

УДК.621.771.63

Забара А. С.
Плеснецов Ю. А.**АНАЛИЗ СХЕМ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ЗАМКНУТОГО СЕЧЕНИЯ**

В условиях создания в Украине основ рыночной экономики, возникновения и обострения конкурентных отношений, проблема материалоемкости промышленной продукции и выведения ее по этому показателю на уровень, достигнутый в промышленно развитых странах, становится первоочередной.

Один из эффективных путей экономии металла – увеличение производства и поиск новых областей применения гнутых профилей. Гнутые профили проката – высокоэкономичный вид металлопродукции, изготавливаемой методом непрерывного профилирования листового материала на профилегибочных агрегатах различного типа.

Вопросом разработки сортамента гнутых профилей замкнутого сечения (ГПЗС) и освоение их производства в Украине уделяется значительное внимание в связи с эффективностью их применения. Наибольшее количество разработок в этом направлении выполнено в Украинском научно-исследовательском институте металлов (УкрНИИМете). В то же время, выполненный в УкрНИИМете комплекс работ, направлен на реализацию технологий производства ГПЗС из заготовки 3 мм и более.

В последние годы все более четко прослеживается тенденция в использовании гнутых профилей замкнутого сечения [1]. Высокоэкономичные гнутые профили находят все более широкое применение в промышленном и гражданском строительстве (в качестве элементов несущих конструкций зданий и сооружений, перегородок, заборов, автостоянок, парковочных площадок и т. п.), машиностроении, мебельной промышленности, благодаря чему, не только обеспечивается экономия металла, но и значительно снижается трудоемкость изготовления, а также облегчается унификация узлов и элементов. Гнутые профили замкнутого сечения применяют в качестве декоративных элементов и используются для отделки либо в качестве деталей предметов интерьера. Одним из таких элементов является профильная труба шириной $b = 70$ мм, высотой $h = 11$ мм, и толщиной $s = 1,5$ мм (см. рис. 1).

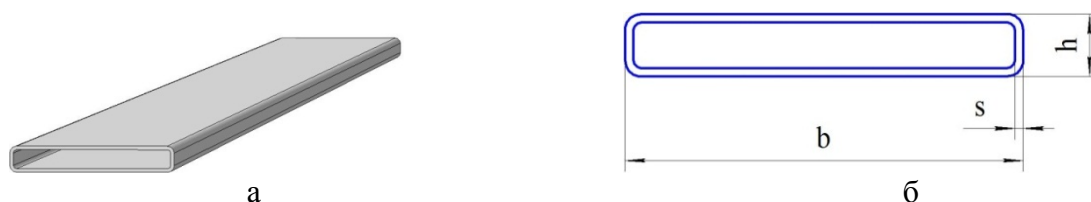


Рис. 1. Профильная труба:
а – общий вид; б – сечение

В настоящее время в Украине отсутствуют технологии производства такого вида продукции, что связано в первую очередь с мелкосерийным характером производства и большими капитальными затратами на разработку технологии и оборудования, а также на изготовление последнего. Окупаемость капитальных затрат может быть достигнута при создании технологии, позволяющей изготавливать профильные трубы на существующем оборудовании предприятия-изготовителя.

В Украине производство гнутых профилей замкнутого сечения развито недостаточно, в литературе отсутствуют данные, позволяющие разработать промышленную технологию их производства, имеет место значительное количество импортной продукции, в связи с чем работы, направленные на создание научных и технологических основ их импортозамещающего производства, являются важными и актуальными.

Цель работы – разработка научно обоснованной модели валковой формовки профильных труб.

В соответствии с поставленной целью в работе выполнены исследования деформированного состояния металла при осадке круглой трубной исходной заготовки.

Особенностью гнутого профиля замкнутого сечения рис. 1 является отношение ширины профиля к его высоте $b/h = 6,3$. Разработана технология изготовления этих профилей из стали 08 кп (ГОСТ 1050).

