

РОЗДІЛ «ПРОКАТНЕ ВИРОБНИЦТВО»

УДК 621.965.01

БОРОВИК П. В., к.т.н., доцент

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля,
г. Северодонецк, Украина

3D МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОПЕРЕЧНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ НА НОЖНИЦАХ

Введение. На современном этапе развития металлургического машиностроения одной из главных является задача расширения технологических возможностей проектируемого и уже эксплуатируемого оборудования. Успешное решение которой, прежде всего, подразумевает повышение точности производимых проектно-конструкторских расчетов при одновременном росте научной обоснованности принимаемых решений, как по конструкции машины, так и по технологии реализуемых процессов.

Неотъемлемой составляющей технологических схем производства катанных сортовых профилей являются операции поперечного разделения на ножницах [1–2]. При этом научные исследования в данной области [3] способствуют выявлению скрытых резервов ножниц и как следствие расширению их технологических возможностей, а также повышению качества готового металлопроката.

Резерв возможностей ножниц, прежде всего, скрывается в точности расчета силы резки, который является определяющим конструкцию ножниц, производительность и надежность их эксплуатации, а также сортамент разрезаемых профилей.

Применительно к разделению сортовых профилей известные методы расчета максимальной силы резки основываются на экспериментальных данных резки параллельными ножами [1–2]. При этом максимальную силу резки предлагают определять, как и для условий резки параллельными ножами заготовок, но с эквивалентной площадью сечения. Однако экспериментально установлено [1, 4], что даже при разделении заготовок равного квадратного сечения в условиях резки параллельными и фасонными (по диагонали) ножами имеют место различия в максимальной величине силы резки. Кроме того, классические методы расчета силы резки [1, 2] параллельными ножами используют эмпирические коэффициенты, учитывающие затупление ножей и влияние бокового зазора, при учете которых величина силы изменяется в достаточно широком диапазоне.

Очевидно, что существуют иные факторы необходимости выявления, которых будет способствовать развитию и уточнению методов расчета энергосиловых параметров процесса разделения ножницами сортовых профилей. Для этого требуется проведение более широкого спектра научных исследований, в том числе с использованием метода конечных элементов (МКЭ) [5].

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка трехмерных математических моделей процесса разделения сортовых профилей, которые будут способствовать расширению представления о процессах, происходящих в металле.

Результаты работы. Для решения поставленной задачи был применен конечно-элементный программный комплекс ABAQUS [6]. На базе, которого были разработаны трехмерные математические модели процессов разделения уголка и швеллера на ножницах с профилированными ножами.

В результате были разработаны трехмерные математические модели (рис. 1), описывающие процесс разделения уголка и швеллера фасонными ножами на ножницах

с параллельным движением суппортов. Каждая состоит из двух абсолютно жестких недеформируемых тел – верхний и нижний ножи, а также деформируемого бруса, который моделирует разделяемый профиль. Кроме того, для учета упругой деформации станины в модель введен упругий элемент, а для исключения значительных динамических колебаний – вязкий демпфер.

