

УДК.621.771.63

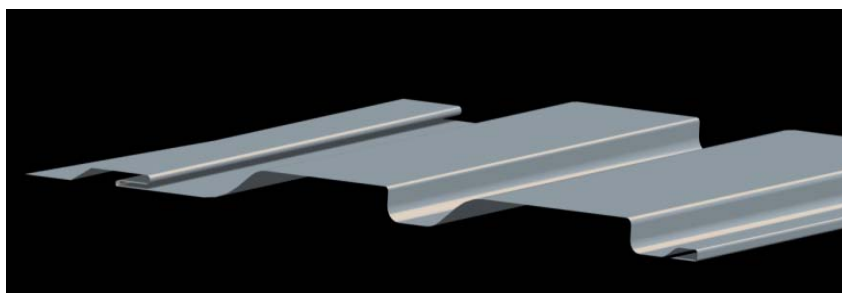
Плеснецов С. Ю.  
Тришевский О. И.

### ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГИБКИ МЕТАЛЛА ДО 180° ПОСРЕДСТВОМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА DEFORM 3D

Гнутые профили проката с элементами изгиба на 180° широко используются в сферах строительства и автомобилестроения. Наиболее характерными примерами продукции, содержащей элементы с местами изгиба до 180°, являются профили опалубки (рис. 1, а) и профили сайдинговых систем (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Продукция холодной прокатки, содержащая места изгиба на 180°:  
а – профили опалубки; б – сайдинговые профили

В условиях современной конкурентной экономики одними из ключевых направлений развития производства является повышение его экономичности за счет снижения энергопотребления и материалоемкости, которые, при производстве изделий, получаемых профилированием, возможно за счет уменьшения толщины исходной заготовки [1].

Исследование деформированного состояния металла при изгибе до 180° является достаточно сложной задачей для моделирования посредством конечно-элементных систем моделирования процессов ОМД, одной из которых является Deform 3D. Сложности возникают в силу изначальных ограничений, заложенных в алгоритм метода конечных элементов, а именно – в необходимости большого числа конечных элементов для точного моделирования процесса формовки листового металла.

Вопросам разработки сортамента специальных гнутых профилей с местами изгиба на 180° и освоения их производства в Украине уделялось значительное внимание ввиду эффективности их применения. Наибольшее количество разработок в этом направлении выполнено в Украинском научно-исследовательском институте металлов (УкрНИИМет) [2–4]. Кроме того, исследования деформированного состояния выполнены в работе [5]. Исследования были направлены на определение коэффициента смещения нейтрального слоя при подгибке металла на углы до 180°.

Цель работы – исследование деформированного состояния металла при изгибе листового металла до 180° посредством моделирования процесса в программном комплексе Deform 3D.

Моделирование процесса изгиба посредством Deform 3D требует учета особенностей этого процесса, а также особенностей его реализации в Deform.

Для создания моделей процессов листового металла, пригодных к обработке в Deform 3D требуются высокая плотность сетки заготовки (рис. 1) и высокополигональные модели оснастки. Основной сложностью при моделировании являлось получение качественной сетки на заготовке при заданном пределе числа конечных элементов (500000 на толщину

заготовки размером  $30 \times 80 \times 1$  мм), т. е. в среднем приходится около 7 узлов (или 6 конечных элементов). При числе элементов в 30000 (минимальное количество элементов, при котором адекватно отражается форма заготовки) на толщину заготовки приходится 2 узла (1 конечный элемент). С учетом изложенного, качественная сетка генерируется, начиная со 150000 элементов, (3–4 конечных элемента на толщину).

Структура сетки на заготовке приведена на рис. 2.