Общей схемой технологического процесса выбрана предварительная формовка круглой трубной заготовки с продольной сваркой кромок в технологическом потоке и последующая ее переформовка в прямоугольный профиль.

В процессе переформовки трубной заготовки происходит образование прямолинейных и криволинейных элементов, взаимное расположение которых дает ту или иную конфигурацию поперечного сечения замкнутого профиля, заданную калибровкой валков [2].

Расчету калибровки валков предшествовал расчет ширины заготовки, проводимый в два этапа:

1. Определение периметра профилей и соответствующего ему диаметра трубной заготовки.
2. Расчет ширины полосовой заготовки с учетом припуска на оплавление кромок.

Периметр сечений профилей определялся как сумма длин их прямолинейных и криволинейных элементов (по наружной линии), согласно рис. 1. Для профиля размерами $b = 70$ мм, $h = 11$ мм периметр равен 157,02 мм.

Указанным размерам соответствует развертка трубы диаметром $d = 50$ мм, периметр по наружному диаметру составляет 157,08 мм.

Конструкция гнутых профилей замкнутого сечения содержит проблемные участки для формовки: прямолинейные участки, угловые зоны. Формовка прямолинейных участков представляют существенные трудности в части обеспечения размерной точности элементов и минимизации утонения. Утонение по условиям технического задания не должно превышать 0,1 мм. Такое требование связано с эксплуатационной нагрузкой профиля в мебельной конструкции. В этой связи был выполнен комплекс теоретических исследований процесса формообразования упомянутого профиля.

Типоразмер профиля и параметры осадки во многом определяют возможность появления того или иного рода дефектов (потеря устойчивости полок, утонение угловых зон и др.) [3]. Зависимость появления этих дефектов от параметров оборудования, числа переходов, конфигурации калибров роликов и настроечных параметров технологического процесса предполагает построение математических моделей с целью оптимизации процесса профилирования. Применение математического моделирования процесса формообразования профиля позволяет сократить затраты на создание технологии.

Величина осадки задается шириной заготовки и конструкцией формирующих роликов. Поэтому создание модели, позволяющей прогнозировать геометрию зоны изгиба, является важной задачей для создания технологии, в части назначения параметров заготовки и размеров калибра.

В зависимости от величины осадки в работе рассматривались три варианта схем формообразования, приведенных на рис. 2. Во всех вариантах формовка профиля осуществлялась, на первых переходах – горизонтальными валками, на последующих переходах – универсальным четырехвалковым калибром [4].

Во всех трех вариантах схем формообразования на каждом технологическом переходе (рис. 2) применен различный коэффициент осадки:

$$k_n = \frac{(h_{n-1} - h_n)}{r_n}, \quad (1)$$

где k_n – коэффициент осадки n -го перехода;

h_{n-1} – высота формовки $n - 1$ перехода;

h_n – высота формовки n -го перехода;
 r – радиус формовки n -го перехода;
 n – номер перехода.

В табл. 1 приведен коэффициент осадки, в зависимости от вариантов схем формообразования.

Таблица 1

Номер варианта схем формообразования	Коэффициент осадки				
	Номер перехода				
	1	2	3	5	6
I	0,227	0,136	0,053	0,043	0,020
II	0,200	0,125	0,053	0,013	0,004
III	0,200	0,143	0,058	0,030	0,007

