

УДК 621.967.1

В.Н. Ульяницкий /к.т.н./, П.А. Петров

ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет» (Алчевск)

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ И РАСПОЛОЖЕНИЯ СОРТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗКИ ФАСОННЫМИ НОЖАМИ

Выполнен анализ влияния формы разрезаемого сечения и относительного направления движения инструмента на затрачиваемую работу при резке сложнопрофильного металлопроката и простых сортовых заготовок фасонными ножами.

Ключевые слова: сортовой металлопрокат, фасонные ножи, сортовые ножницы, сила резки, работа резки, квадрат, круг, швеллер, полоса, штрипс.

Постановка проблемы

Разделительные операции, как элемент технологической цепи производства сортового металлопроката, являются весьма распространенными и необходимыми в современном прокатном производстве. Многообразие механических схем резки усложняет выбор наиболее рационального способа разделения и требует учета влияния технологических факторов и проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований. В связи с этим, к качеству, производительности и энергоэффективности процесса резки предъявляют особые требования [1,2].

Анализ последних исследований и публикаций

Современное развитие теории, технологии и оборудования в области разделения сортового проката связано с работами таких исследователей, как А.И. Целиков, Ю.М. Стахийев, В.В. Татарников, А.А. Ищенко, В.М. Гребеник, С.А. Серегин, В.Т. Мещерин, С.С. Соловцов. По способу разделения исходного металла на мерные заготовки операции разделения можно класси-

фицировать на два типа: безотходные и с отходами [3]. Доказано, что способы резки, исключая стружкообразование (например, с помощью ножниц), характеризуются высокими материалосберегающими, экономичными показателями и увеличенной производительностью [4,5]. Однако широкое промышленное применение последних сдерживает необходимость изготовления профилированных ножей в соответствии с ассортиментом разрезаемых ножницами заготовок и выбором относительного направления движения инструмента. Некоторые варианты конструкторских решений по данным вопросам представлены в работах [6,7]. Определение энергосиловых параметров процесса резки фасонными ножами фланцевых профилей (или квадрата по диагонали) предложено проводить по традиционным методикам, разработанным для ножниц с параллельными ножами [8], что вносит определенную погрешность в оценку энергоэффективности разделительной операции, основными показателями которой являются сила и работа резки. В свою очередь, в исследованиях [9], на основании разработанного метода [10], учитывающего реальную геометрию профиля и

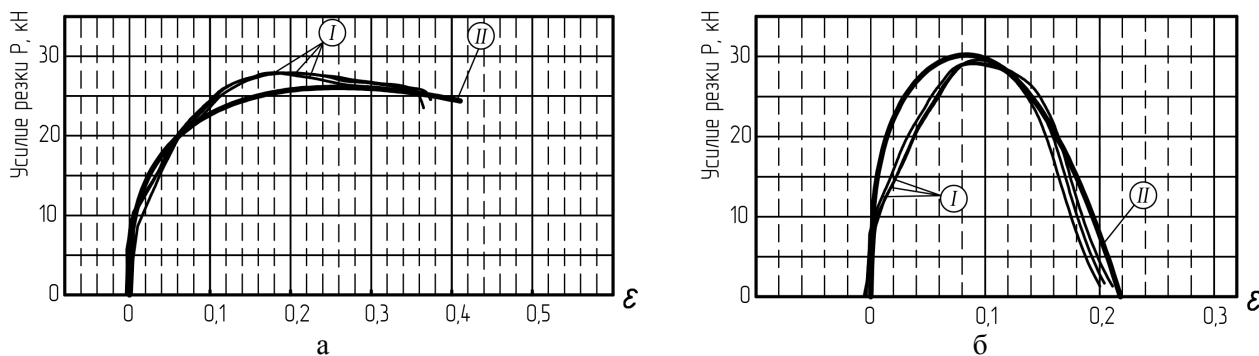


Рис. 1. Осциллограммы I и теоретические зависимости II силы резки параллельными (а) и фасонными (б) ножами квадратной заготовки сечением 10×10 мм