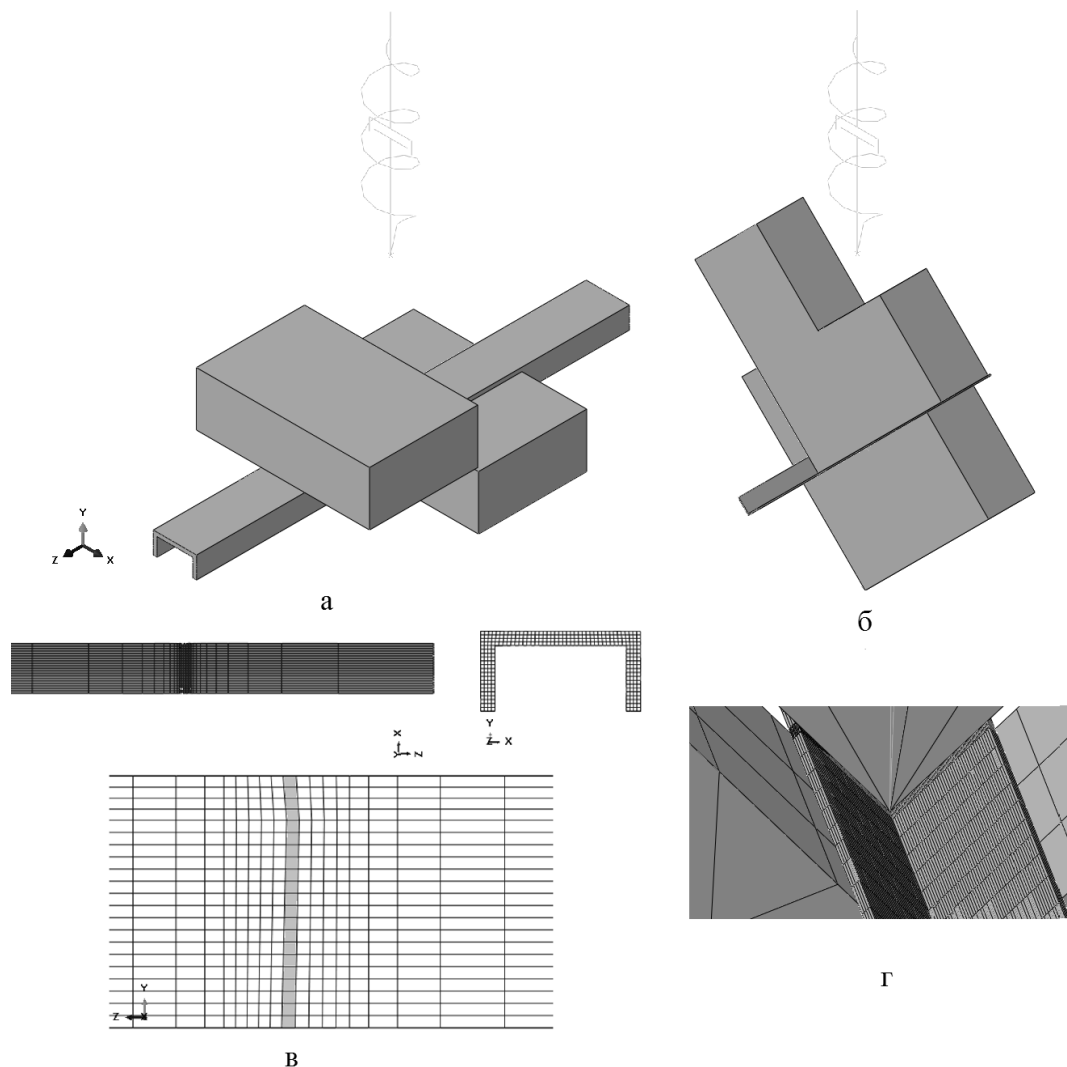


Рисунок 1 – Общий вид и особенности структуры сетки моделей разделения швеллера (а, в) и уголка (б, г)

При этом, по аналогии с реальной конструкцией ножниц, движение сообщается нижнему ножу, тогда как верхний нож остается неподвижным.

Инструменты моделировались как дискретные недеформируемые поверхности и представляют собой сетку, состоящую из трехмерных четырехузловых элементов (R3D4). Сетка деформируемого бруса состоит из изопараметрических шестигранных восьмиузловых линейных элементов с редуцированной схемой интегрирования (C3D8R), имеющих свойства сплошной деформируемой среды. При этом сетка имеет сгущение в очаге резки. Кроме того, при моделировании процесса разделения швеллера конфигурация сетки с целью учета различных высот полки и стенок, а также возможных ее искажений по этой причине, имела различный наклон на соответствующих участках (рис. 1, в).

Учитывая, что процесс разделения металла сопровождается большими пластическими деформациями, в ходе математического моделирования использовалась процедура адаптации сетки в формулировке Лагранжа-Эйлера [6].

В основу модели контактного взаимодействия между заготовкой и инструментами был положен закон трения Амонтона-Кулона, как отношение напряжения трения (касательного) к внешнему контактному давлению между контактирующими телами.

Разрушение материала моделировалось методом исключения элементов из расчета, после исчерпания ресурса пластичности в соответствии с диаграммой пластичности [6].

Сопrotивление металла деформированию, с учетом скорости деформации, определяли по известной зависимости [7]:

$$\sigma_u = \sigma_{cm} K_v, \quad (1)$$

где σ_{cm} – сопротивление деформации при статических испытаниях;

K_v – скоростной коэффициент.