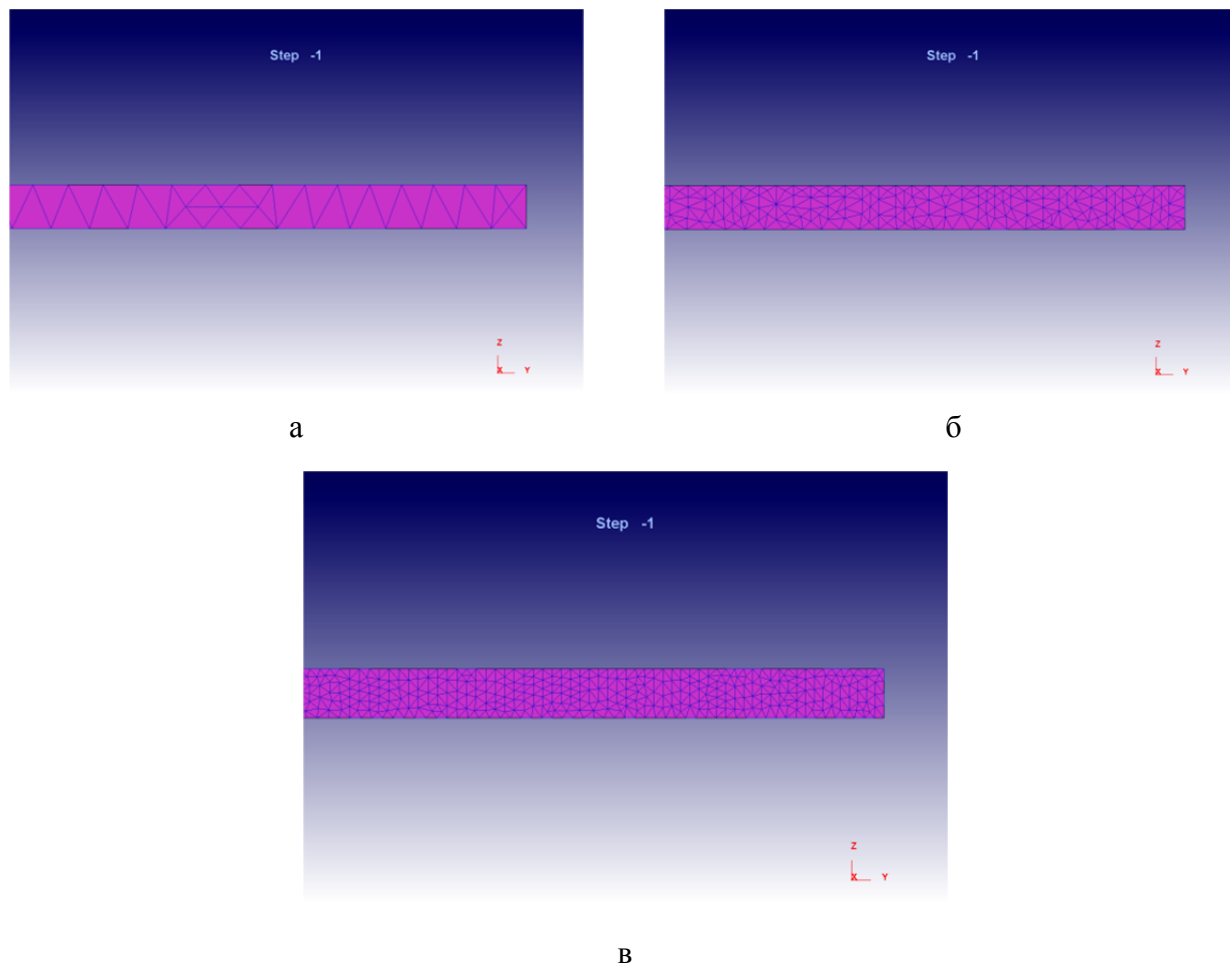


Рис. 2. Влияние числа конечных элементов на структуру сетки заготовки:  
а – 30000; б – 250000; в – 500000

Для получения достоверных результатов моделирования процесса гибки требуется выполнение ряда условий, возникающих вследствие особенностей, типичных для геометрии оснастки и заготовки:

1) Плотность сетки моделей оснастки для данной модели должна быть достаточной для того, чтобы обеспечивать не меньше 10 узловых точек на элементах скругления, что предполагает межузловое расстояние не больше 0,5 мм;

2) Плотность сетки модели заготовки должна обеспечивать не меньше 5 конечных элементов по толщине заготовки;

3) Плотность сетки инструмента должна быть постоянной. В противном случае в ходе моделирования могут возникать ошибки, связанные с неравномерной плотностью геометрии объекта.

