

The high efficiency of surface plastic deformation (SPD) for increase of durability and operational reliability of heavy-loaded parts of machines was analyzed and showed.

Keywords: surface deformation, hardening, rolling by rollers, fatigue resistance, durability.

УДК 621.771.63

С. Ю. ПЛЕСНЕЦОВ, аспирант, НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИММЕТРИИ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ИЗГИБЕ МЕТАЛЛА ДО 180°

Проведена трехэтапная конечно-элементная симуляция процесса изгиба листового металла до 180° посредством программного комплекса Deform 3D. Получены распределения напряжений и деформаций, а также график усилия на инструменте. Выполнен анализ геометрии места изгиба. Получены зависимости, описывающие форму очага деформации в месте изгиба.

Ключевые слова: изгиб, программный комплекс, Deform 3D, симуляция, модель, метод конечных элементов

Введение. Гнутые профили проката являются одним из наиболее эффективных видов металлопродукции (в ходе их производства возможна минимизация расхода материалов и энергии, а продукция холодной прокатки зачастую не требует дальнейшей обработки) и становятся все более востребованным видом металлопродукции в странах СНГ [1].

На рис. 1 приведены наиболее распространенные виды продукции, содержащие элементы изгиба на 180°.

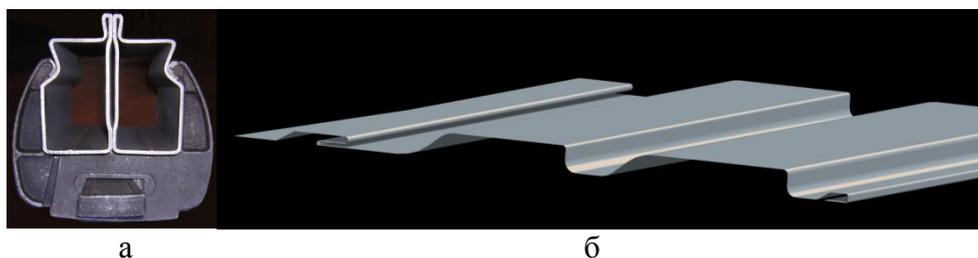


Рис. 1 – Продукция холодной прокатки, содержащая места изгиба на 180°:
а – профиль опалубки, б – сайдинг

Возможности современной вычислительной техники позволяют значительно упростить теоретический анализ процессов изготовления гнутых профилей. Существование программных комплексов Deform 3D и QForm обеспечивает возможность осуществления моделирования процессов как объемного, так и листового формоизменения на основе метода конечных элементов.

В странах СНГ доля легких металлоконструкций в различных конструктивных элементах зданий и сооружений составляет 4%–11%, в то время как в странах ЕС этот показатель оценивается в 50...75%. Перспективная потребность рынка стран СНГ (с учетом достигнутого показателя в странах ЕС) может быть оценена величиной в 12-14 раз большей.

К числу наиболее известных западных корпораций-производителей специальных гнутых профилей относятся такие, как Rautaruukki Group, Arcelor Construction, Tekla и др.

Анализ последних исследований и литературы. Вопросам разработки сортамента специальных гнутых профилей с местами изгиба на 180° 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) Стукаловым В.П. [2-4].

Также исследования деформированного состояния выполнял Романовский В.П. [5] в рамках исследования процесса изгиба как такового. Им были выполнены исследования, направленные на поиск коэффициента смещения нейтрального слоя при подгибке металла на угол 180° и выше.

Цель исследований: изучение особенностей возникновения асимметрии в очаге деформации и получение математического описания формы очага деформации.

Материалы исследований. Исследование процесса деформирования листового металла осуществлялось по аналогии с выполненным комплексом экспериментальных исследований [6].

В ходе эксперимента образец размерами $30 \times 80 \times s$ мм (где s – толщина металла, равная 0,5 мм, 1 мм и 2 мм, а также 1 мм, 1,5 мм и 2,4 мм) последовательно подгибался на углы 90° , 120° и 180° при радиусах в месте изгиба, равных s , $2s$ и $3s$.

