

Зависимость 1 на рис.6 получена в случае, когда одна струя воды пересекала поверхность металла в месте расположения термопары, а вторая пересекала поверхность металла на расстоянии 40 мм до оси термопары.

Как видно на рис.6 скорость падения температуры поверхности полосы до температуры 100°C, в случае совместной работы двух форсунок (зависимость 1), меньше чем при охлаждении полосы одной форсункой (зависимость 2). Это объясняется тем, что по поверхности полосы шел поток воды из одной форсунки, который экранировал эту поверхность. Этот эффект необходимо иметь в виду, ибо при использовании форсунок с большими отверстиями (с большими расходами воды) слой воды на поверхности полосы будет больше и эффект экранирования также увеличится.

**Выводы:** выполненные на экспериментальной установке для определения коэффициентов теплоотдачи при охлаждении полосы и валков исследования позволяют дополнить созданные ранее математические модели теплового состояния валков и полосы в процессе прокатки [2,3] необходимыми практическими данными. Это позволяет для каждого конкретного элемента проектируемого процесса прокатки, применительно к конкретным условиям, определить основные расчетные параметры в зависимости от требований к технологии.

**Список литературы:** 1. *Тришевский О.И., Салтавец Н.В., Торяник Н.П.* Разработка состава оборудования экспериментальной установки для определения коэффициента теплоотдачи на участке ускоренного охлаждения станов горячей прокатки. [Текст] / Вісник ХНТУСГ вип.77 „Технічний сервіс АПК, техніка та технологія у с/г машинобудуванні”. – Харків 2009.–вип. 77 – С. 200-206. 2. *Тришевский О.И., Салтавец Н.В.* Разработка математической модели теплового состояния полосы при прокатке. [Текст] // Сталь 2009 г. – №2– С.42. 3. *Тришевський О.І., Салтавець М.В., Юрченко О.А.* Розробка математичної моделі теплового стану валка при гарячій прокатці листа. [Текст] // Восточно-европейский журнал передовых технологий – 2009.– 5/4 (41). – С.14-18.

**УДК 621.7**

**ПЛЕСНЕЦОВ С.Ю.**, аспирант, НТУ «ХПИ»

### **ИССЛЕДОВАНИЕ УТОНЕНИЙ И СМЕЩЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНОГО СЛОЯ ПРИ ИЗГИБЕ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА НА 180°**

В статье приводятся результаты экспериментального исследования изгиба тонколистового металла последовательно до 90°, 120° и 180° в графическом виде в сопоставлении с результатами более ранних исследований для толстолистового материала. Приводятся значения полученных коэффициентов для зависимостей, описывающих максимальные утонения и смещение нейтрального слоя в зависимости от толщины и радиуса подгибки.

В статті наводяться результати експериментального дослідження згину тонколистового металу послідовно до 90°, 120° и 180° в графічному вигляді в порівнянні з результатами більш ранніх досліджень для товстолистового матеріалу. Наводяться значення отриманих коефіцієнтів для залежностей, що описують максимальні утонення та зміщення нейтрального слою в залежності від товщини та радіусу згину.

The article presents experimental results of bending sheet metal, successively to 90 °, 120 ° and 180 ° in graphical form in comparison with the results of earlier studies for the plate material. Gives the values of the coefficients obtained for the dependences describing the maximum thinning and displacement of the neutral layer, depending on the thickness and radius of the hem.

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.

Вопросам разработки сортамента специальных гнутых профилей с местами изгиба на 180<sup>0</sup> и освоения их производства в Украине уделяется значительное внимание ввиду эффективности их применения. Наибольшее количество разработок в этом направлении выполнено в Украинском научно-исследовательском институте металлов (УкрНИИМете) [1, 2]. 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 в последнее время в Украине импортные профили, помимо элементов двойной толщины (то есть участков с соприкосновением полос металла), содержат места изгиба на 180<sup>0</sup>, обеспечивающие зазор между полосами металла, равный 2-3 толщинам последнего, служат для создания замковых элементов и производятся из заготовки толщиной 0,5...1,5мм.