При определении сопротивления деформации при статических испытаниях использовали аппроксимацию, предложенную в работе [8]:

$$\sigma_{cm} = \sigma_{0,2} \left(\bar{\varepsilon}_p / 0,002 \right)^{m_0}, \quad (2)$$

где $\bar{\varepsilon}_p$ – степень истинной пластической деформации;

m_0 – показатель упрочнения, который зависит от соотношения предела прочности к пределу текучести $\sigma_b / \sigma_{0,2}$ и определяется:

– при $\sigma_b / \sigma_{0,2} \leq 1,32$

$$m_0 = \frac{\ln(\sigma_b / \sigma_{0,2}) + 0,058}{3,44}; \quad (3)$$

– при $\sigma_b / \sigma_{0,2} > 1,32$

$$m_0 = \frac{\ln(\sigma_b / \sigma_{0,2}) + 0,216}{4,78}. \quad (4)$$

Скоростной коэффициент, определяли из выражения [7]:

$$K_v = \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_{cm}} \right)^{m_1}, \quad (5)$$

где $\dot{\varepsilon}$ – текущая скорость деформации;

$\dot{\varepsilon}_{cm}$ – скорость деформации при статических испытаниях;

m_1 – степенной показатель, определяемый механическими свойствами материала.

Для оценки адекватности разработанных моделей производилось сравнение результатов моделирования с результатами лабораторных экспериментальных исследований, которые проводились в условиях кафедры «Машины металлургического комплекса и прикладная механика» Донбасского государственного технического университета на лабораторной установке кривошипно-шатунных ножниц с параллельным расположением суппортов (рис. 2), в которые устанавливали ножи соответствующие условиям реализации процесса разделения. В качестве исследуемых образцов использовали сор-

товой профиль, размеры которого представлены в таблице 1, изготовленный из алюминиевого сплава АА6066 со следующими механическими свойствами: $m_1 = 0,02$, $\sigma_{0,2} = 360$ МПа, $\sigma_b = 395$ МПа. При моделировании кривые текучести материала строили, используя алгоритм (1)–(5).

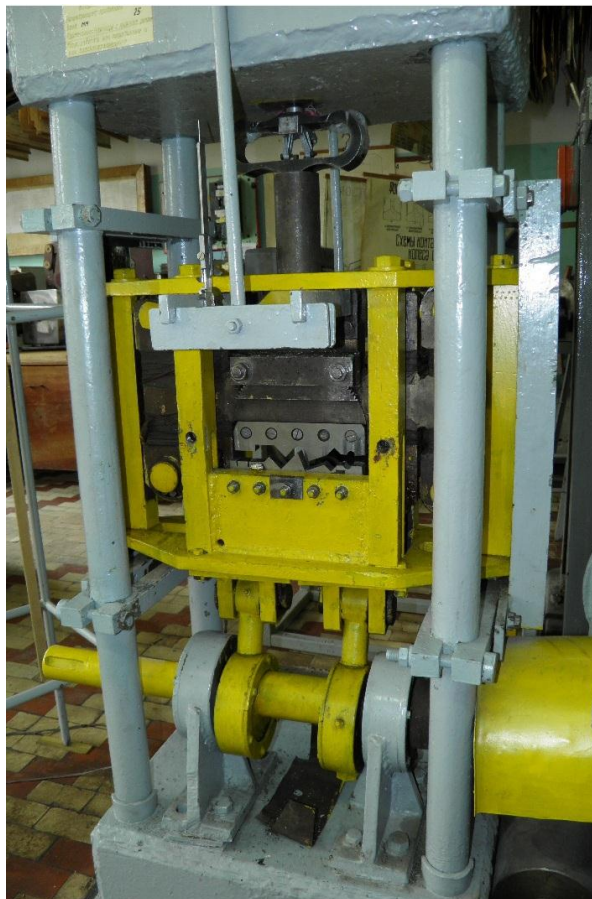


Рисунок 2 – Общий вид лабораторной установки кривошипно-шатунных ножниц с параллельным расположением суппортов

Таблица 1 – Форма профилей, разрезаемые на ножницах, и их геометрические размеры

Профиль	Номинальный размер, мм			
	Высота	Ширина	Толщина стенки	Толщина полки
Швеллер	10	20	1,75	1,75
Уголок равнобокий	25	–	1,9	–

Скорость резки (движения нижнего ножа) в условиях моделирования полностью совпадали с условиями лабораторной реализации процесса, и составила 30 мм/с.

На рисунке 3 можно видеть изображения поверхностей среза, полученные по результатам экспериментов и моделирования, при симметричном (рис. 3, а) разделении и при повороте на 25° относительно оси (рис. 3, б) равнобокого уголка, а также швеллера (рис. 3, в). Представленные изображения, геометрия профиля, а также формирование поверхности среза, по результатам моделирования достаточно хорошо соответствуют образцам, которые были получены экспериментально.