Экспериментальные исследования осуществлялись на гидравлическом прессе УИМ-50 (рис. 3). В ходе эксперимента образец размерами  $30 \times 80 \times s$  мм ( $s$  – толщина металла, равная 0,5 мм, 1 мм, 1,5 мм, 2 мм, 2,4 мм) последовательно подгибался на углы  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  и  $180^\circ$  при радиусах в месте изгиба, равных  $s$ ,  $2s$  и  $3s$ .

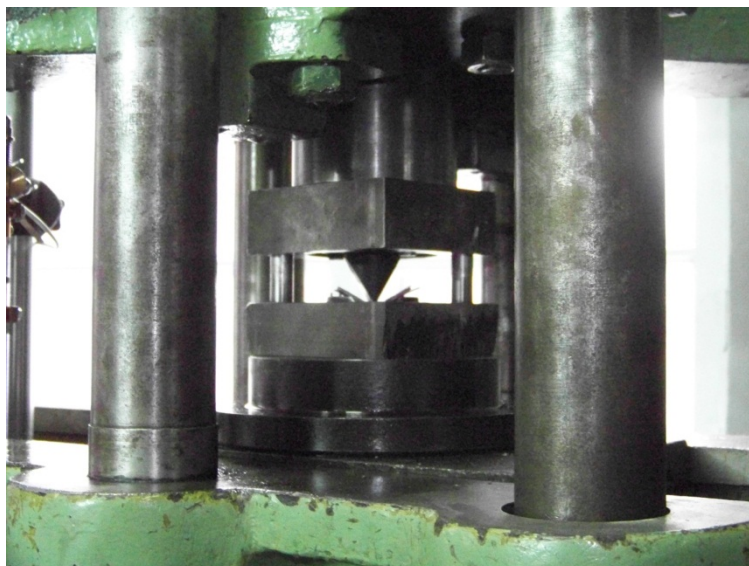


Рис. 3. Установка и технологическая оснастка для экспериментальных исследований изгиба

На основании экспериментальных исследований построены графики, описывающие распределения деформаций в месте изгиба [6].

На рис. 4 приведен график, описывающий место изгиба образцов толщиной 1 мм.

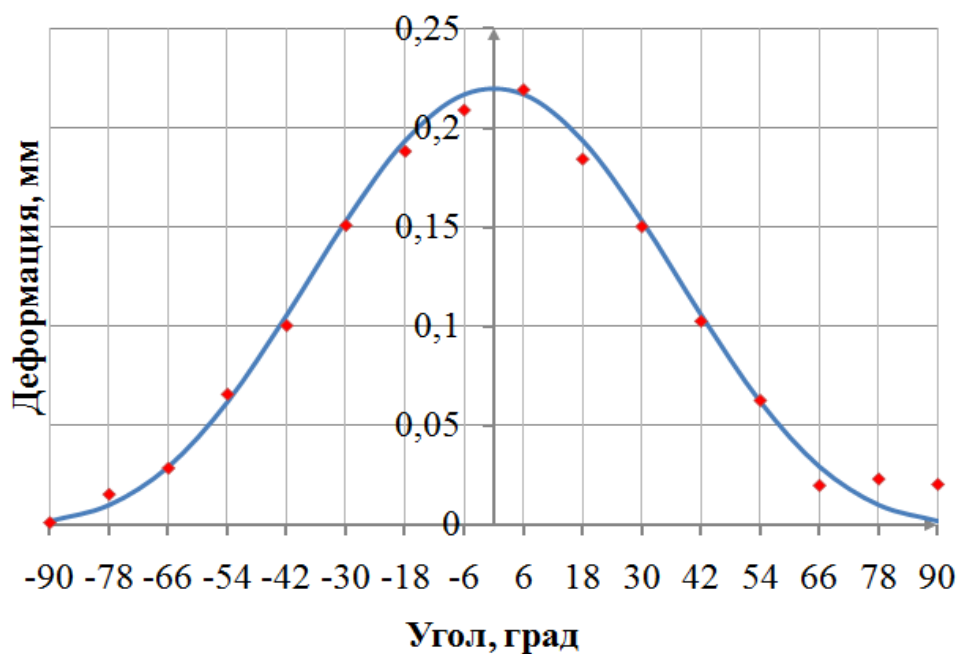


Рис. 4. Результаты замеров утонений в месте изгиба на  $180^\circ$

Полученные экспериментальные данные аппроксимированы зависимостью вида [7]:

$$e(\varphi) = f \cos(0,8\varphi),$$

где  $e(\varphi)$  – деформация (утонение);

$f$  – коэффициент формы;

$\varphi$  – угол точки замера ( $-90^\circ \dots +90^\circ$ ).