По результатам выполненных экспериментальных исследований (проведенных по методу, описанному в работах [3,4]) был проведен анализ влияния толщины металла на максимальное утонение при изгибе на 90<sup>0</sup>, 120<sup>0</sup> и 180<sup>0</sup>. Учитывались результаты экспериментальных исследований, выполненных в УкрНИИМет. Выполнено сравнение результатов экспериментальных исследований, полученных при изгибе тонколистового металла (толщины 0,5 мм, 1 мм, 2 мм) с расчетными данными, получаемыми при вычислении максимального утонения по формуле Тришевского-Щеглова:

$$e_{\max} = k\sqrt{s^3}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, определяющий форму графика зависимости максимального утонения  $e_{\max}$  от толщины  $s$ .

Научная новизна полученных результатов состоит в получении экспериментальных данных о распределении утонений и смещении нейтрального слоя в новой, ранее не исследованной, области толщин металла и получении значений коэффициентов  $k$  и  $m$  для выражений, описывающих, как распределение утонений, так и смещение нейтрального слоя.

Результаты экспериментальных исследований, полученные в данной работе и в УкрНИИМете [5], рассчитанные по формуле (1), приведены на рис. 1-9.

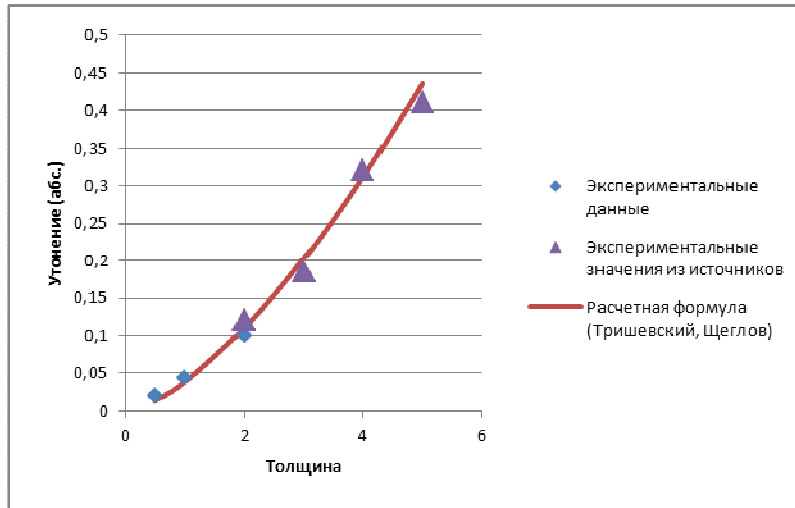


Рис. 1. Значения максимальных утонений в зависимости от толщины при изгибе на  $90^\circ$  и радиусе подгибки, равном толщине  $s$

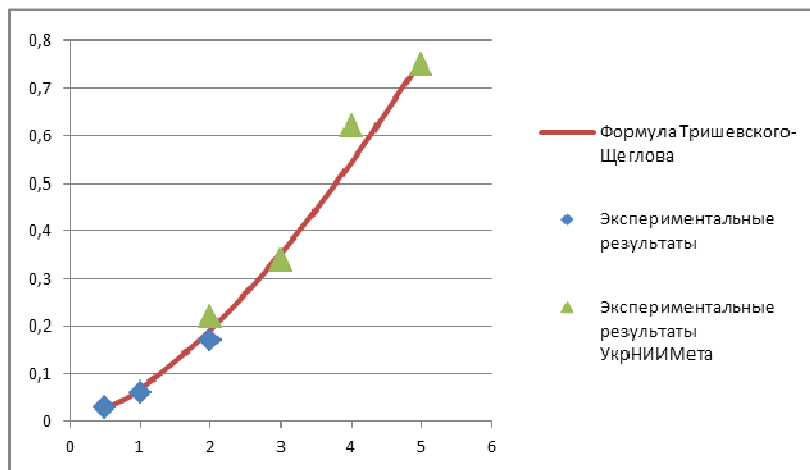


Рис. 2. Значения максимальных утонений в зависимости от толщины при изгибе на  $120^\circ$  и радиусе подгибки, равном толщине  $s$