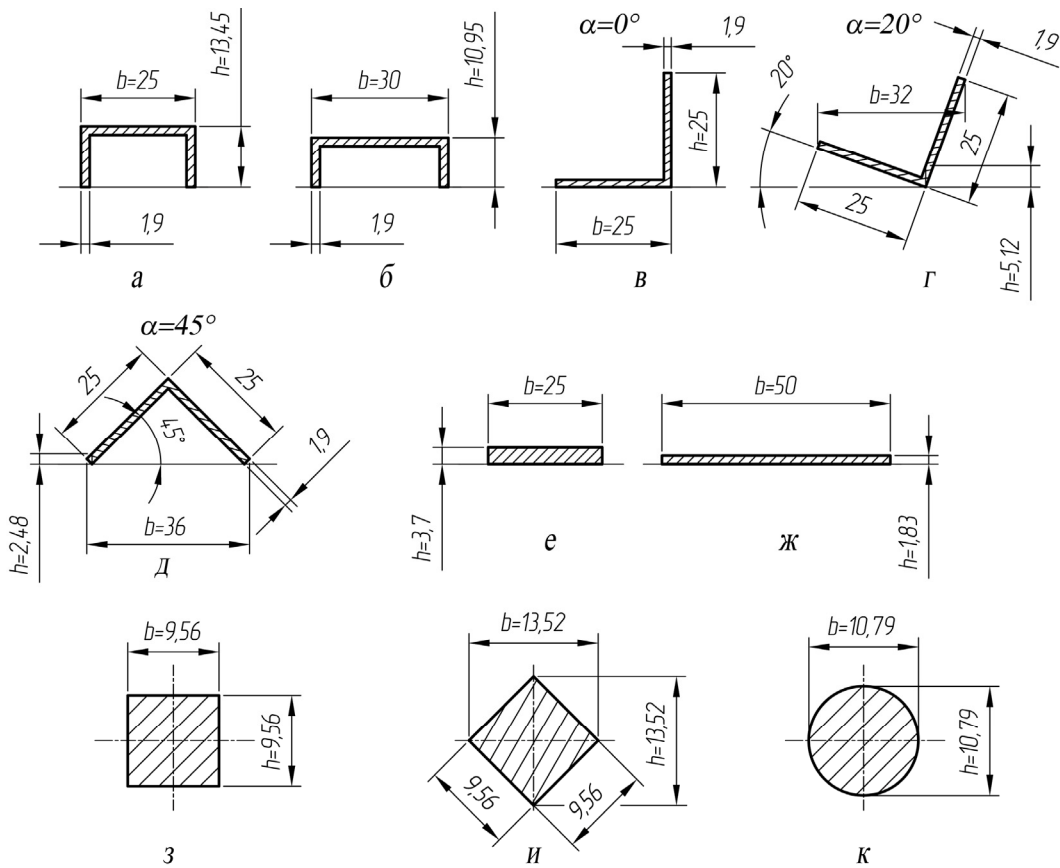


Рис. 2. Типы профилей и их положение при резке в ножевых калибрах:
 а, б – швеллер; в, з, д – уголок равнобокий, соответственно расположенный относительно горизонтали под углом $\alpha=0^\circ, 20^\circ, 45^\circ$; е, жс – полосовой профиль; з, и – квадрат; к – круг; геометрические параметры в мм

кинематику движения инструмента, получены уточненные зависимости изменения силы резки от хода ножей, но для комплексной оценки процесса необходим учет расхода энергии.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является установление влияния формы разрезаемого сечения и относительного направления реза на эффективность разделительной операции, определяемой суммарной работой резки при обработке сложнопрофильного металлопроката сортовыми ножницами.

Основной материал исследования

Комплексный подход к решению задач энергоэффективности процесса резки сложнопрофильного металлопроката невозможен без создания математических моделей с последующим обобщением и анализом полученных результатов. Для проверки адекватности разработанной математической модели проведены теоретические и экспериментальные исследования [10] на примере резки квадратных заготовок сечением 10×10 мм из алюминиевого сплава АА6063 [11] в холодном состоянии на ножницах усилием 20

кН с подвижным нижним ножом. В суппортах ножниц располагали пары фасонных (для резки квадрата по диагонали) и параллельных ножей. Для контроля и регистрации основных силовых параметров была собрана измерительная система, включающая тензорезисторный преобразователь, усилитель и компьютер с многоканальным аналого-цифровым преобразователем.

