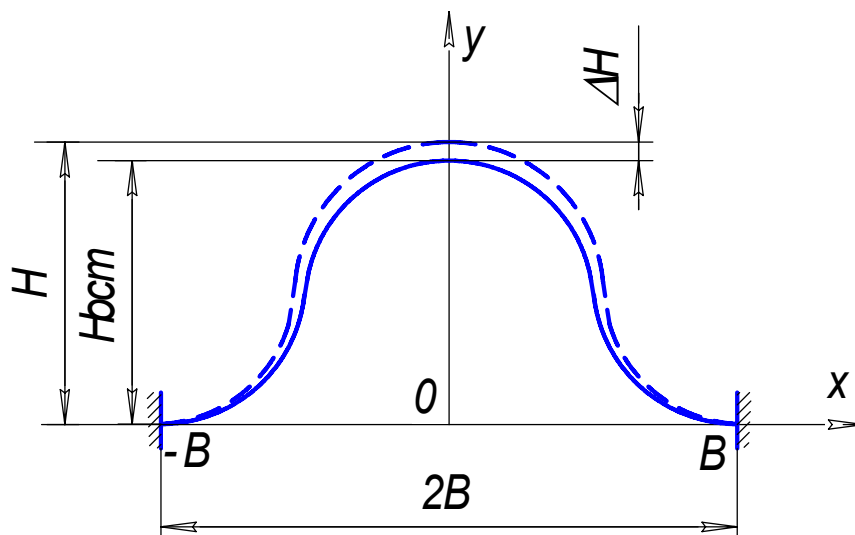


Рис. 1. Расчётная схема для определения высоты гофров

Относительная продольная деформация элемента определяется выражением [4]:

$$e = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2} - 1 = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2 \right]. \quad (2)$$

Согласно принятой в работе [5] схеме формоизменения перемещение материальной точки происходит в процессе вытяжки только в направлении оси y , т. е.:

$$x = x_0; \quad z = z_0; \quad y = \frac{H}{4} \left(1 + \cos \frac{\pi x}{B_{o.d.}} \right) \left(1 + \cos \frac{\pi z}{L_{o.d.}} \right), \quad (3)$$

где x, y, z – текущие координаты материальной точки произвольного поперечного сечения продольного гофра;

x_0, z_0 – начальные координаты;

$B_{o.d.}$ – половина ширины очага деформации;

$L_{o.d.}$ – длина очага деформации.

Продифференцировав выражения (3), определим составляющие выражения (2):

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{H\pi}{4B_{o.d.}} \left(1 + \cos \frac{\pi z}{L_{o.d.}} \right) \sin \frac{\pi x}{B_{o.d.}}; \quad \frac{dz}{dx} = 0. \quad (4)$$

Подставив полученные выражения в формулу (2), получим:

$$e = \frac{H^2 \pi^2}{32 B_{o.d.}^2} \left(1 + \cos \frac{\pi z}{L_{o.d.}} \right)^2 \sin^2 \frac{\pi x}{B_{o.d.}}. \quad (5)$$

Характер распределения относительной деформации приведен на рис. 2.