Для проведения симуляции эксперимента посредством программного комплекса Deform 3D созданы модели оснастки, преобразованные в формат \*.stl. Шаг сетки моделей составляет 0,1 мм, что обеспечивает достаточную плавность анализа деформированного состояния мест изгиба металла. При создании сетки модели заготовки число конечных элементов составило 150000, ведущим весовым фактором построения сетки была задана кривизна поверхности заготовки.

Результаты моделирования приведены на рис. 5–7.

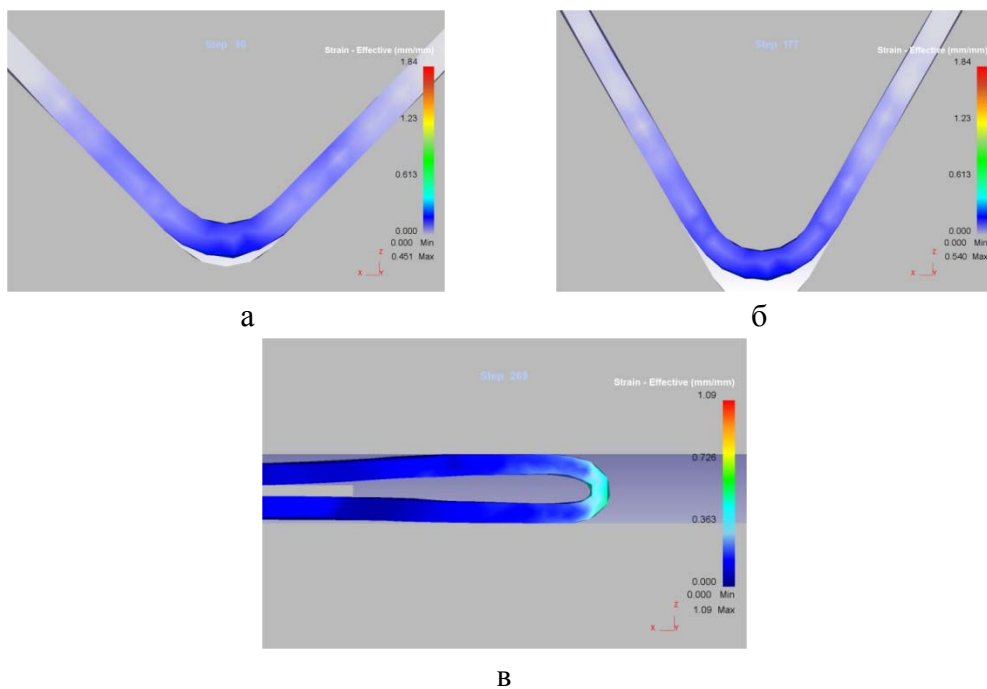


Рис. 5. Модель изгиба до углов:  
а –  $90^\circ$ ; б –  $120^\circ$ ; в –  $180^\circ$  при  $r = s$