В результате проведения экспериментальных исследований были построены графики, описывающие деформацию в месте изгиба. На рис. 2 приведен график, описывающий место изгиба образца толщиной 1 мм.

Полученные данные были аппроксимированы зависимостью вида [7]:

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

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

f – коэффициент формы (см. табл. 2);

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

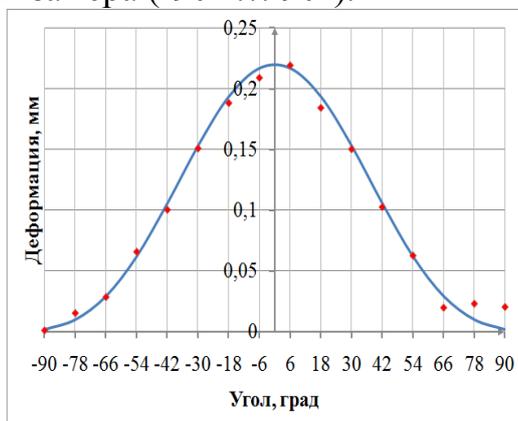


Рис. 2 – Графическое представление результатов замеров утонений в месте изгиба на 180°

Для проведения симуляции эксперимента посредством программного комплекса Deform 3D были созданы модели оснастки, преобразованные в формат *.stl. Шаг сетки моделей составляет 0,1 мм, что обеспечивает достаточную плавность скругленных элементов оснастки.

Использованные модели оснастки приведены на рис. 3.

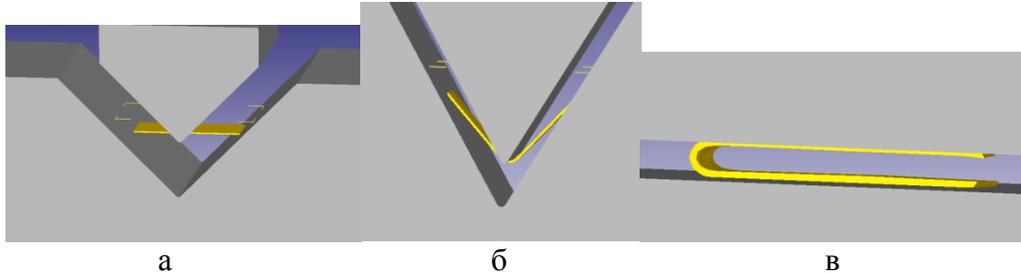


Рис. 3 – Этапы моделирования процесса гибки до 180°: а – 90°; б – 120°; в – 180°

Геометрия моделей оснастки повторяла геометрию инструментов, использованных в ходе экспериментальных исследований. Фотография экспериментальной оснастки приведена на рис. 4.



Рис. 4 – Экспериментальная оснастка для изгиба на 120°

В ходе моделирования процесса были заданы следующие условия его протекания:

- коэффициент трения 0,12;
- температура окружающей среды, заготовки и оснастки 20°С;
- число элементов заготовки 250000;
- скорость движения пуансона – 5 мм/с;
- число шагов симуляции на каждом этапе – 100;

В результате осуществления расчета были получены следующие данные:

- распределения напряжений и деформаций на участке изгиба;
- графическое представление зависимости усилия гибки от хода пуансона (рис. 5).

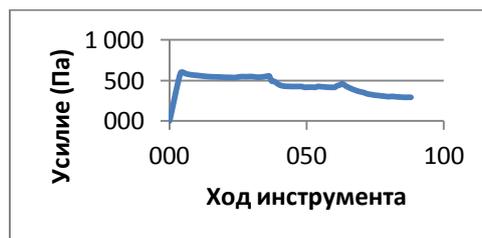


Рис. 5 – График зависимости усилия на инструменте от хода инструмента

Симуляція проводилась в три етапа:

- 1) Подгибка до 90° в спеціальній оснастці (рис. 3а);
- 2) Подгибка до 120° в спеціальній оснастці (рис. 3б);
- 3) Подгибка до 180° на плоских бойках (рис. 3в).

На кожному етапі вироблялась заміна моделей інструмента і перерахувались міжелементні зв'язи.

