

УДК 621.771.63

О.И. Тришевский<sup>1</sup>, д.т.н., С.Ю.Плеснецов<sup>2</sup>, студент

1 – ХНУСХ им. П.Василенко

2 - НТУ «Харьковский политехнический институт»

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗГИБА НА 180° И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

*В даній статті розглядається актуальна проблема утворення елементів гнутих профілів, що мають згин на 180°. Описаний аналіз попередніх досліджень теми, показаний спосіб точних вимірів із використанням ПК, наведені рекомендації щодо розрахунків профілів із місцями згину на 180° на прикладі профілю «Опалубка».*

*This article discusses the urgent problem of molding elements formed sections with a fold by 180°. The description of analysis of previous research topics is shown, also shown the method of precise measurements using PC, the advices on the calculations of profiles with bending points in 180° on example of profile "Formwork" are offered.*

Одним из путей экономии металла является увеличение производства и поиск новых сфер применения гнутых профилей – наиболее экономичного вида металлопроката. Технологические возможности валковой формовки позволяют изготавливать профили практически любой длины, достаточно большой ширины, со сложной формой поперечного сечения. Такие профили практически готовы к применению и лишь в ряде случаев требуют минимальной дальнейшей механической или другой доработки.

Наибольшее количество разработок в этом направлении выполнено в Украинском научно-исследовательском институте металлов (УкрНИИМете). Вместе с тем, выполненный в УкрНИИМете комплекс работ направлен на реализацию технологий производства специальных гнутых профилей с элементами двойной толщины из заготовки 2 мм и более. В последнее время в Украину импортируются профили для сайдинговых систем с замковыми элементами, которые производятся из заготовки толщиной 0,5...1,5мм.

В строительстве специальные гнутые профили с местами изгиба на 180° используются [1 - 3] в качестве стеновых панелей и подвесных потолков, элементов оконных и дверных систем, несущих элементов опалубок для монолитного домостроения и т.п. Область их применения постоянно расширяется. Первоочередная потребность Украины в специальных гнутых профилях с местами изгиба на 180° составляет около 30 тыс. тонн в год. Организация в Украине региональных производств по выпуску специальных гнутых профилей с местами изгиба на 180° может обеспечить снижение расхода металла и трудовых затрат – на 20...30% в строительстве. Таким образом, исследования, связанные с исследованием формоизменения мест изгиба металла на 180° и разработкой практических рекомендаций по технологии изготовления специальных гнутых профилей, важны и актуальны для реализации программ ресурсосбережения в Украине.

Цель работы – исследование формоизменения в местах изгиба металла на 180°, создание научно обоснованной модели деформированного состояния металла и практических рекомендаций для разработки технологии валковой формовки специальных гнутых профилей.

Для исследования пластического формоизменения металла в работе использовали один из геометрических методов – метод измерения угонений и поверхностных деформаций.

Отбор проб, заготовок и образцов от исходных материалов для проведения экспериментальных исследований осуществляли в соответствии с ГОСТ 7563. Моделирование изгиба в валках осуществляли посредством испытаний на изгиб по ГОСТ 14019. Образцы испытывались на универсальной испытательной машине УИМ-50 М (рис. 1). Для исследования деформаций по толщине выполнялись замеры исходных и деформированных образцов с помощью инструментального микроскопа БМИ при 30-ти кратном увеличении (рис. 2). Толщину металла измеряли по дуге места изгиба на 180°. Те же замеры осуществлялись на ПК по сканированным изображениям (разрешение 1200x1200 dpi.) с использованием разработанного на кафедре ОМД НТУ «ХПИ» программного комплекса «Farseer».



Рис. 1. Изгиб образцов на УИМ 50М (по ГОСТ 14019)



Рис. 2. Замеры образцов с помощью инструментального микроскопа БМИ

Развитие цифровых компьютерных технологий и техники (ПК, сканеров с большим разрешением и т.п.) обеспечивает возможности совершенствования геометрических методов исследования, что важно по двум направлениям:

1. Оцифровка опубликованных экспериментальных данных, представляющих интерес для научных исследований и представленных в виде таблиц или графиков в различных источниках научно-технической информации.

2. Использование цифровых методов для визуализации и анализа результатов современных экспериментальных исследований с широким использованием возможностей ПК.

