

УДК 621.771.63

Плеснецов С. Ю.
Тришевский О. И.**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗГИБА МЕТАЛЛА НА 180 ГРАДУСОВ**

Одним из эффективных 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 требуют в ряде случаев лишь 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. Появившиеся же в последнее время в Украине импортные профили служат для создания замковых элементов и производятся из заготовки толщиной 0,5...1,5 мм.

В строительстве специальные гнутые профили с местами изгиба на 180° используются в качестве сайдинговых систем (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 в специальных гнутых профилях с местами изгиба на 180° составляет около 30 тыс. тонн в год. Поставка модульных профилегибочных агрегатов для организации 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.

По данной теме авторами были опубликованы работы [1–3].

Результаты работы использованы в хоздоговорной НИР «Разработка технологии производства специального гнутого профиля для опалубки» (догов. № 18546 от 14.03.06 г.).

Целью работы является 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 утонений 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 1200 × 1200 dpi.) с использованием разработанного программного комплекса «Farseeer».



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.) позволяют продолжить совершенствование геометрических методов исследования при создании новых технологических процессов 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», разработанный автором, обеспечивает пользователя возможностью обрабатывать точки на графиках в соответствии с масштабом этих графиков, 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 (табл. 1, 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.

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 [4–24].

Полученные экспериментальные данные после статистической обработки были аппроксимированы функцией вида:

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

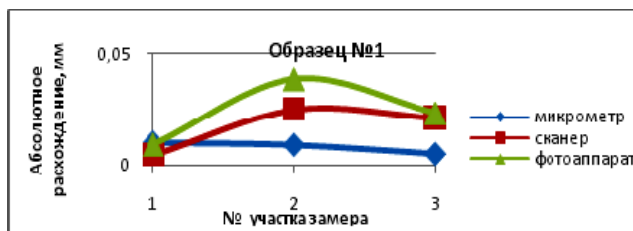
где f – коэффициент, определяющий форму расчетно-экспериментальных графиков; φ – текущий угол места изгиба.

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

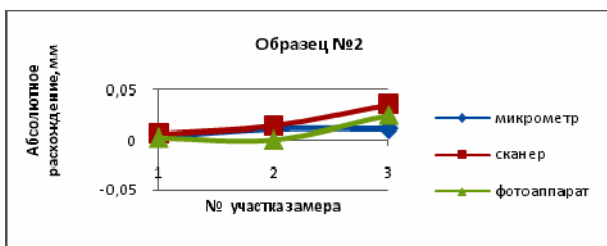
Таблица 1

Значения коэффициента f

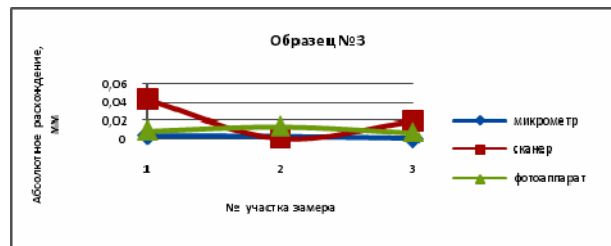
h	$h = S$	$h = 2S$	$h = 3S$
f	0,22	0,16	0,11