Після завершення розрахунку зразок придбав U-образну форму, приведену на рис. 6.

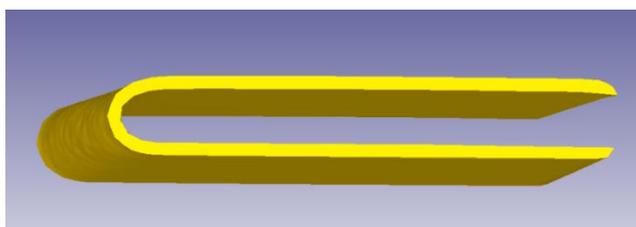


Рис. 6 – Конечная форма образца

Полученные образцы выявляют наличие асимметрии в форме очага деформации, появление которой вызвано протеканием процесса подгибки на заключительном этапе (рис. 7).

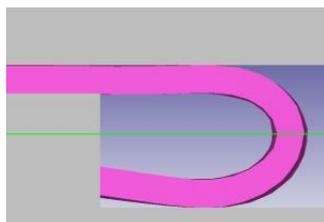


Рис. 7 – Асимметрия в очаге деформации

Для описания очага деформации использовался программный комплекс *Farseer*, разработанный на кафедре ОМД НТУ «ХПІ». Были описаны в виде последовательности точек обе стороны очага деформации (верхняя приведена на рис. 8а, нижняя – на рис. 8б) и получены зависимости, описывающие эти последовательности методом регрессионной аппроксимации.

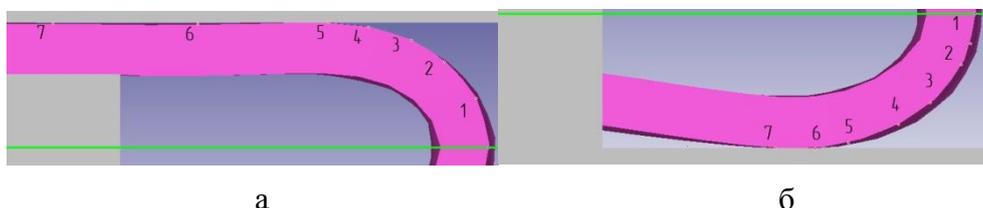


Рис. 8 – Этапы моделирования процесса гибки до 180°
а – верхняя часть очага деформации; б – нижняя часть очага деформации

Зависимость для верхней части:

$$y = \frac{1}{0,003 + 6,3 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-x}} \quad (2)$$

Зависимость для нижней части:

$$y = \frac{1}{0,003 - 7,3 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-x}} \quad (3)$$

Фактическое отклонение симметрии составило приблизительно 0,5 мм.

Обобщение зависимостей (2) и (3) (а также прочих аналогичных зависимостей, полученных в ходе моделирования процесса гибки с другими параметрами) позволяет сформулировать общую эмпирическую зависимость, описывающую форму очага деформации в месте изгиба при данной схеме деформирования:

$$y = \frac{1}{0,003 + k \cdot 10^{-6} \cdot e^{-x}}$$

где k – коэффициент, определяющий форму стороны очага деформации.

Выводы:

1) Проведенные исследования показывают наличие асимметрии в очаге деформации при условии асимметричного приложения сил в процессе деформирования.

2) Сформулирована зависимость $y = \frac{1}{0,003 + k \cdot 10^{-6} \cdot e^{-x}}$, описывающая форму очага деформации в месте изгиба до 180°

Список литературы. 1. *Тришевский О.И.* Анализ современного состояния производства и применения специальных гнутых профилей с местами изгиба на 180°. // Сб.: «Обработка материалов давлением» №2 (21). Краматорск: ДГМА, 2009. – 452 с. С. 227-230. 2. *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. 3. *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. 4. *Тришевский И.С.* Некоторые особенности деформации металла в месте изгиба на 180°. Сб.: «Обработка металлов давлением: Сборник трудов», вып. XX. / *И.С. Тришевский, В.П. Стукалов* – Харьков: УкрНИИмет, 1972. – С. 93–99. 5. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке. – Издание 6-е, переработанное. Из-во Машиностроение, 1979г, 520с., ил. 6. *Тришевский О.И.* Исследование деформированного состояния металла на участке его изгиба на 180°. // Сб.: «Университетская наука-2009»: Сб. тезисов и докладов в 2-х томах. Мариуполь: ПГТУ, 2009. – 433 с. С. 182. 7. *Тришевский О.И.* Моделирование изгиба металла на 180° и исследование его деформированного состояния с использованием цифровых методов. // Сб.: Вестник Национального технического университета «ХПИ»: Х.: НТУ «ХПИ-2009». – №15 – 124 с. – С.71-76.