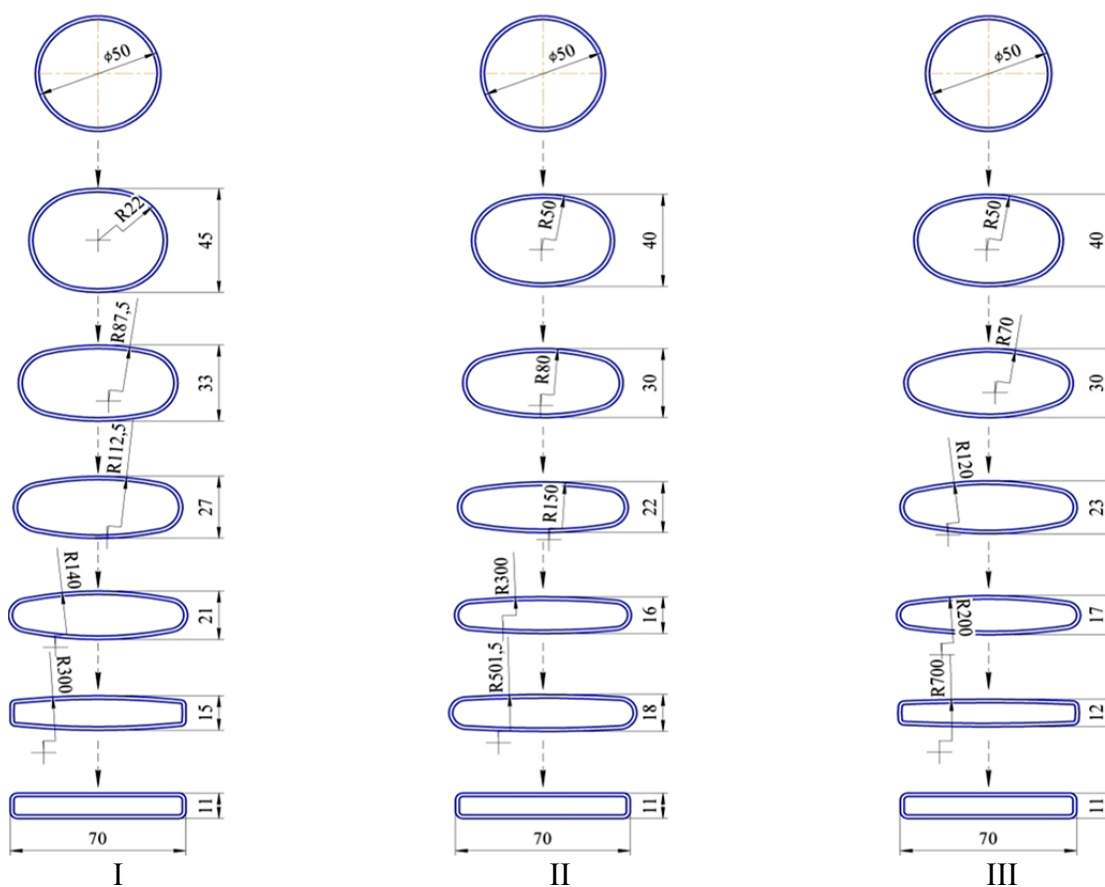


Рис. 2. Схемы формовки профильной трубы:
 I, II, III – номер варианта схем формообразования

Подгибка каждого элемента происходит до достижения заданной формы профиля по переходам. Так, в первом варианте, на первых четырех переходах формируется полка А и В, а на двух последних переходах – полка А, В, С и D (рис. 3). Во втором варианте, на первых пяти переходах формируется полка А и В, а на последнем переходе – полка А, В, С и D. В третьем варианте, на первых трех переходах формируется полка А и В, а на трех последующих переходах – полка А, В, С и D.

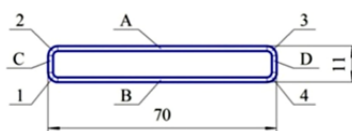


Рис. 3. Схема разделения профиля на участки:
 1, 2, 3, 4 – угловые; А, В, С, D – прямолинейные

Разработка аналитических моделей процесса осадки осложняется тем, что необходимо решать задачу теории пластического течения с учетом перемещений материальных частиц при неопределенности задания условий на границе раздела прямолинейного и радиусного участков заготовки. Кроме того, при высвобождении угловых зон роликового калибра заранее невозможно прогнозировать кривизну свободных от нагрузки контуров зоны изгиба заготовки, в связи с чем, использование моделирования процесса осадки заготовки с помощью метода конечных элементов, безусловно, целесообразно.