В результате эксперимента получены осциллограммы силы резки P от относительного внедрения ε ножей в металл для параллельных (рис. 1а) и фасонных (рис. 1б) ножей, на которые были наложены теоретические зависимости [10]. Как можно видеть, теоретические и экспериментальные зависимости имеют высокую степень сходимости.

Значения максимальной силы резки необходимы при проектировании нового и модернизации действующего режущего оборудования. Энергоэффективность операции разделения определяет площадь под графиком функции $P(y)$, описывающей изменение силы P от хода ножа y , выражаемая следующей интегральной зависимостью:

$$A = \int P(y)dy. \tag{1}$$

Для моделирования характера влияния формы разрезаемого сечения и его ориентации относительно направления движения инструмента на силу и работу деформации, были выбраны сортовые профили с одинаковой площадью поперечного сечения ($S=91,39 \text{ мм}^2$), но разной формы: квадрат, круг, уголок равнобокий, швеллер и полоса (штрипс). Сечения отобранных профилей и их расположение в ножевых калибрах представлены на рис. 2. Следует отметить, что пространственные положения профиля углового равнобокого в ножевых калибрах, представленные на рис. 2в и 2г (угол наклона полок относительно горизонтали $\alpha=0^\circ$ и $\alpha=20^\circ$) на практике не применяются и приведены в данной работе исключительно в исследовательских целях.

Используя зависимость (1) и результаты работы [10] для отобранных сортов профилей в положении, представленном на рис. 2, были получены следующие новые результаты. Установлены распределения силы резки, определены их максимальные значения, рассчитаны суммарные работы резки, затрачиваемой на разделение соответствующего профиля (табл. 1). Конечные результаты представлены в виде распределения максимальной силы резки P_{max} от параметра b (ширины горизонтальной проекции сечения) заготовки (рис. 3) и суммарной работы резки A в зависимости от хода ножей h через заготовку (в случае ортогонального расположения заготовки, равного высоте разрезаемого профиля) (рис. 4).

Анализ графических зависимостей позволяет оценить влияние формы и геометрии разрезаемого профиля на распределение силы P_{max} и суммарную работу A . Для снижения максимальной силы резки ширину, точнее длину горизонтальной проекции разрезаемого профиля на плоскость ножей, следует уменьшать, что согласуется с полученными ранее данными при обработке фланцевых профилей [12]. Однако, при обработке всех 10 вариантов (табл. 1), из кото-

рых 5 относятся к фланцевым профилям (швеллер и уголок), предполагать линейную зависимость аппроксимирующей прямой вида $P_{max}(b)=ab+c$, представленной на рис. 3 будет некорректно, коэффициент корреляции $r=0,09$ (определялся построением линии тренда и вычислением выборочного линейного парного коэффициента корреляции Пирсона). В свою очередь, построение аппроксимирующей зависимости $P_{max}(b)=0,41b+9,65$ (на рис. 3 штриховая линия) только для фланцевых профилей дает положительный результат ($r=0,93$) и может быть использована для анализа процесса.

Работа, затрачиваемая на разделительную операцию, напрямую зависит от высоты разрезаемого профиля [2], но характер распределения (рис. 4) суммарной работы резки $A(h)$ при обработке всего диапазона данных (всех 10-ти вариантов) с достаточной степенью надежности ($r=0,95$) можно описать следующим выражением:

$$A(h) = 22,05h^{0,45}.$$

Распределение суммарной работы резки $A(h)$ при анализе результатов только для фланцевых профилей с высокой степенью надежности ($r=0,99$) может быть представлено линейной зависимостью $A(h)=2,57h+30$ (на рис. 4 штриховая линия) и реализовано в случае необходимости экстраполяции или прогнозирования результатов резки металлопроката.

Выводы

Доказано, что разделение равных по площади, но различных по форме заготовок сопровождается индивидуальными для каждого профиля результатами и дополняет классические представления, учитывающие только площадь разрезаемого сечения.