Программный комплекс «*Farseer*» обеспечивает пользователя возможностью обрабатывать точки на графиках в соответствии с их масштабом, измерять длины и углы, строить графики функций на основании табличных данных, экспортировать данные в *MS Excel*. В число прочих возможностей входят: создание текстовых комментариев, вспомогательных графических элементов, построение графиков. Точность измерительной системы программного комплекса «*Farseer*» оценивалась по результатам сопоставления замеров (рис. 3) толщины ( $S$ ) концевых мер ( $S=1$  мм,  $S=1,5$  мм,  $S=2,5$  мм) посредством инструментального микроскопа БМИ, микрометра и программного комплекса «*Farseer*» (использовались два источника изображения – сканер и фотоаппарат). Анализ полученных результатов показал, что максимальные расхождения по сравнению с результатами замеров на БМИ составили: 0,012 мм (1,01%) - для микрометра; 0,044 мм (2,52%) - для сканера; 0,038 мм (3,88%) - для фотоаппарата. Визуализация экспериментальных образцов со схемой их замеров посредством программного комплекса «*Farseer*» приведена на рис. 4, результаты обработки экспериментальных данных и построения графиков – на рис. 5.

Таблица 1. Значения коэффициента  $f$

$h$	$h=S$	$h=2S$	$h=3S$
$f$	0,22	0,16	0,11

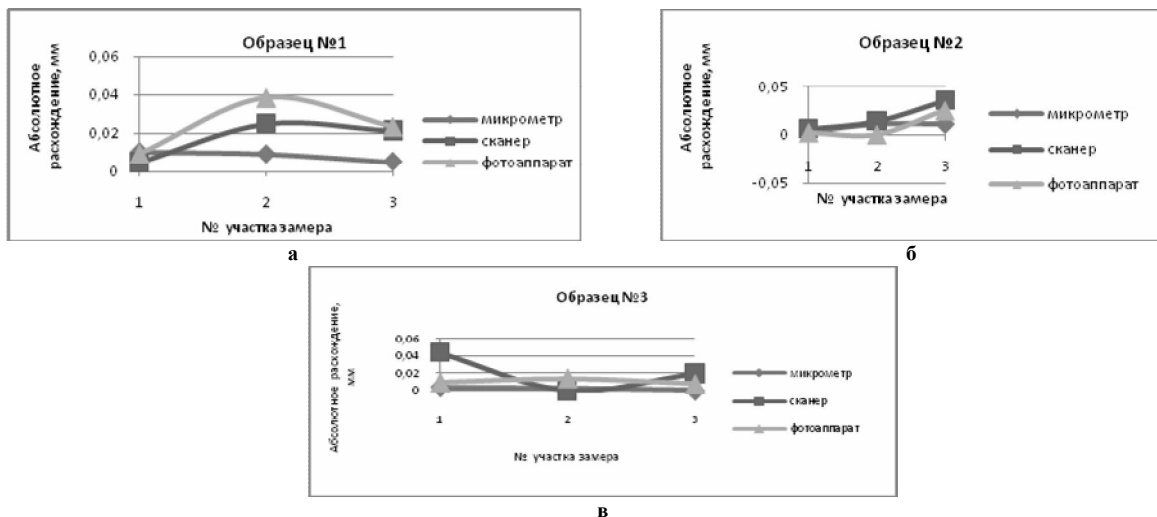


Рис.3. Графики абсолютных расхождений замеров на образцах: а - толщины концевой меры длина 1 мм; б - толщины концевой меры длина 1,5 мм; в - толщины концевой меры длина 2,5 мм