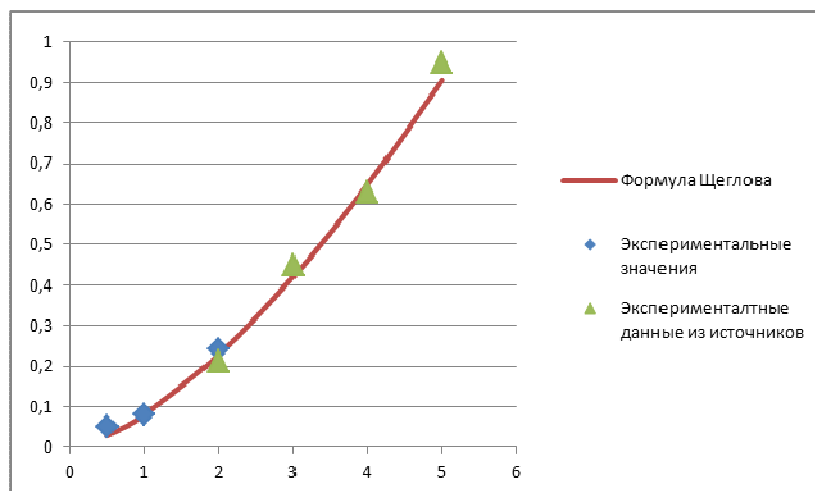


Рис. 3. Значения максимальных утонений в зависимости от толщины при изгибе на  $180^\circ$  и радиусе подгибки, равном толщине  $s$

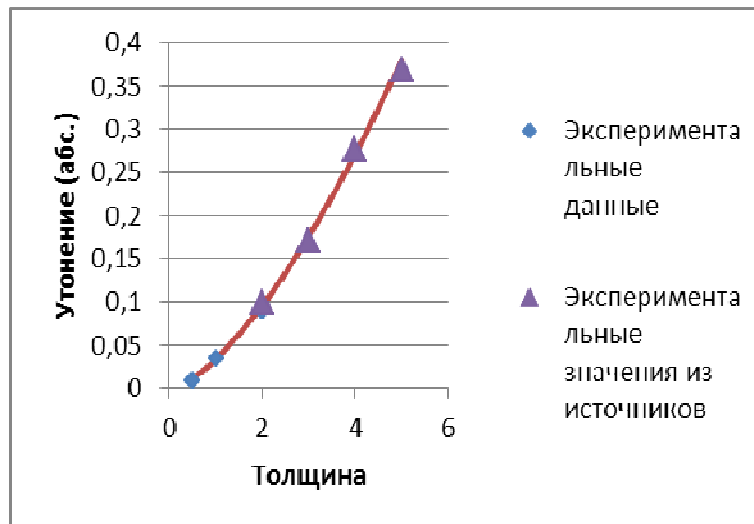


Рис. 4. Значения максимальных утонений в зависимости от толщины при изгибе на  $90^\circ$  и радиусе подгибки, равном  $2s$

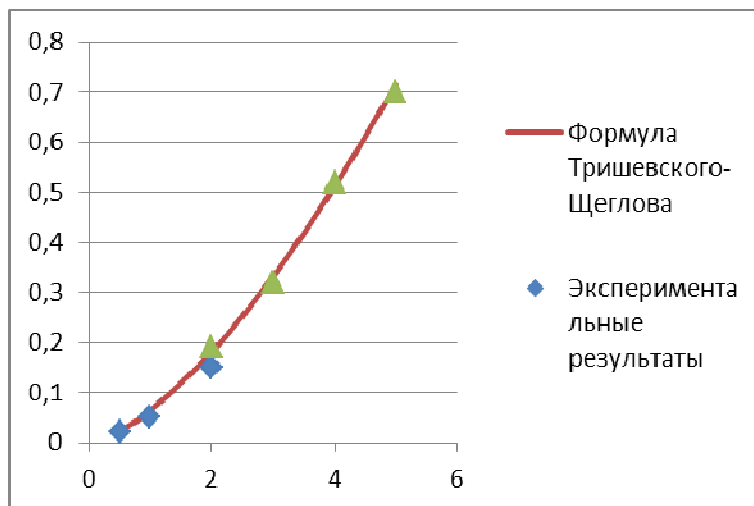


Рис. 5. Значения максимальных утонений в зависимости от толщины при изгибе на  $120^\circ$  и радиусе подгибки, равном  $2s$