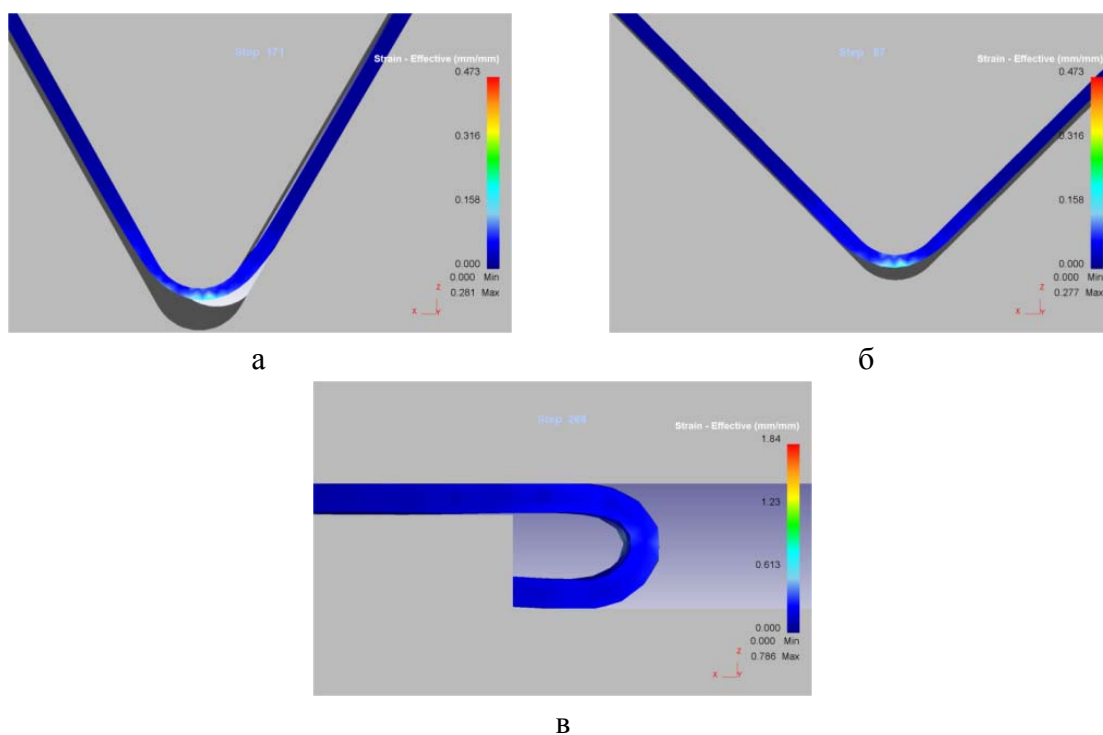


Рис. 6. Модель изгиба до углов:  
а –  $90^\circ$ ; б –  $120^\circ$ ; в –  $180^\circ$  при  $r = 2s$

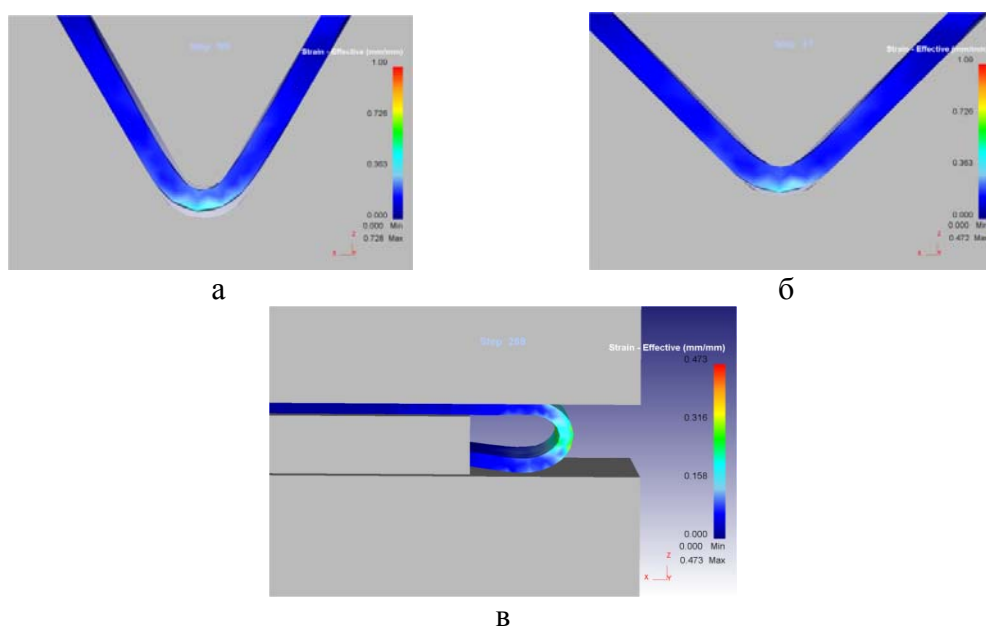


Рис. 7. Модель изгиба до углов:  
а – 90°; б – 120°; в – 180° при  $r = 3s$

Геометрия моделей оснастки повторяла геометрию инструментов, использованных в ходе экспериментальных исследований. Фотография экспериментальной оснастки приведена на рис. 3.