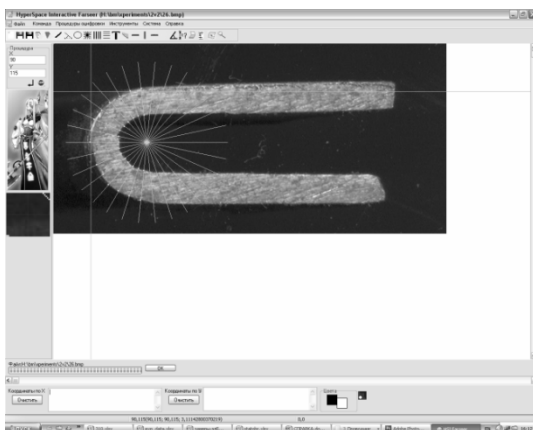


Рис. 4. Визуализация экспериментальных образцов со схемой их замеров

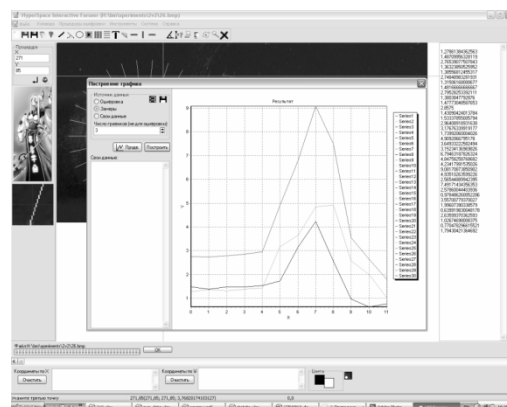


Рис. 5. Результаты обработки данных и построения графиков посредством программного комплекса «*Farseer*»

Поскольку количественные результаты, полученные при проведении экспериментальных исследований, содержат погрешность, включающую ошибки измерений и используемой аппаратуры, в работе проводилась проверка точности полученных экспериментальных данных. Точность и приемлемость полученных в работе экспериментальных данных определяли по методикам, приведенным в работах [4-6].

Полученные экспериментальные данные после статистической обработки были аппроксимированы функцией вида:

$$e(\varphi) = f \cdot \cos^4(0,8\varphi), \quad (1)$$

где  $e$  – утонение металла;

$f$  – коэффициент, определяющий форму расчетно-экспериментальных графиков;

$\varphi$  – текущий угол места изгиба.

Значения коэффициента  $f$  в зависимости от толщины ( $S$ ) и расстояния между параллельными слоями металла ( $h$ ) при изгибе на  $180^\circ$  приведены в табл. 1.

Расхождение теоретических и экспериментальных данных в работе не превысило 4%, что позволяет рекомендовать зависимость (1) для использования в инженерной практике, в частности при разработке нового специального гнутого профиля для опалубки (рис. 6).

После выбора формы гнутого профиля, которая определяется требованиями проектируемой конструкции, определялась ширина исходной заготовки. Она рассчитывалась аналитическим методом с учетом смещения нейтральной оси деформации в местах изгиба в сторону внутреннего радиуса. Ширина исходной заготовки специального гнутого профиля опалубки составила  $352^{0,5}$  мм.

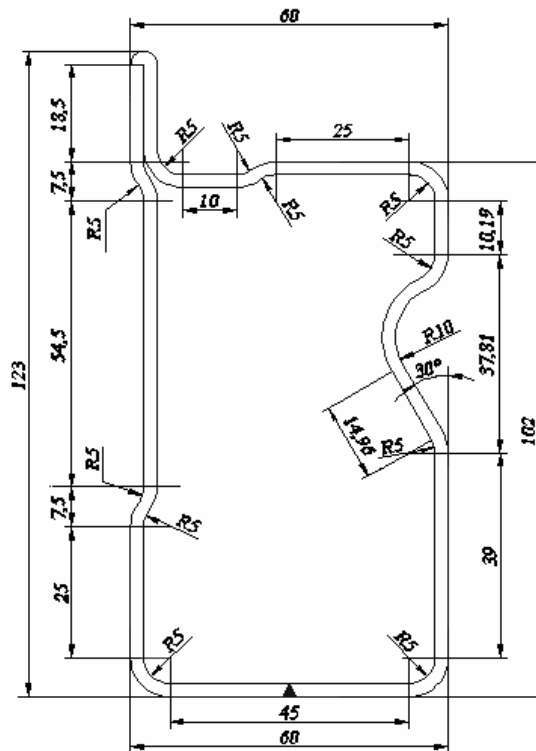


Рис. 6. Специальный гнутый профиль для опалубки

Задача устранения решалась с использованием принципа равных горизонтальных и вертикальных перемещений кромки профиля.

Привод модулей ПГА должен обеспечивать определенные энергосиловые параметры каждой клетки (см. приложение В).