Ранее установлено, что использование моделирования процесса осадки заготовки с помощью метода конечных элементов средствами программы Deform целесообразно при разработке сложных технологических процессов [5].

Моделирование процесса осадки профиля проводили по трем вариантам схем формообразования из стали 08кп толщиной 1,5 мм с помощью программ Deform 3D v 10.2 и «Компас v 13». Обработка результатов произведена встроенными средствами программы Deform. При разработке объемных моделей для препроцессора использована программа «Компас V13».

Для наиболее характерных шагов изучали напряженно-деформированное состояние в угловой зоне. В качестве иллюстрации на рис. 4 и рис. 5 представлены результаты для промежуточных шагов нагружения.

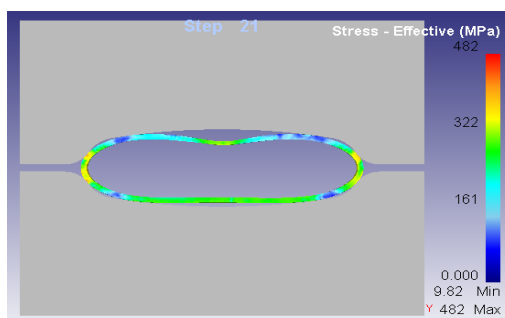


Рис. 4. Модель напряженного состояния II схемы формообразования 21-го шага нагружения

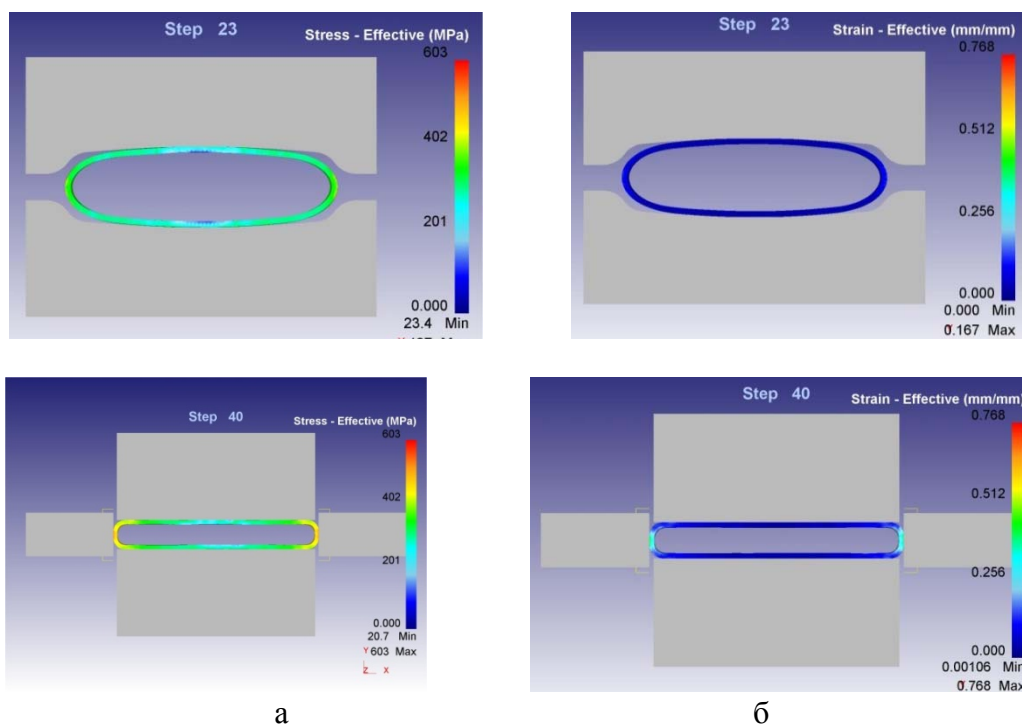


Рис. 5. Модель III схемы формообразования 23-го и 40-го шага нагружения: а – напряжения; б – деформации

Результаты моделирования, отражающие распределение суммарных деформаций в поверхностных слоях по всем технологическим переходам, представлены на рис. 4 и табл. 2.

