

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

УДК 621.967.1:621.77

Я.М. Стерлигова, Е.И. Демина

Сибирский государственный индустриальный университет

## АНАЛИЗ РАБОТЫ НОЖНИЦ ДЛЯ РЕЗКИ МЕТАЛЛА

Несмотря на успешное развитие материаловедения, проявляющееся в создании новых сплавов, композиционных материалов, новых структур и др., современные технологии практически во всех отраслях основаны на использовании черных материалов – до 70 % от всего объема [1]. Поэтому производство проката, выпуск новых профилей является современной и актуальной проблемой. Наличие затянувшегося мирового экономического кризиса привело к возрастанию конкуренции за рынок металла, где победителем окажется тот производитель, который выпускает продукт с наиболее точными и экономичными профилями. Такие условия обеспечивают постоянное возрастание требований не только к качеству производимого проката, но и к максимально возможной точности раскроя, что дает экономию металла производителю и пользователю прокатной продукции.

Резка проката в соответствии с заданными размерами осуществляется на ножницах разного типа и конструкции, что на современном этапе определяет повышенный интерес и к технологии резки, и к самим ножницам.

Кроме вышепредставленных соображений по ресурсосбережению, не менее важным является и аспект энергосбережения [2, 3].

Все это определяет цель при исследовании работы ножниц для резки металла – обеспечение ресурсо- и энергосбережения в технологическом процессе резки металлопроката. Задачи, решение которых обеспечит достижение поставленных целей, могут быть определены при изучении и анализе процесса резки.

Даже при больших различиях в технологии резания, типах и конструкциях ножниц можно выделить основной параметр – механизм резки. Наиболее распространенным («базовым») является процесс с нижним резом на параллельных ножах [4]. На рис. 1 представлена схема установки для резки раската.

Нижний нож смонтирован на суппорте (ползуне), который может подниматься с помощью электромеханического (кривошипного) или гидравлического привода. Верхний нож

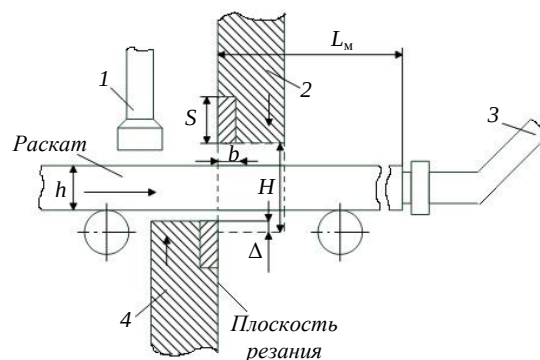


Рис. 1. Схема резки раската на ножницах с параллельными ножами: 1 – прижим; 2 – верхний нож; 3 – передвижной упор; 4 – нижний нож

также установлен на суппорте и может перемещаться по вертикали. Для фиксации положения разрезаемого раската используется прижим.

Перед началом процесса резки нижний нож находится ниже уровня роликов рольганга, и раскат входит в зазор между верхним и нижним ножами. Металл останавливается при помощи упора (на схеме не показан). Затем суппорт верхнего ножа опускается до контакта с поверхностью металла. При дальнейшем подъеме нижнего ножа начинается процесс резания.

В соответствии с данными работ [4, 5] процесс резания состоит из трех периодов (рис. 2): 1 – вмятие ножей в металл, при этом усилие на ножи постепенно увеличивается до максимального значения  $P_{\max}$ ; 2 – собственно резание (сдвиг металла по плоскости резания); 3 – скалывание (отрыв) оставшейся неразрезанной части.

Длительность первого периода характеризуется коэффициентом  $E_b$ , равным отношению глубины  $z_b$  внедрения ножей в металл при вмятии к исходной высоте  $h$  сечения металла, т. е.  $E_b = z_b / h$ .

