



УДК 621.771.01

DOI 10.17073/0368-0797-2023-3-290-293

Краткое сообщение  
Short report

## РЕЗЕРВЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ СОРТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ НА СОВРЕМЕННЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНАХ

А. Р. Фастыковский , М. И. Глухов, В. А. Вахроломеев

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская область – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

✉ fastikovskiy@mail.ru

**Аннотация.** Metallurgical production is a highly energy-intensive process, and the search for solutions to reduce energy costs remains an urgent task for all stages. In this regard, the production of finished rolled products is considered as the most promising direction for the implementation of energy-saving technologies. There are two ways to reduce energy costs in hot rolling of section bars: saving energy for heating and improving the use of the main equipment to reduce intermediate energy costs. Due to the difference in silt conditions at the moment of capture and at the steady stage of the rolling process, a reserve of retracting friction forces arises, which can be used for additional shaping in non-drive devices and thereby increase the efficiency of the main equipment and reduce overall energy costs. For the practical implementation of the proposed concept, dependence was obtained that makes it possible to estimate the power potential that is not used at the steady stage of the rolling process. Using the obtained dependence, it was found that when rolling in smooth rolls, the potential of friction forces is used only by 50–60%, and when rolling in calibers, by 35–40%. It was experimentally established that during the rolling of shaped sections in passes with an elongation ratio of less than 1.10–1.15, more than 50% of the energy is spent on idling. However, by replacing drive stands in these passes with non-drive cassettes (in continuous groups), it is possible to increase the efficiency of adjacent stands by 4–5% and reduce energy costs.

**Ключевые слова:** энергопотребление, сортовые профили, неприводная клеть, холостой ход, коэффициент полезного действия

**Для цитирования:** Фастыковский А.Р., Глухов М.И., Вахроломеев В.А. Резервы снижения энергопотребления при прокатке сортовых профилей на современных прокатных станах. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2023;66(3):290–293. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-3-290-293>

## RESERVES FOR REDUCING ENERGY CONSUMPTION WHEN ROLLING SECTION BARS ON MODERN ROLLING MILLS

A. R. Fastikovskii , M. I. Glukhov, V. A. Vakhrolomeev

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

✉ fastikovskiy@mail.ru

**Abstract.** Metallurgical production is a highly energy-intensive process, and the search for solutions to reduce energy costs remains an urgent task for all stages. In this regard, the production of finished rolled products is considered as the most promising direction for the implementation of energy-saving technologies. There are two ways to reduce energy costs in hot rolling of section bars: saving energy for heating and improving the use of the main equipment to reduce intermediate energy costs. Due to the difference in silt conditions at the moment of capture and at the steady stage of the rolling process, a reserve of retracting friction forces arises, which can be used for additional shaping in non-drive devices and thereby increase the efficiency of the main equipment and reduce overall energy costs. For the practical implementation of the proposed concept, dependence was obtained that makes it possible to estimate the power potential that is not used at the steady stage of the rolling process. Using the obtained dependence, it was found that when rolling in smooth rolls, the potential of friction forces is used only by 50–60%, and when rolling in calibers, by 35–40%. It was experimentally established that during the rolling of shaped sections in passes with an elongation ratio of less than 1.10–1.15, more than 50% of the energy is spent on idling. However, by replacing drive stands in these passes with non-drive cassettes (in continuous groups), it is possible to increase the efficiency of adjacent stands by 4–5% and reduce energy costs.

**Keywords:** energy consumption, section bar, non-drive stand, idling, efficiency

**For citation:** Fastikovskii A.R., Glukhov M.I., Vakhrolomeev V.A. Reserves for reducing energy consumption when rolling section bars on modern rolling mills. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy.* 2023;66(3):290–293. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-3-290-293>

Металлургическое производство является одной из наиболее энергоемких отраслей, которая потребляет до 90 % коксующегося угля, 50 % вырабатываемой электрической энергии и 25 % природного газа. Это приводит к высоким энергозатратам на производство продукции [1]. Прокатное производство, являющееся заключительным этапом металлургического передела, требует большого количества топлива для нагрева заготовки перед прокаткой (1,30 – 1,65 ГДж/т) и в самом процессе прокатки (0,45 – 1,20 ГДж/т) [2]. Приведенные выше показатели убедительно доказывают актуальность работ, направленных на снижение энергозатрат при производстве прокатной продукции.