В ходе моделирования процесса заданы следующие условия его протекания:

- коэффициент трения 0,12;
- температура окружающей среды, заготовки и оснастки 20 °С;
- число элементов заготовки 150000;
- скорость движения пуансона – 10 мм/с;
- число шагов симуляции на каждом этапе – 100;

В результате выполненных расчетов получены следующие данные:

- распределения напряжений и деформаций на участке изгиба;
- зависимости усилия гибки в зависимости от хода пуансона (рис. 8).

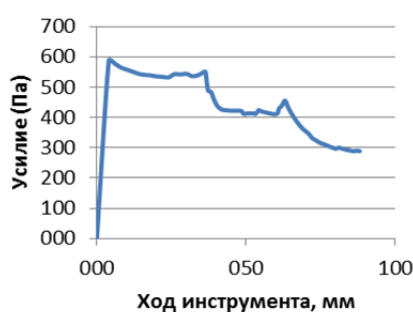


Рис. 8. График зависимости усилия на инструменте в зависимости от хода инструмента

Симуляция выполнена в три этапа:

- 1) Подгибка до 90° в специальной оснастке (рис. 5–7, а);
- 2) Подгибка до 120° в специальной оснастке (рис. 5–7, б);
- 3) Подгибка до 180° на плоских бойках (рис. 5–7, в).

На каждом этапе производилась замена моделей инструмента и перерасчитывались межэлементные связи.

Сопоставление данных экспериментальных исследований и результатов моделирования процесса в программном комплексе Deform 3D приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сопоставления экспериментальных данных и результатов моделирования по максимальному значению утонения изогнутых на 180° образцов

Радиус подгибки	Толщина образца, мм	Deform 3D, мм/мм	Экспериментальные данные, мм	Величина расхождения	
				абсолютная, мм	относительная, %
<i>s</i>	1	0,365	0,334	0,011	9,2
<i>2s</i>		0,290	0,271	0,009	7,01
<i>3s</i>		0,253	0,244	0,009	3,7

Сопоставление результатов моделирования и экспериментальных исследований показывают, что программный комплекс Deform 3D может быть использован для анализа процессов формовки листового металла с достаточной для инженерных расчетов точностью (расхождение не превышает 7 %).

### ВЫВОДЫ

Выполнено моделирование трехэтапного процесса гибки листового металла до 180° посредством программного комплекса Deform 3D. Установлено, что программный комплекс Deform 3D может быть применен для теоретического исследования процессов изгиба листового металла, обеспечивая достаточную для инженерных расчетов точность при погрешности, не превышающей 5–10 % при условии соблюдения повышенного внимания к качеству моделей инструмента и заготовки.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тришевский О. И. Анализ современного состояния производства и применения специальных гнутых профилей с местами изгиба на 180° / О. И. Тришевский // *Обработка материалов давлением* : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2009. – № 2 (21). – С. 227–230.
2. Стукалов В. П. Основные принципы проектирования калибровок валков для формовки профилей с элементами двойной толщины / В. П. Стукалов // *Гнутые профили проката* : Тематический сборник научных трудов. – Харьков : УкрНИИмет, 1975. – Вып. III. – С. 102–108.
3. 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.
4. Тришевский И. С. Некоторые особенности деформации металла в месте изгиба на 180° / О. И. Тришевский, В. П. Стукалов // *Обработка металлов давлением* : сб. науч. тр. – Харьков : УкрНИИмет, 1972. – Вып. XX. – С. 93–99.
5. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – Изд. 6-е, перераб. – М. : Машиностроение, 1979. – 520 с. : ил.
6. 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.
7. 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.

Плеснецов С. Ю. – аспирант НТУ «ХПИ»;

Тришевский О. И. – д-р техн. наук, зав. каф. ХНУСХ им. П. Василенко.

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

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

E-mail: rastrelly@gmail.com