Во втором периоде, по окончании вмятия ножей в металл, возникшее усилие превышает механический предел прочности металла, и начинается касательная деформация (сдвиг) металла, что выражается как

$$P_{\max} = \tau_{\max} F_{\text{рез}} = k_1 \sigma_b F_{\text{рез}}, H, \quad (1)$$

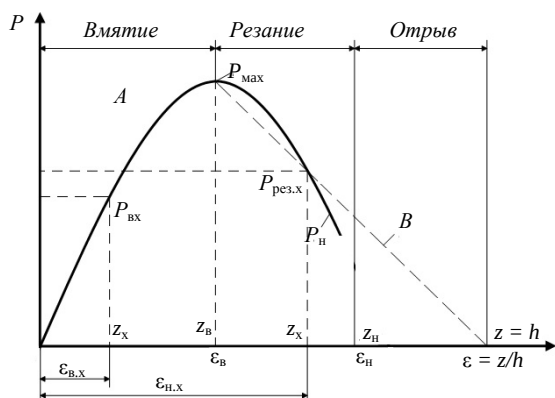


Рис. 2. Изменение усилия на ножи при резании в зависимости от глубины внедрения ножей:

A – экспериментальная кривая; B – прямая на участке разреза

где  $\tau_{\max}$  – максимальное касательное напряжение при резании (сдвиге металла), Н/м<sup>2</sup>;  $F_{\text{рез}}$  – сечение металла в момент начала сдвига (резания), м<sup>2</sup>;  $k_1 = \tau_{\max} / \sigma_b$  – коэффициент, равный отношению максимального сопротивления срезу к пределу прочности.

В момент окончания вмятия ножей (начало собственно процесса резания) высота сечения металла равна  $h - z_v = h(1 - E_v)$ , соответственно площадь начала резания составит

$$F_{\text{рез}} = h(1 - E_v)b = hb(1 - E_v),$$

где  $b$  – ширина полосы металла.

Поскольку при резании будет происходить изменение толщины раската (глубины площади сдвига), то возникает линейное уменьшение требуемого усилия резания.

В третьем периоде при достижении некоторой толщины за счет распорных усилий (рис. 2) будет происходить обрыв (скалывание) необрезанной части, поэтому кривая усилий в ножницах представлена штриховой линией как гипотетическое допущение.

Таким образом, величиной, определяющей эффективную работу ножниц, является значение максимального усилия резания. Для практических условий резания полученное аналитическое выражение (1) требует некоторых корректив, с учетом чего окончательная расчетная формула будет иметь следующий вид:

$$P_{\max} = k_1 k_2 k_3 \sigma_b hb(1 - E_v), \quad (2)$$

где  $k_2$  – коэффициент, учитывающий увеличение усилий реза при затуплении ножей;  $k_3$  – коэффициент, учитывающий повышение усилий реза при увеличении бокового зазора между ножами.

И если смысл введения коэффициента  $k_2$  очевиден, то для  $k_3$  нужны некоторые разъяснения с использованием рис. 1.

При вмятии ножей раскат будет стремиться к повороту по часовой стрелке под действием момента, равного  $P_a$ . При этом со стороны кромок ножей возникнут горизонтальные усилия  $T$ , создающие момент  $T_l = P_a$ . Очевидно, что с увеличением зазора между ножами, определяющего величину  $\alpha$ , горизонтальные усилия  $T$  будут возрастать, что требует затраты дополнительной мощности. Аналитически не представляется возможным определить величины  $\alpha$  и  $l$ , поэтому невозможно теоретически вычислить дополнительные затраты усилия. Из практики находят следующие значения:

– при горячем резании  $k_2 = 1,10 \div 1,20$ ;  $k_3 = 1,15 \div 1,25$ ;

– при холодном резании  $k_2 = 1,15 \div 1,25$ ;  $k_3 = 1,20 \div 1,30$ .

Выражение (2) является основным для определения отдельных направлений (задач), на решении которых следует сосредоточиться на повышении ресурсо- и энергосбережения работы ножниц по резке проката. При этом чисто формально каждая составляющая этого выражения, за исключением коэффициента  $k_1$ , может рассматриваться как некий регулирующий фактор. Величина  $\tau_{\max} / \sigma_b = k_1$  приводится в работе [4]:

– для мягких металлов  $k_1 \approx 0,6$ ;

– для твердых металлов  $k_1 \approx 0,7$ .

Необходимо отметить, что здесь не определена граница различия твердых и мягких металлов. Логично было бы предполагать, что это, хоть и приблизительная, но постоянная величина, связанная и зависящая от молекулярного строения металла, и не может быть изменена без качественного изменения самого материала.

Все остальные величины можно рассматривать как оперативный фактор для достижения поставленной цели. Существующие технологии и оборудование для резки металла являются подтверждением этого.

Например, гильотинные ножницы с наклонным ножом используют геометрический фактор – поскольку нельзя изменить геометрию раската, определяемую параметрами  $h$  и  $b$ , то наклон ножа приводит к тому, что разрезается не вся полоса, а только какой-то треугольник сечения и это позволяет резко снизить требуемое максимальное усилие резания.