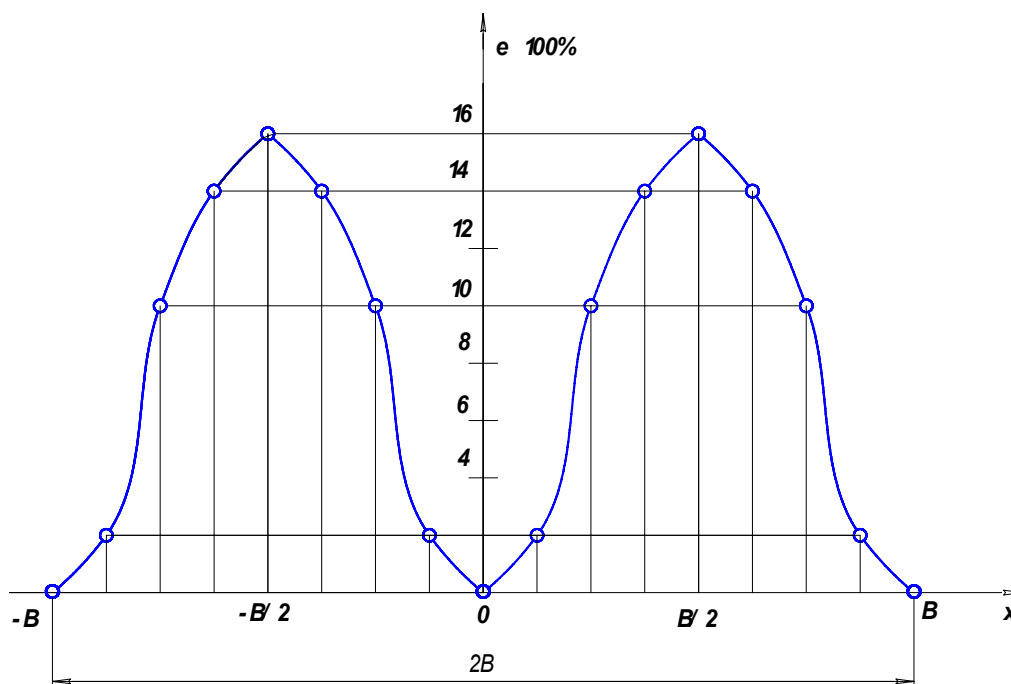


Рис. 2. Характер распределения относительной деформации

Из графика следует, что максимальные значения относительная деформация принимает в точках $\pm B_{o.d.}/2$. То есть, в области точек перегиба косинусоиды, описывающей поперечное сечение гофра (рис. 1), происходит максимальное удлинение металла.

Для определения действительного абсолютного удлинения $l_{действ.}$ (длины развертки гофра в сечении с максимальной высотой) проинтегрируем выражение (5).

Для половины очага деформации имеем:

$$l_{действ.} = \int_0^{B_{o.d.}} \frac{H^2 \pi^2}{32B_{o.d.}^2} \left(1 + \cos \frac{\pi z}{L_{o.d.}}\right) \sin^2 \frac{\pi x}{B_{o.d.}} dx = \frac{H^2 \pi^2}{64B_{o.d.}} \left(1 + \cos \frac{\pi z}{L_{o.d.}}\right)^2. \quad (6)$$

Следовательно, равномерная деформация для половины очага деформации будет равна:

$$e_p = \frac{l_{действ.}}{B} = \frac{H^2 \pi^2}{64B_{o.d.}^2} \left(1 + \cos \frac{\pi z}{L_{o.d.}}\right)^2. \quad (7)$$

По известной зависимости [6] остаточная деформация определяется:

$$e_{ост} = e_p - \frac{K e_p^m}{E}. \quad (8)$$

где K и m – коэффициенты степенной функции, характеризующей упрочнение металла при пластической деформации; E – модуль упругости.

После подстановки получим:

$$e_{ост} = \frac{H^2 \pi^2}{64B_{o.d.}^2} \left(1 + \cos \frac{\pi z}{L_{o.d.}}\right)^2 - \frac{K}{E} \left[\frac{H^2 \pi^2}{64B_{o.d.}^2} \left(1 + \cos \frac{\pi z}{L_{o.d.}}\right)^2 \right]^m. \quad (9)$$

Используя выражение (7) для определения остаточной деформации, можно записать:

$$e_{ост} = \frac{H_{ост}^2 \pi^2}{64B_{o.d.}^2} \left(1 + \cos \frac{\pi z}{L_{o.d.}}\right)^2. \quad (10)$$