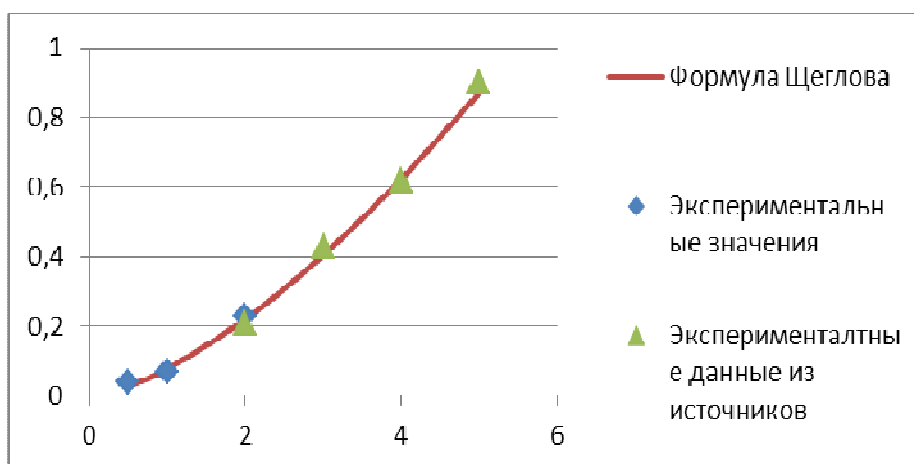


Рис. 6. Значения максимальных утонений в зависимости от толщины при изгибе на  $180^\circ$  и радиусе подгибки, равном  $2s$

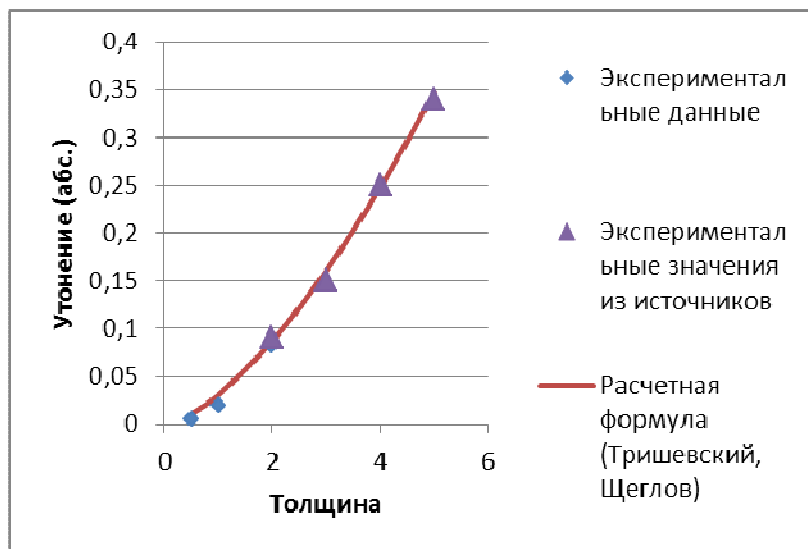


Рис. 7. Значения максимальных утонений в зависимости от толщины при изгибе на  $90^\circ$  и радиусе подгибки, равном  $3s$