Основным резервом снижения энергозатрат при производстве сортовых профилей на современных непрерывных станах является более полное использование возможностей сил трения в очаге деформации прокатной клетки [3 – 5]. Это позволит повысить коэффициент полезного действия основного прокатного оборудования. Для осуществления подхода можно использовать дополнительные неприводные устройства, которые располагаются в непосредственной близости с приводными клетями для деформирования или продольного разделения полосы [6 – 9].

Как известно, процесс прокатки реализуется благодаря использованию сил трения на контакте металла с валками. Чем больше потенциала этих сил трения используется при формоизменении, тем выше коэффициент полезного действия процесса и более эффективно используется затрачиваемая энергия. Однако разные силовые условия в момент захвата металла валками и на установившейся стадии процесса прокатки создают условия к неполному использованию возможностей сил трения в очаге деформации. Для решения этой проблемы можно применять непрерывные устройства (включая валки, делительные устройства), которые обеспечивают дополнительную работу.

Для оценки неиспользуемого потенциала сил трения на установившейся стадии процесса прокатки величину неиспользованной мощности ( $\Delta N$ ) с учетом разности коэффициентов трения при захвате ( $\mu_3$ ) и на установившейся стадии процесса ( $\mu_y$ ) при горячей прокатке  $\mu_3/\mu_y \approx 1,2 \div 1,4$  [10] можно определить по формуле

$$\Delta N = N_y - N_d,$$

где  $N_y$  – мощность, которую могут обеспечить силы трения на установившейся стадии процесса горячей прокатки;  $N_d$  – мощность, необходимая для деформирования в приводной клетке.

Максимальная мощность, обеспеченная силами трения на установившейся стадии процесса горячей прокатки (протяженность зоны опережения равна нулю), можно найти по формуле

$$N_y = 2p_{cp} \mu_y b_{cp} l_d v,$$

где  $p_{cp}$  – среднее нормальное давление;  $b_{cp}$  – средняя ширина полосы;  $l_d$  – длина дуги захвата;  $v$  – скорость прокатки.

Для определения мощности, необходимой при деформировании, воспользуемся известной формулой С. Финка [11] при замене

$$\Delta h \approx h_{cp} \ln \left( \frac{h_0}{h_1} \right),$$

где  $\Delta h$  – абсолютное обжатие;  $h_{cp}$  – средняя высота полосы;  $h_0$  и  $h_1$  – высота полосы до и после прокатки в приводной клетке.

Сделанное допущение вносит ошибку 1 – 3 % при степени деформации до 60 %. После соответствующих преобразований с учетом отношения  $\mu_3/\mu_y$  получим:

$$\Delta N = p_{cp} b_{cp} v (1,54 \mu_3 l_d - \Delta h).$$

Полученная величина  $\Delta N$  позволяет оценить неиспользованный потенциал сил трения в зоне деформации при горячей прокатке. По расчетам было выявлено, что из-за разницы силовых условий в момент захвата и на установившейся стадии процесса прокатки прямоугольной полосы в гладких валках максимально используется только 50 – 60 % потенциала сил трения при максимальных обжатиях и 35 – 40 % в калибрах. Это значительно снижает эффективность процесса прокатки и повышает его энергоемкость, поэтому целесообразно использовать неприводные устройства для деформирования и продольного разделения.