С учетом изложенного разработана калибровка валков для производства профиля для опалубки, включающая 25 технологических переходов, разбитых на 5 групп (модулей):

- в первых двух модулях (10 клетях), имеющих катающие диаметры верхнего и нижнего валков равными 160 мм (передаточное отношение  $i=1$ ), осуществляется формообразование специальных углублений и подгибка крайних элементов профиля;
- в 11-15 клетях предусмотрена формовка специального гнутого профиля для опалубки по режимам неравнополочного уголка с переменным радиусом места изгиба;
- клетки 16-20 обеспечивают формоизменение одной из полок профиля, а также формообразование элемента двойной толщины;
- в клетях 21-24 производится дальнейшее формообразование элемента двойной толщины, подгибка полок до угла  $90^\circ$ , недоформованных в клетях 5-10, а также калибровка замкнутого квадратного сечения профиля;
- клеть 25 – четырехвалковая, универсальная предназначена для правки возможного скручивания профиля вокруг продольной оси.

## Выводы

1. Для создания в Украине импортозамещающих технологий производства специальных гнутых профилей с местами изгиба на  $180^{\circ}$  из заготовки толщиной 0,5...1,5 мм актуальными являются исследования, направленные на создание научных и технологических основ их валковой формовки.

2. При выполнении экспериментальных исследований использован геометрический метод. Отбор проб, заготовок и образцов от исходных материалов для проведения экспериментальных исследований осуществляли в соответствии с ГОСТ 7563. Моделирование изгиба в валках осуществляли на универсальной испытательной машине УИМ-50 М посредством стандартных испытаний листового металла на изгиб по ГОСТ 14019.

3. Исследования уровня качества и потребительских свойств специальных профилей имеют большое значение. В работе выполнены экспериментальные исследования утонений на участке изгиба на  $180^{\circ}$  с помощью инструментального микроскопа БМИ при 30-ти кратном увеличении, посредством сканирования образцов (разрешение 1200x1200 dpi.) и их фотографирования с использованием разработанного на кафедре ОМД НТУ «ХПИ» программного комплекса «*Farseer*». Толщину металла измеряли по дуге места изгиба. Для обработки результатов экспериментальных исследований использовались методы математической статистики.

4. Относительная погрешность замеров, полученных на БМИ, при сканировании и фотографировании образцов (расхождение не превышает 4%), позволяет с достаточной для инженерных расчетов точностью использовать полученные цифровым способом экспериментальные данные (с использованием программного комплекса «*Farseer*»), как для качественной, так и для количественной оценки деформированного состояния металла в местах изгиба.

5. Полученные экспериментальным путем значения утонений продеформированной заготовки в месте изгиба после статистической обработки были аппроксимированы посредством приложения функции вида  $e(\varphi) = f \cdot \cos^4(0,8\varphi)$

6. Разработан чертеж специального гнутого профиля для опалубки, технические и технологические требования для его производства и схема его формовки, в основу которой положена методика формообразования мест изгиба переменными радиусами закруглений по переходам с постоянными расстояниями между центрами дуг изгиба, позволяющая получить наиболее точную геометрию готовых профилей.

7. Разработана калибровка валков для производства профиля для опалубки, включающая 25 технологических переходов.

## Список литературы

1. Тришевский О.И. Моделирование изгиба металла на  $180^{\circ}$  и исследование его деформированного состояния с использованием цифровых методов. / О.И. Тришевский, С.Ю. Плещенцов // Сб.: Вестник Национального технического университета «ХПИ»: Х.: НТУ «ХПИ-2009». - №15. - С.71-76.
2. Тришевский О.И. Исследование деформированного состояния металла на участке его изгиба на  $180^{\circ}$ . / О.И. Тришевский, С.Ю. Плещенцов // Сб.: «Университетская наука-2009»: Сб. тезисов и докладов в 2-х томах. Мариуполь: ПГТУ, 2009. - С. 182.
3. Тришевский О.И. Анализ современного состояния производства и применения специальных гнутых профилей с местами изгиба на  $180^{\circ}$ . / О.И. Тришевский, С.Ю. Плещенцов // Сб.: «Обработка материалов давлением» №2 (21). Краматорск: ДГМА, 2009. - С. 227-230.
4. Гун Г.Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением
5. ГОСТ 8.207. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 10 с.
6. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 546 с.