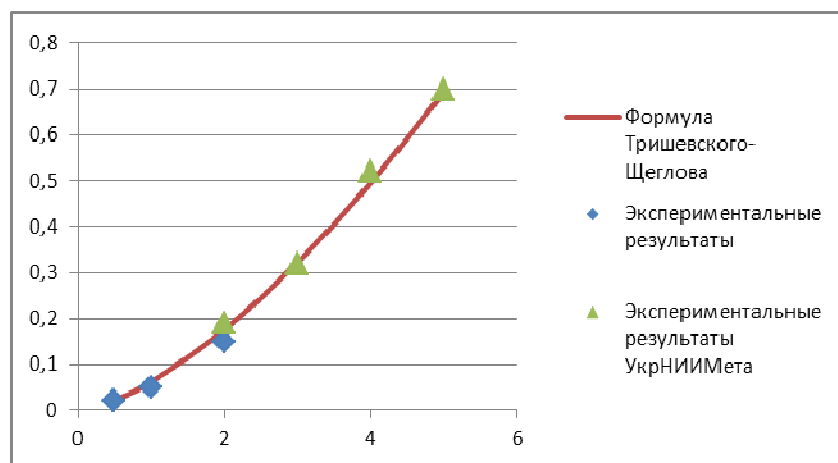


Рис. 8. Значения максимальных утонений в зависимости от толщины при изгибе на  $120^\circ$  и радиусе подгибки, равном  $3s$

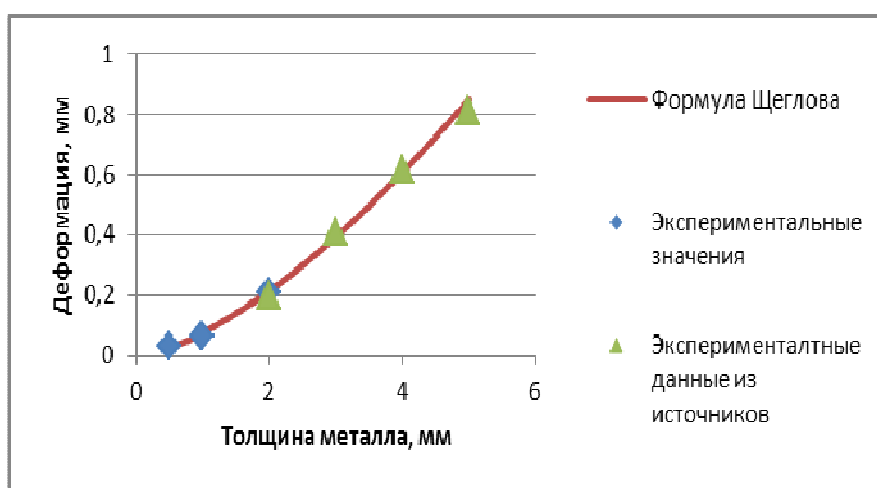


Рис. 9. Значения максимальных утонений в зависимости от толщины при изгибе на  $180^\circ$  и радиусе подгибки, равном  $3s$

Обобщенные результаты по относительным утонениям при изгибе на  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $180^\circ$  приведены на рис. 10.

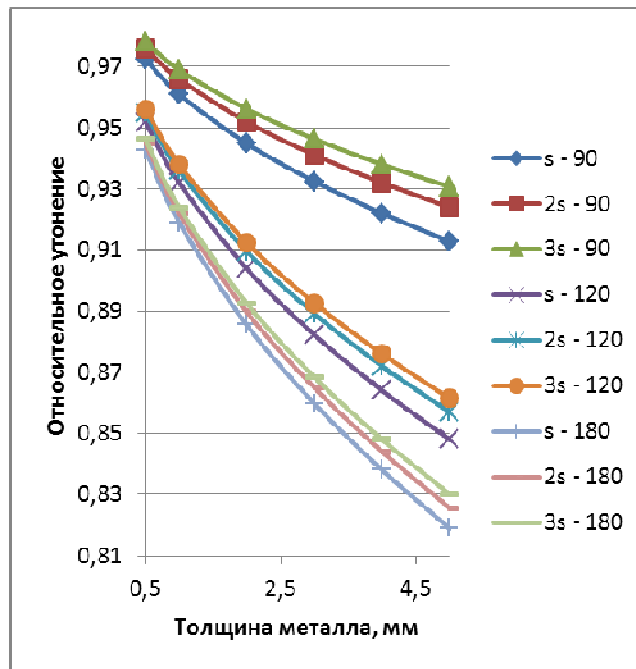


Рис. 10. Графики относительных утонений

Для формулы Тришевского-Щеглова была составлена таблица значений коэффициента смещения нейтрального слоя ( $k$ ) в зависимости от толщины ( $s$ ), угла ( $\alpha$ ) и радиуса ( $R$ ) подгибки (см. табл. 1).