Табл. 1. Результаты расчетов силы и работы резки

№ п.п.	Профиль	Геометрические параметры		Энергосиловые показатели	
		Высота h , мм	Ширина b , мм	Сила резки P_{max} , кН	Работа резки A , Дж
1	Швеллер 25×13,4×1,9	13,4	25	20,42	67,134
2	Швеллер 30×11×1,9	10,95	30	21,51	55,029
3	Уголок равнобокий 25×25×1,9:				
	– $\alpha=0^\circ$	25	25	19,25	93,657
4	– $\alpha=20^\circ$	5,12	32	23,92	47,387
5	– $\alpha=45^\circ$	2,48	36	23,92	33,373
6	Прямоугольник	3,65	25	24,03	42,88
7	Прямоугольник	1,83	50	24,87	25,927
8	Квадрат	9,56	9,56	23,92	79,377
9	Квадрат на ребро	13,52	13,52	26,97	62,526
10	Круг	10,79	10,79	24,18	72,65

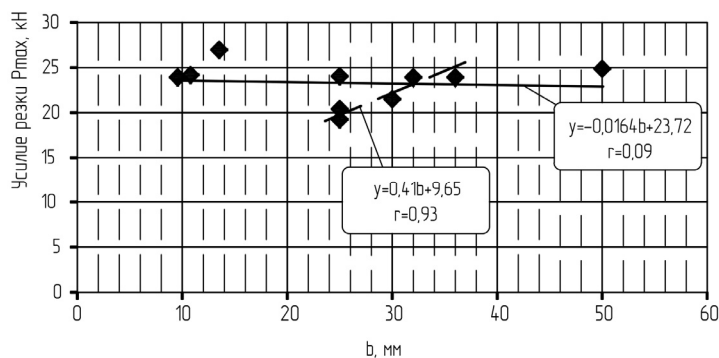


Рис. 3. Распределение максимальной силы резки P_{max} от ширины b при разделении указанных в табл. 1 заготовок (результаты отсортированы по возрастанию относительно b)

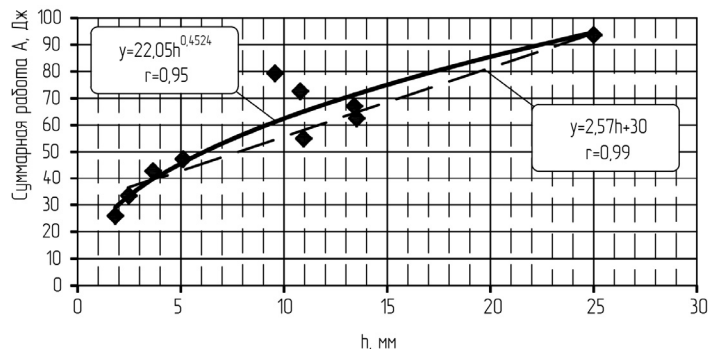


Рис. 4. Распределение суммарной работы резки A от хода ножей h при разделении указанных в табл. 1 заготовок (результаты отсортированы по возрастанию относительно h)

Установлено, что распределение максимальной силы резки при разделении фланцевых заготовок имеет линейный характер, зависящий, в основном, от ширины разрезаемого профиля. Но при обобщении результатов как по фланцевым, так и по простым сортовым профилям, степень влияния параметра b на P_{max} становится более сложной (для аппроксимации требуется полином 5 степени) из-за нелинейного влияния зависимости внедрения инструмента до скола от толщины элементарного объема разрезаемой заготовки.

Работа, затрачиваемая на разделительную операцию, зависит от высоты разрезаемого профиля (хода ножей через заготовку). Характер распределения суммарной работы резки при обработке всего диапазона данных может быть описан указанной выше степенной зависимостью.

Резка квадрата по диагонали, создающая в заготовке только сжимающие напряжения и способствующая меньшему искривлению формы отрезаемого сечения, сопровождается уменьшением расхода энергии на разделительную операцию. Резка квадрата параллельными ножами потребует 79,377 Дж, а фасонными 62,526 Дж, что на 21 % меньше.

Результаты работы могут быть использованы при расчете энергосиловых параметров процесса холодной резки, а также при дальнейших исследованиях разделительных операций сложнопро-

фильного металлопроката сортовыми ножницами.