Таблица 2

Суммарная деформация для наружной поверхности

Номер варианта схем формообразования		Номер перехода					
		1	2	3	5	6	7
I	коэффициент осадки, k	0,227	0,136	0,053	0,043	0,02	-
	деформации ϵ , %	0,540	2,030	4,078	7,470	10,570	-
II	коэффициент осадки, k	0,2	0,125	0,053	0,013	0,004	-
	деформации ϵ , %	0,540	2,200	5,470	9,079	-	-
III	коэффициент осадки, k	0,2	0,143	0,058	0,03	0,007	0,001
	деформации ϵ , %	0,540	1,270	1,900	2,610	3,480	4,000

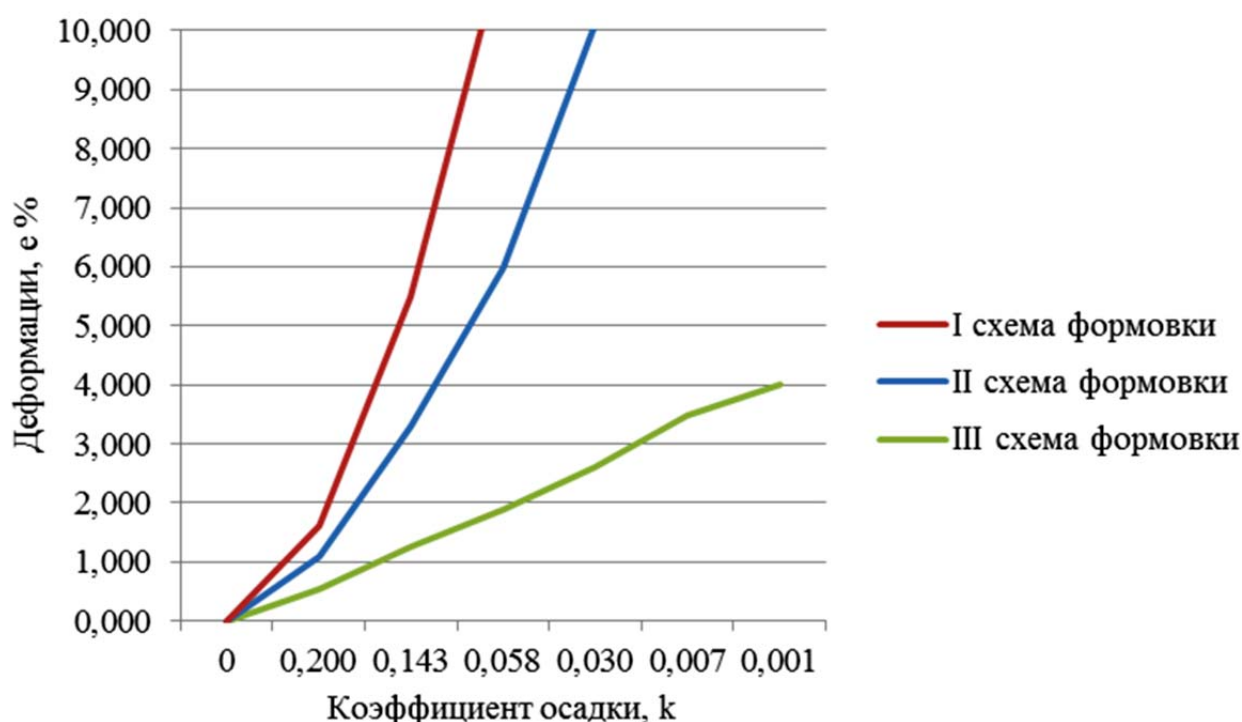


Рис. 6. Суммарная деформация для наружной поверхности

Проведенное моделирование позволило установить, что при I и II схеме формообразования после второго перехода резко возрастают деформации, что приводит к потере устойчивости полок профиля А и В. Деформация профиля при формовке по III схеме формообразования является допустимой и профиль не теряет устойчивость во всех переходах.