Надійшла до редколегії 02.11.2013

УДК 621.771.63

Исследование асимметрии в очаге деформации при изгибе металла до 180° / Плеснецов С. Ю. // *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях – Харків: НТУ «ХПИ». – 2013. – № 42 (1015). – С. 139–144. Бібліогр.: 7 назв.*

Проведена трьохетапна кінцево-елементна симуляція процесу згину листового металу до 180° за допомогою програмного комплексу Deform 3D. Отримані розподілення напружень і деформацій, а також графік зусилля на інструменті. Виконано аналіз геометрії місця згину. Отримані залежності, що описують форму осередка деформації в місці згину.

Ключові слова: згин, програмний комплекс, Deform 3D, симуляція, модель, метод кінцевих елементів

Conducted a three-phase finite-element simulation of the process of bending sheet metal up to 180 ° through the software package Deform 3D. Received distributions of stresses and strains, as well as the force curves on the instrument. Analysis of deformation zone geometry is performed. Mathematical description of deformation zone is gained.

Keywords: bending, software system, Deform 3D, simulation model, finite element method

УДК 621.771.23

Е. Н. СМІРНОВ, докт. техн. наук, зав. каф., ГВУЗ «ДонНТУ», Донецьк;
А. П. МИТЬЕВ, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «ДонНТУ», Донецьк;
Е. В. БАЙКОВ, ст. препод., ГВУЗ «ДонНТУ», Донецьк.

УШИРЕНИЕ ТОЛСТЫХ УЗКИХ ЛИСТОВ ПРИ ПРОКАТКЕ С КИНЕМАТИЧЕСКОЙ АСИММЕТРИЕЙ

В лабораторных условиях на образцах из свинца изучали характер пластического течения металла в поперечном направлении при асимметричном процессе прокатки толстых листов. Асимметрию создавали разницей скоростей вращения валков. Установлено, что при прокатке с кинематической асимметрией уширение со стороны ведущего валка выше, чем со стороны ведомого. Результаты исследования позволяют рекомендовать применять кинематическую асимметрию при прокатке трапецевидных профилей на гладкой бочке.

Ключевые слова: уширение, толстый лист, кинематическая асимметрия.

В настоящее время для повышения конкурентоспособности сортового проката за счет снижения расхода валков все больше внимания уделяют технологии прокатки на гладкой бочке [1].

Одним из направлений развития этих технологий может быть асимметричная прокатка сортовых профилей на гладкой бочке [2].

Для асимметричных процессов прокатки характерно не только снижение силы прокатки [3, 4], а и перераспределение обжатий между ведущим и ведомым валками, крутящих моментов [5] и других параметров процесса прокатки.

Однако характер пластического течения металла в поперечном направлении по высоте раската при асимметричной прокатке толстых листов изучен недостаточно.

Целью данной работы является изучение влияния обжатия в пропуске и ширины подката на пластическое течение металла в поперечном направлении при прокатке толстых листов с кинематической асимметрией.

Исследования* течения металла в поперечном направлении были проведены на образцах из свинца. После отливки образцы фрезеровали на требуемый размер в горизонтально-фрезерном станке цилиндрическими фрезами.

Влияние деформации в пропуске на уширение со стороны ведущего и ведомого исследовали на образцах 30x30 мм. Для этого образцы прокатали по трем режимам обжатия (по перемещению нажимных винтов) в пропуске – 3,6 мм, 1,8 мм и 0,9 мм.

* В исследованиях принимали участие Байков В.Е. и Перогив А.А.