Список литературы

1. Трофимчук В.Д. Дефекты прокатной стали и меры борьбы с ними. – М.: Металлургия, 1954. – 632 с.
2. Соловцов С.С. Безотходная разрезка сортового проката в штампах. – М.: Машиностроение, 1985. – 175 с.
3. Ковка и штамповка: справочник. В 4-х т. Т.1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка / Под ред. Е.И. Семенова. – М.: Машиностроение, 1985. – 568 с.
4. Трусовский В.И. Развитие теории и практики производства заготовок обработкой давлением на основе совершенствования методов анализа НДС, создания новых способов и устройств: дис. ... док. техн. наук: 05.02.09 / Трусовский Виктор Иванович. – Челябинск, 2014. – 260 с.
5. Карнаух С.Г., Карнаух Д.С., Чоста Н.В. Разработка оборудования для деления сортового проката (труб) на мерные заготовки с применением нитинола / Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2015. – №2(41). – С. 323-326.
6. Пат. 20130145914 А1 США. МКИ В23Д 17/06. Crank scissors having two pairs of blades for cutting rolling strips / G. Heitze, U. Grebe,

- К. Bäumer; SMS Siemag Aktiengesellschaft, Dusseldorf (DE). – №13/764475; заявл. 11.02.2013; опубл. 13.06.2013.
7. Пат. 3854358 США. МКИ В26D 5/02, В22D 11/126. Profile steel cutter / E. Kruse. – №295121; заявл. 05.10.1972; опубл. 17.12.1974.
 8. Целиков А.И., Смирнов В.В. Прокатные станы: учебник для вузов. – М.: Metallurgizdat, 1958. – 432 с.
 9. Теоретические и экспериментальные исследования процесса горячей поперечной резки непрерывно-литых сортовых заготовок / А.В. Сатонин [и др.] // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: зб. наук. пр. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2012. – С. 3-10.
 10. Боровик П.В., Петров П.А. Теоретическое определение силы резки ножницами фасонных профилей / Metallургическая и горно-рудная промышленность. – 2013. – №5. – С. 41-44.
 11. Цвияк А.П. Краткий справочник машиностроителя-международника. – СПб: Питер, 2011. – 384 с.
 12. Ульяницкий В.Н., Петров П.А. Влияние формы и расположения профиля на энергосиловые параметры резки фасонного металлопроката сортовыми ножницами / Сб. науч. тр. Донбасского гос. техн. ун-та. – Алчевск: ДонГТУ, 2016. – Вып.3(46). – С. 149-156.

V.N. Ulianitsky /Cand. Sci. (Eng.)/, P.A. Petrov
Donbas State Technical University (Alchevsk)

THE INFLUENCE OF THE CROSS-SECTION SHAPE AND THE LOCATION OF METAL PRODUCTS ON POWER PARAMETERS OF CUTTING WITH SHAPED CUTTERS

Background. *In the practice of metallurgical production, various units are used for the transverse separation of billets. The variety of mechanical cutting schemes complicates the choice of the most rational method of separation and requires additional theoretical and experimental studies. In this regard, the definition of technological opportunities of operated and newly designed equipment for the separation of geometrically-complex rolled metal in the modern section mill is one of the important and urgent tasks.*

Materials and/or methods. *The main indicators of the cutting process which is divided into three stages (cutter indentation in metal, shift, or cut, separation) are the force of cutting, the definition of which is produced by the method of numerical recurrent solutions of finite-difference schemes of the static balance of the allocated elementary volumes. Experimental research methods included: physical modeling of the processes, strain gauge measurement methods and measurement of geometric parameters.*

Results. *Analytical dependencies underlying the mathematical models of cutting process of a variety of profile shapes with cutters correlate well with the experimental data. On the basis of the developed technique, we have performed the simulation of cutting process of geometrically-complex rolled metal of equal cross-section at different process conditions, which allows expanding the understanding of the process and determining the factors influencing the efficiency of the separation process implemented by sectioning scissors.*

Conclusion. *The description of the separation process of the flanges is proposed taking into account, in contrast to the classical view, not only the influence of the cross-sectional area of the billet on the value of the maximum force and the total performance of cutting, but also the shape (location) of the profile relative to the movement of the cutters. The obtained values of the maximum force and cutting performance at various schemes of implementation of the separation of shaped sections by the varietal scissors clarify and extend the classical representation of the process in the locus of cutting. This allows setting adequate initial parameters in the design of new mechanical equipment and modernization of existing processing units.*

Keywords: *shaped metal products, profile cutters, cutting force, cutting performance, angle, channel bar, strip.*

Статья поступила 07.09.2016 г.
© В.Н. Ульяницкий, П.А. Петров, 2016
Рецензент д.т.н., проф. С.П. Ерньоко