Таблица 1 – Значения коэффициента  $k$

Угол подгибки	90°			120°			180°		
Радиус подгибки	$s$	$2s$	$3s$	$s$	$2s$	$3s$	$s$	$2s$	$3s$
$k$	0,039	0,034	0,031	0,068	0,064	0,062	0,081	0,078	0,076

Согласно [6], положение нейтрального слоя определяется соотношением деформаций растяжения по внешней поверхности и сжатия на внутренней на данном участке:

$$\rho = ms + r, \tag{2}$$

где  $m$  – коэффициент смещения нейтрального слоя.

На основании экспериментальных значений поверхностных деформаций получены величины радиуса нейтрального слоя для толщин металла 1 мм, 1,5 мм, 2,4 мм и радиусов подгибки, равных  $s$ ,  $2s$  и  $3s$ . Значения коэффициента  $m$  сведены в табл. 2.

Таблица 2 – Значения коэффициента смещения нейтрального слоя для тонколистового металла

$s$ , мм	$r/s$		
	1	2	3
1	0,439505	0,457257792	0,47579
1,5	0,449471	0,466783734	0,482467
2,4	0,456628	0,472865302	0,489

Исследование поверхностных деформаций позволило впервые получить зависимость, определяющую положение нейтрального слоя при изгибе до  $180^\circ$ .

Выводы:

1. Выполнены экспериментальные исследования изгиба металла последовательно до  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  и  $180^\circ$ . Получены распределения утонений в очаге деформации.

2. Подтверждена возможность использования формулы Тришевского-Щеглова для тонколистового металла. Впервые получены значения коэффициента  $k$ , описывающего значение максимального утонения в очаге деформации, для толщин металла менее 2 мм.

3. Получены значения коэффициента смещения нейтрального слоя  $k$  для толщин металла 1 мм, 1,5 мм, 2,4 мм и отношений радиуса изгиба к толщине ( $r/s$ ), равных 1, 2 и 3.

**Список литературы:** 1. *Стукалов В.П.* Основные принципы проектирования калибровок валков для формовки профилей с элементами двойной толщины. Сб.: «Гнутые профили проката: Тематический сборник научных трудов». Вып. III. Харьков: УкрНИИмет, 1975. – С. 102 – 108. 2. *Стукалов В.П.* Разработка и исследование технологии производства нового Т-образного гнутого профиля. / *В.П. Стукалов, А.И. Медведев, О.И. Дробот* // Сб.: «Совершенствование технологии производства сортового проката и гнутых профилей: Отраслевой сборник научных трудов». - Харьков: УкрНИИмет, 1989. – С. 87 – 90. 3. *Тришевский О.И.* Развитие возможностей методов геометрических исследований в ОМД с использованием цифровых компьютерных технологий. - IV Університетська науково-практична конференція магістрантів НТУ «ХП». Частина друга. 23 – 25 березня 2010 р. 4. *Плеснецов С.Ю.* Развитие современных цифровых методов исследования и оценки деформированного состояния металла. - Университетская наука 2010, Мариуполь, 2010 5. *Тришевский И.С.* Исследование деформаций металла при пластическом изгибе на  $180^\circ$ . / *И.С. Тришевский, В.П. Стукалов* // Сб.: «Теория и технология производства экономичных гнутых профилей проката». - Труды УкрНИИмет, вып. XV. Харьков: УкрНИИмет, 1970. - С. 174 – 194. 6. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке. - Издание 6-е, переработанное. Из-во Машиностроение, 1979г, 520с., ил.