Другие конструкции ножниц (дисковые, ленточные и др.) соответствуют требованиям технологий и не более того. Если при периодиче-

ском процессе нарезания листов (кроме полосы) используются гильотинные ножницы, то для обрезки, особенно при непрерывной прокатке, используются дисковые ножницы.

Вторым членом выражения (2) по своей значимости является коэффициент вмятия  $E_v$ . Из структуры формулы (2) следует, что чем больше коэффициент вмятия, тем меньше  $P_{\max}$ . Представленные в работе [4] таблицы показывают, как можно использовать эту зависимость.

Ниже приведены экспериментальные значения коэффициента вмятия  $E_v$ :

| Марка стали | Значение коэффициента $E_v$ при |                     |
|-------------|---------------------------------|---------------------|
|             | горячем<br>резании              | холодном<br>резании |
| 10          | 0,32 – 0,40                     | 0,30                |
| 20          | 0,30 – 0,35                     | 0,25                |
| 50          | 0,25 – 0,30                     | 0,20                |
| 53С2        | 0,25 – 0,28                     | 0,20                |
| 12Х18Н9Г    | 0,25 – 0,30                     | 0,35                |
| ШХ15        | 0,20 – 0,25                     | 0,15                |

Так как для всех марок сталей при горячем резании значение  $E_v$  всегда больше, чем при холодном, то из этого следует, что при проектировании и реализации прокатных технологий необходимо отдавать предпочтение «горячим» процессам. Учитывая, что прокатное производство является многоэтапным и может включать в себя несколько переделов, то использование «горячего» металла приведет к значительной экономии ресурсов, что очень важно, т.к. металлургия является энергоемким производством (17 % всего используемого в стране природного газа потребляется в черной металлургии [6]).

Оставшиеся два члена  $k_2$  и  $k_3$  формулы (2) являются наиболее действенными. Если сравнить их произведения на низшем уровне ( $k_2 \cdot k_3$  низшее и  $k_2 \cdot k_3$  высшее), то можно увидеть очень большую разницу: 25 – 50 %. Эта величина и показывает возможный резерв снижения максимального усилия резания.

Коэффициент  $k_2$  определяет состояние ножей и возрастает по мере их затупления. Очень важно организовать контроль над состоянием ножей, который сводится к следующим основным мероприятиям:

- выбор сплава режущих кромок;
- наплавка специальных материалов;
- периодический осмотр и смена режущих кромок;

– набор статистических данных по работе ножей для разных марок стали, профилей и других условий эксплуатации;

– создание системы прогнозно-плановой замены ножей.

Коэффициент  $k_3$  учитывает положение ножей и для его снижения необходимо осуществлять следующее:

- регулярный контроль зазора;
- регистрацию усилий поджатия и контроль над соответствующим оборудованием;
- автоматическое поджатие ножей друг к другу.

Процесс резки металла является немаловажным звеном в полном цикле производства металлопроката. Одним из способов снижения энергозатрат при резке проката является технология резки предварительно изогнутой полосы [7], при которой усилие резания меньше, чем при резке прямой полосы на 40 %.

**Выводы.** При дальнейшей оптимизации работы ножей по резке металла возможно снижение энергозатрат на производство и обеспечение надлежащего качества выпускаемой продукции, что в свою очередь и определяет конкурентоспособность предприятия производителя.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Темлянец М.В., Темлянец Н.В. Металлургия черных металлов и теплотехника. История развития науки и техники с древнейших времен до наших дней: учеб. пособие – М.: Теплотехник, 2008. – 170 с.
2. Электронный ресурс [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int)
3. Государственная программа РФ по энергосбережению и повышению энергетической эффективности на период до 2020 г. (Утверждена Постановлением Правительства РФ от 27.12.2010 г. № 2446-р).
4. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. – М.: Металлургия, 1988. Т. 3. – 680 с.
5. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов. – М.: Металлургия, 1987. – 480 с.
6. Хрестоматия энергосбережения / Под ред. В.Г. Лисиенко. В 2-х томах. – М.: Теплоэнергетик, 2002. Т. 1. – 586 с.
7. Никитин А.Г., Епифанцев Ю.А., Демина Е.И. Определение усилия резания на ножницах предварительно изогнутой полосы // Изв. вуз. Черная металлургия. 2015. № 5. С. 386, 387.

© 2017 г. Я.М. Стерлигова, Е.И. Демина  
Поступила 14 февраля 2017 г.