Отсюда получим выражение для определения действительной высоты гофра после разгрузки:

$$\begin{aligned} H_{ост} &= \frac{8B_{o.d.}}{\pi \left(1 + \cos \frac{\pi z}{L_{o.d.}}\right)} \sqrt{e_{ост}} = \\ &= \frac{8B_{o.d.}}{\pi \left(1 + \cos \frac{\pi z}{L_{o.d.}}\right)} \sqrt{\frac{H^2 \pi^2}{64B_{o.d.}^2} \left(1 + \cos \frac{\pi z}{L_{o.d.}}\right)^2 - \frac{K}{E} \left[\frac{H^2 \pi^2}{64B_{o.d.}^2} \left(1 + \cos \frac{\pi z}{L_{o.d.}}\right)^2 \right]^m}. \end{aligned} \quad (11)$$

Полученное выражение дает возможность определить величину изменения высоты гофра в очаге деформации при пружинении металла:

$$\Delta H = H - H_{ост}. \quad (12)$$

Максимальное пружинение металла наблюдается в конце очага деформации, при $z = 0$.

$$\Delta H = H - \frac{4B_{o.d.}}{\pi} \sqrt{\frac{H^2 \pi^2}{64B_{o.d.}^2} - \frac{K}{E} \left(\frac{H^2 \pi^2}{64B_{o.d.}^2} \right)^m}. \quad (13)$$

При формообразовании поперечных гофров связь между текущими и начальными координатами в направлении оси у устанавливается зависимостью:

$$y = \frac{H}{2} \left(1 + \cos \frac{\pi x}{B_{o.d.}} \right). \quad (14)$$

С учетом (14) приведенная методика определения величины действительной высоты гофров может быть использована и для случая формообразования профилей с гофрами поперечной ориентации.

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании анализа пружинения металла, возникающего при формовке продольных и поперечных гофров, получено выражение для определения действительной высоты отформованного гофра после разгрузки. Использование этого выражения при расчете калибровок рабочих валков для производства профилей с периодически повторяющимися гофрами позволяет заведомо увеличивать диаметр формирующих элементов рабочих валков на величину пружинения гофров и тем самым повышать качество изготавливаемых профилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тришевский О. И. Технологические возможности и перспективы развития производства профилей высокой жёсткости с периодически повторяющимися гофрами / О. И. Тришевский // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наукових праць ДДМА. – Краматорськ, 2002. – С. 225–229.
2. Тришевский О. И. Определение обобщённого показателя качества профилей высокой жёсткости и его учёт при разработке новых типов профилей / О. И. Тришевский // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Технічний сервіс АПК, техніка та технології у с/г машинобудуванні. – Харьков, 2004. – Выпуск 23. – С. 85–92.
3. Тришевский О. И. Комплексная методика расчёта основных технологических параметров изготовления профилей высокой жёсткости формовкой в валках / О. И. Тришевский // Вісник Інженерної академії наук України. – Київ, 2001. – № 3. – С. 38–41.
4. Тришевский И. С. Определение деформаций и напряжений в подгибаемых элементах при профилировании с постоянными радиусами мест изгиба и постоянным расстоянием между их центрами / И. С. Тришевский, М. Е. Докторов // Теория и технология производства экономичных гнутых профилей проката. – Харьков, 1970. – Выпуск 15. – С. 35–50.
5. Алексеев Ю. Н. Исследование напряженно-деформированного состояния металла при формовке продольных периодически повторяющихся гофров / Ю. Н. Алексеев, О. И. Тришевский, А. Г. Крюк // Гнутые профили проката : сб. научных трудов УкрНИИМета. – Харьков, 1977. – Выпуск 5. – С. 44–50.
6. Ильюшин А. А. Пластичность / А. А. Ильюшин. – М. : Гостехиздат, 1948. – 378 с.

Тришевский О. И. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ХНТУСХ;

Крюк А. Г. – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой ХНЭУ.

ХНТУСХ – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, г. Харьков.

ХНЭУ – Харьковский национальный экономический университет, г. Харьков.

E-mail: 3shev@ukr.net