а



б



в

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

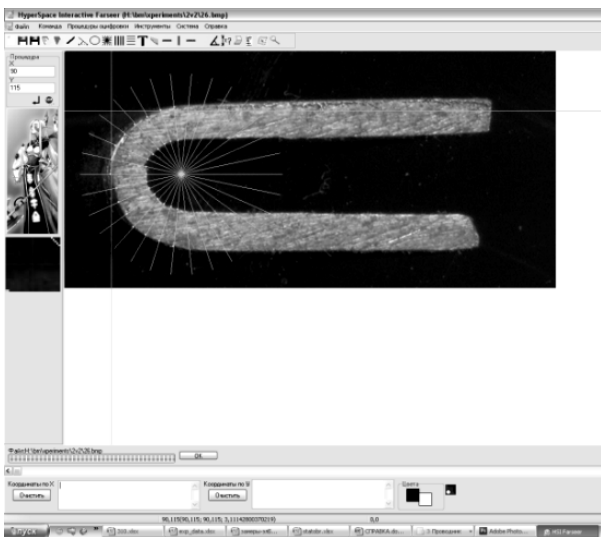


Рис. 4. Визуализация экспериментальных образцов со схемой их замеров

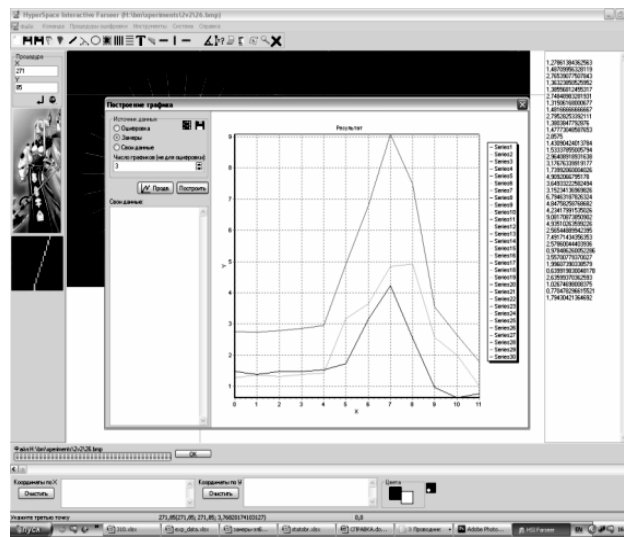


Рис. 5. Результаты обработки экспериментальных данных и построения графиков посредством программного комплекса «Farsee»

Расхождение теоретических и экспериментальных данных не превышает 4 %, что позволяет рекомендовать результаты теоретических исследований для использования в инженерной практике.

При разработке нового специального гнутого профиля для опалубки (рис. 6) учтены технические и технологические требования, обеспечивающие возможность его изготовления профилированием на проектируемом профилегибочном агрегате с порулонным процессом профилирования.

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, а также результатов теоретического анализа и экспериментальных исследований. Ширина исходной заготовки специального гнутого профиля опалубки составила $352^{-0,5}$ мм.

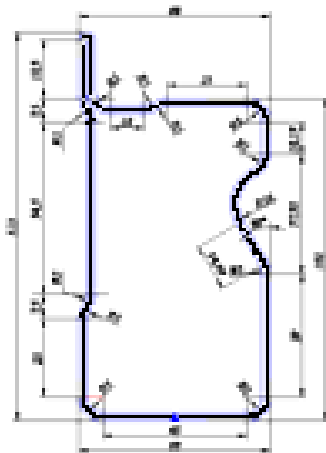


Рис. 6. Специальный гнутый профиль для опалубки

Применение переменных радиусов при формовке позволяет получить более точную геометрию готового профиля. Переменные радиусы дуг в местах изгиба определялись с учетом рекомендаций по зависимости:

$$R = \frac{180^0 l_j}{\pi \alpha_j} - kS, \quad (2)$$

где l_j – длина j -го участка; α_j – j -й угол; k – коэффициент смещения нейтрального слоя.

Задача устранения скручивания была сведена к определению одного из углов подгибки (β) в зависимости от другого угла (α):

$$\beta = \sqrt{\frac{l_2}{l_1} \cos \alpha}, \quad (3)$$

где l_1 – длина участка, образующего угол α ; l_2 – длина участка, образующего угол β .

Привод модулей ПГА должен обеспечивать определенные энергосиловые параметры каждой клетки.

На основании вышеперечисленного 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 формование 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° , 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.

Клетки 11–25 должны быть разбиты на 3 группы (модуля) по 5 клеток в каждом. Передаточное отношение привода в каждом модуле должно быть обеспечено равным 2 ($i = 2$), катающие диаметры – 160 мм и 400 мм, соответственно нижнего и верхнего валков.

ВЫВОДЫ

1. Для создания импортозамещающих технологий производства специальных гнутых профилей с местами изгиба на 180° из заготовки толщиной 0,5...1,5 мм в Украине актуальным является выполнение комплекса НИР, направленных на создание научных и технологических основ их валковой формовки.

2. В работе для анализа напряженно-деформированного состояния металла при валковой формовке профилей с местами изгиба на 180° и определения параметров, характеризующих процесс формоизменения, использован метод механики сплошных сред с описанием очага деформации полем скоростей перемещений.

3. 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.

4. Исследования уровня качества и потребительских свойств специальных профилей имеют большое значение. В работе выполнены экспериментальные исследования утонений на участке изгиба на 180° с помощью инструментального микроскопа БМИ при 30-ти кратном увеличении, посредством сканирования образцов (разрешение 1200×1200 dpi.) и их фотografiрования с использованием разработанного программного комплекса «Farseeer». Толщину металла измеряли по дуге места изгиба. Для обработки результатов экспериментальных исследований использовались методы математической статистики.

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

6. Полученные экспериментальные данные после статистической обработки были аппроксимированы посредством приложения функцией вида $e(\varphi) = f \cos^4(0,8\varphi)$.

7. Разработан чертеж специального гнутого профиля для опалубки, технические и технологические требования для его производства на проектируемом профилегибочном агрегате с порулонным процессом профилирования.