Також проводилось порівняння енергосилових параметрів розглянутих умов реалізації процесу. На рисунку 4 представлені експериментальні залежності сили в динаміці процесу і для відповідних умов, представлених на рис. 3.

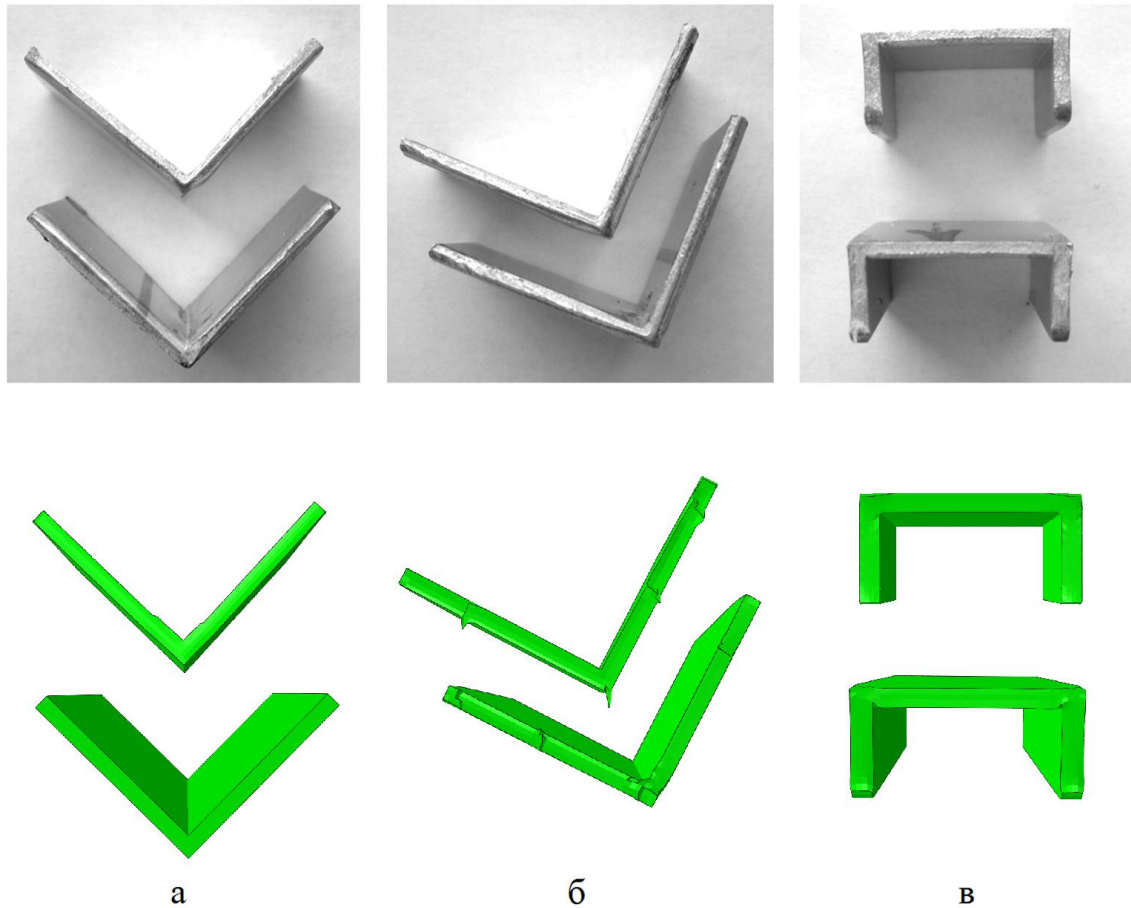


Рисунок 3 – Зображення поверхностей среза при симетричному (а) розділенні і при повороті на 25° відносно осі (б) рівнобічного уголка, а також швеллера (в), отримані по результатам експериментів і моделювання