На основании полученных данных и с учетом особенностей осадки трубной заготовки в валках разработана технология формовки профильных труб. Предложено применять III схему формообразования. Данная система калибровки обеспечивает меньшее утонение металла в местах изгиба и стабильность размеров по сечению профиля, уменьшает вероятность потери устойчивости профиля. Технологический процесс предполагает осадку трубной заготовки в 6 клетях профилегибочного стана. Переформовку круглого сечения в овальное проводится в первых трех клетях на 60–70 % их глубины. В следующих по схеме двух формирующих клетях поперечное сечение постепенно приближается к конечной форме в заданных размерах. Окончательная правка и калибровка профилей выполняется в последнем переходе.

При осадке трубной заготовки в профильные трубы соблюдаются следующие принципы:

- периметр профиля, определенный по готовому профилю, остается постоянным на каждом переходе;
- элементы профиля на горизонтальных участках в процессе деформации выпрямляются, при этом они не должны терять устойчивости, для чего радиус осадки в каждой последующей клетке выбирают большим, чем радиус осадки в предыдущей клетке;
- применение осадки профиля в последних переходах с использованием четырехвалкового калибра позволяет создать в очаге деформации металла минимальное поперечное растяжение и утонение профиля.

ВЫВОДЫ

В результате анализа научно-технической литературы установлено, что профильные трубы широко применяются в современном строительстве, машиностроении и мебельной промышленности. В Украине отсутствует технология производства тонкостенных профильных труб методом переформовки круглой трубной заготовки в прямоугольный профиль.

Для создания импортозамещающих технологий производства ГПЗС в Украине необходимо выполнение исследований, направленных на создание аналитической модели валковой формовки профильных труб.

Конечно-элементное моделирование формообразования профильной трубы при осадке трубной заготовки позволило определить критические компоненты деформированного состояния металла.

В результате выполненных исследований установлено, что формовка профильных труб по схеме III является оптимальной и может быть использована при разработке промышленной технологии их изготовления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. *Международная маркетинговая группа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.marketing-ua.com.*
2. *А. с. 902909 (СССР). Способ производства замкнутых профилей / И. С. Тришевский, И. Е. Пацека, Э. М. Темников (СССР). – № 2945348/25-27; заявл. 25.06.1980; опубл. 07.02.1982; Бюл. № 5.*
3. *Исследование процесса формообразования замкнутых и полужамкнутых профилей / Докторов М. Е., Ахлестин В. Л., Кузьмис Э. В. и др. // Разработка и исследование технологии производства гнутых профилей проката : Отрасл. сб. научн. тр. – Харьков : УкрНИИМет, 1984. – С. 28–34.*
4. *Технология изготовления замкнутых сварных профилей сложной конфигурации / Пацека И. Е., Горбач Е. Н., Самарин С. И., Темников Э. М. // Разработка и исследование технологии производства гнутых профилей проката : Отрасл. сб. научн. тр. – Харьков : УкрНИИМет, 1986. – С. 35–40.*
5. *Забара А. С. Моделирование процесса формообразования специальных гнутых профилей замкнутого сечения / А. С. Забара, Ю. А. Плеснецов // Вісник НТУ «ХПИ». – Харків : НТУ «ХПИ», 2012. – № 46 (952). – С. 40–44. – (Серія «Нові рішення в сучасних технологіях»).*

Забара А. С. – аспирант НТУ «ХПИ»;

Плеснецов Ю. А. – канд. техн. наук, зав. каф. НТУ «ХПИ».

НТУ «ХПИ» – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков.

E-mail: alex_texy@mail.ru

Статья поступила в редакцию 27.11.2013 г.