8. Разработана схема формовки профиля опалубки, в основу которой положена методика формообразования металла переменными радиусами закруглений по переходам с постоянными расстояниями между центрами дуг изгиба, позволяющая получить наиболее точную геометрию готовых профилей.

9. Разработана калибровка валков для производства профиля для опалубки, включающая 25 технологических переходов, разбитых на 5 групп (модулей).

ЛИТЕРАТУРА

1. Тришевский О. И. Моделирование изгиба металла на 180° и исследование его деформированного состояния с использованием цифровых методов / О. И. Тришевский // 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° / О. И. Тришевский // 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° / О. И. Тришевский // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2009. – № 2 (21). – С. 227–230.
4. Тришевский И. С. Исследование деформаций металла при пластическом изгибе на 180° / И. С. Тришевский, В. П. Стукалов // Теория и технология производства экономичных гнутых профилей проката : труды УкрНИИмет, Харьков : УкрНИИмет, 1970. – Вып. XV. – С. 174–194.
5. Тришевский И. С. Разработка и исследование технологии производства холодного гнутого профиля автообода / И. С. Тришевский, В. В. Клепанда, В. П. Стукалов // Теория и технология производства экономичных гнутых профилей проката : труды УкрНИИмет, Харьков : УкрНИИмет, 1970. – Вып. XV. – С. 423–434.
6. Тришевский И. С. Некоторые особенности деформации металла в месте изгиба на 180° / И. С. Тришевский, В. П. Стукалов // Обработка металлов давлением : сборник научных трудов. – Харьков : УкрНИИмет, 1972. – Вып. XX. – С. 93–99.
7. Стукалов В. П. Основные принципы проектирования калибровок валков для формовки профилей с элементами двойной толщины / И. С. Тришевский // Гнутые профили проката : тематический сборник научных трудов. – Харьков : УкрНИИмет, 1975. – Вып. III. – С. 102–108.
8. Стукалов В. П. Разработка и исследование технологии производства нового Т-образного гнутого профиля / В. П. Стукалов, А. И. Медведев, О. И. Дробот // Совершенствование технологии производства сортового проката и гнутых профилей : отраслевой сборник научных трудов». – Харьков : УкрНИИмет, 1989. – С. 87–90.
9. Гун Г. Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением : учебное пособие для вузов / Г. Я. Гун. – М. : Металлургия, 1983. – 285 с.
10. Ильюшин А. А. Механика сплошной среды / А. А. Ильюшин. – [3-е изд.]. – М. : изд-во МГУ, 1990. – 285 с.
11. Седов Л. И. Механика сплошной среды. В 2 т. Т. 1 / Л. И. Седов. – [4-е изд.]. – М. : Наука, 1983. – 540 с.
12. Седов Л. И. Механика сплошной среды. В 2 т. Т. 2 / Л. И. Седов. – [4-е изд.]. – М. : Наука, 1983. – 585 с.
13. Алексеев Ю. Н. Вопросы пластического течения металлов / Ю. Н. Алексеев. – Харьков : изд-во ХГУ, 1958. – 188 с.
14. Алексеев Ю. Н. Введение в теорию обработки металлов давлением, прокаткой и резанием / Ю. Н. Алексеев. – Харьков : изд-во ХГУ, 1958. – 188 с.
15. ГОСТ 8.207. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 10 с.
16. Кринецкий И. И. Основы научных исследований / И. И. Кринецкий. – Киев : Вища школа, 1981. – 208 с.
17. Румишинский Д. З. Математическая обработка результатов экспериментов / Д. З. Румишинский. – М. : Наука, 1971. – 192 с.
18. Смирнов Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – [3-е изд.]. – М. : Наука, 1969. – 511 с.
19. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1974. – 463 с.
20. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами / Д. Химмельблау. – М. : Мир, 1973. – 957 с.
21. Крамер Г. Математические методы статистики / Г. Крамер. – [2-е изд.]. – М. : Мир, 1975. – 648 с.
22. Степнов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний : справочник / М. Н. Степнов. – М. : Машиностроение, 1985. – 546 с.
23. Гнутые профили проката: справочник / И. С. Тришевский, В. В. Лемтицкий и др. – М. : Металлургия, 1980. – 352 с.
24. Производство и применение гнутых профилей проката / И. С. Тришевский, Г. В. Донец и др. – М. : Металлургия, 1975. – 536 с.

Плеснецов С. Ю. – студент НТУ «ХПИ»;

Тришевский О. И. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ХНТУСХ им. П. Василенко.

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

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

E-mail: pls_roll@mail.ru