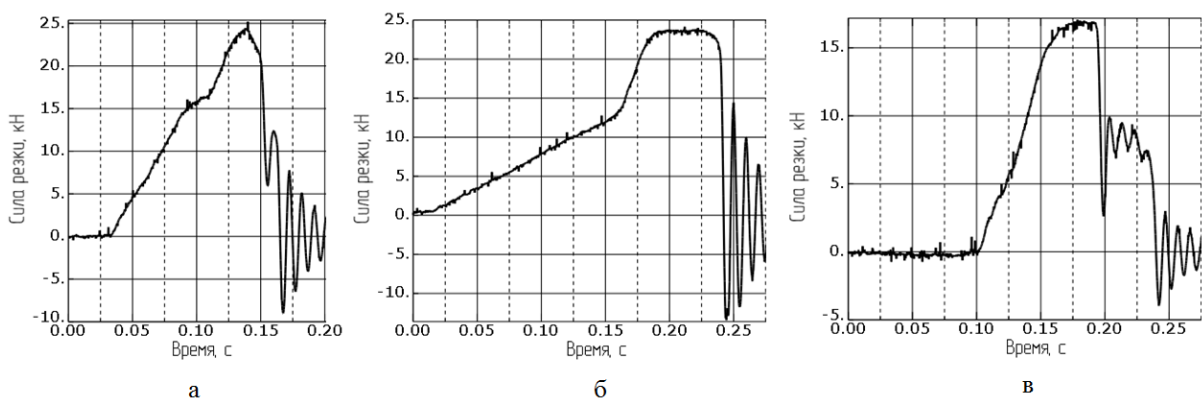


Рисунок 4 – Експериментальні залежності сили різки при симетричному (а) розділенні і при повороті на 25° відносно осі (б) рівнобічного уголка, а також швеллера (в)

В целом результаты экспериментальных исследований достаточно хорошо согласуются с разработанными конечно-элементными моделями. В частности коэффициент корреляции между экспериментальными зависимостями силы резки и полученными МКЭ составил $R = 0,845 \dots 0,932$.

Обобщая полученные результаты, можно утверждать, что результаты экспериментальных исследований в значительной степени согласуются с разработанными КЭ математическими моделями, которые в свою очередь могут быть использованы для дальнейшего анализа и разработки практических рекомендаций, направленных на совершенствование методик расчета, а также технических и технологических аспектов реализации процесса.

Выводы. По результатам работы можно сделать следующие выводы:

– впервые разработаны трехмерные математические модели процесса разделения уголка и швеллера на ножницах, позволяющие исследовать процессы, происходящие в металле;

– результаты, полученные в ходе моделирования, по отношению к экспериментальным данным имеют достаточно высокие значения коэффициента корреляции;

– данные модели позволяют повысить точность теоретических решений, что будет способствовать расширению представления о процессе разделения сортовых профилей на ножницах, а также повышению степени достоверности рассчитываемых энергосиловых параметров процесса и основных показателей качества, поскольку позволяют максимально полно учесть факторы на них влияющие.

Результаты работы могут быть использованы при дальнейших исследованиях разделительных операций фасонных профилей на ножницах с целью разработки рекомендаций направленных на совершенствование существующих и разработку новых проектно-конструкторских и технологических решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванченко Ф. К. та ін. Розрахунок машин і механізмів прокатних цехів : Навч. посіб. / Ф. К. Иванченко, В. М. Гребеник, В. І. Ширяев. – К. : Вища шк., 1995. – 455 с.: іл.
2. Лукашин Н. Д. Конструкция и расчет машин и агрегатов металлургических заводов: учебник для вузов / Н. Д. Лукашин, Л. С. Кохан, А. М. Якушев. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2003. – 456 с.: ил.
3. Трусковский В. И. Ножницы для резки сортового проката и толстостенных труб / В. И. Трусковский, В. Г. Шеркунов // Металлург. – 2012. – № 11. – С. 63–66.
4. Исследование энергосиловых параметров процесса поперечного разделения на ножницах непрерывнолитых сортовых заготовок / А. В. Сатонин, П. В. Боровик, П. А. Петров, С. М. Стриченко // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – Вып. 35. – Алчевск : ДонГТУ, 2011. – 360 с. – С. 131–137.
5. Liu G. R. The Finite Element Method: A Practical Course / G. R. Liu, S. S. Quek. – 2003. – 348 с.
6. Боровік П. В. Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском на основі методу скінчених елементів : навч. посіб. / П. В. Боровік. – Алчевськ : ДонДТУ, 2012. – 170 с.
7. Ушаков М. В. Учет влияния скорости деформации и температуры на процессы, происходящие в зоне первичной деформации при резании металлов / М. В. Ушаков, С. Ю. Ильюхин, И. А. Воробьев // Известия ТулГУ. Технические науки. – Вып. 4. – Ч. 2. – Тула : ТулГУ, 2010. – С. 89–93.
8. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении. Справочник / Д. А. Гохфельд, Л. Б. Гецов, К. М. Кононов и др. – Екатеринбург : УрО РАН, 1996. – 408 с.