Для повышения эффективности прокатки фасонных профилей можно использовать потенциал сил трения более полно, заменив приводные клетки неприводными в тех пропусках, где коэффициент вытяжки меньше 1,10 – 1,15. На рис. 1, а приведена диаграмма записи тока главного двигателя во второй клетке среднесортного стана при пропуске при получении уголка № 9, коэффициент вытяжки составлял 1,03. Распределение мощности для этого случая представлено на рис. 1, б. Большая часть мощности используется на холостой ход (67,9 %), и только небольшая доля (32,1 %) – на формирование продукта. Для улучшения положения можно использовать неприводную клетку – кассету вместо приводной для данного пропуска и перераспределить мощность для деформации продукта по расположенным рядом клетям из одной группы без остановок. Такой подход поможет снизить энергозатраты за счет уменьшения мощности холостого хода и повысить коэффициент полезного действия стоящих рядом клетей (рис. 2).

Сортамент рассматриваемого среднесортного стана на 83 % состоит из фасонных профилей (уголок, балка, швеллер), где имеют место пропуски с коэффициентом вытяжки меньше 1,10 – 1,15. Использование неприводных клетей в этих пропусках при объеме выпуска готовой продукции в 1,4 млн т ежегодно позволит эко-

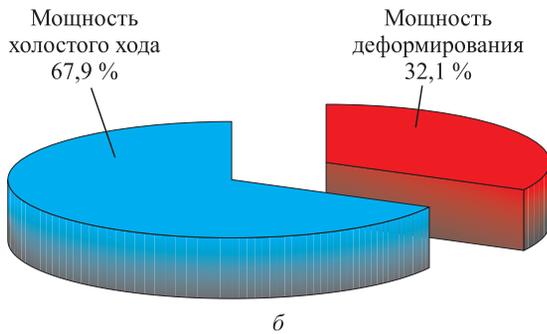
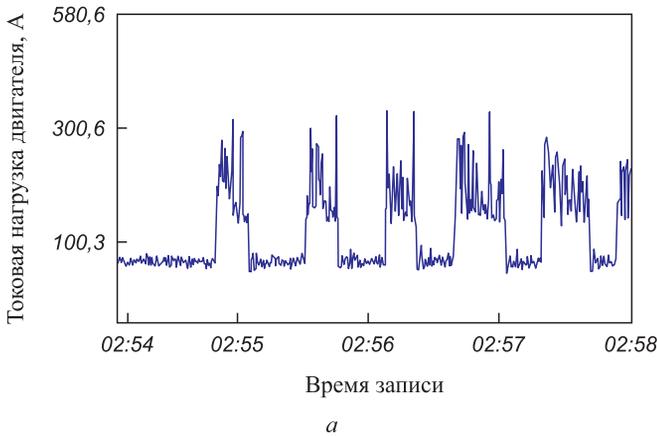


Рис. 1. Энергозатраты при прокатке во второй клетки среднесортного стана с коэффициентом вытяжки 1,03:  
а – токовая диаграмма главного двигателя;  
б – энергетический баланс в рассматриваемой клетке

Fig. 1. Energy costs during rolling in the second stand of the middle-grade mill with drawing coefficient 1.03:  
а – current diagram of the main motor;  
б – energy balance in the considered stand

номить до 0,75 кВт·ч/т и получать в денежном выражении 4,8 млн рублей в год. Металлоемкость, стоимость, амортизационные отчисления, эксплуатационные расходы при использовании неприводных клеток – кассет существенно ниже, чем у классических прокатных клеток, что дает дополнительный эффект в 15 млн рублей в год. С учетом изготовления нового оборудования срок окупаемости составит 0,8 года.

## Выводы

На установившейся стадии процесса горячей прокатки появляется резерв неиспользованных сил трения в очаге деформации, связанный с разными силовыми условиями захвата и на стадии установившегося процесса. Это может привести к нерациональному использованию энергии.

Для более эффективного использования сил трения в зоне деформации на установившейся стадии процесса прокатки предлагается использовать неприводные устройства, расположенные рядом с приводной клетью, для дополнительного деформирования и продольного разделения. Исследования показали, что при коэффици-

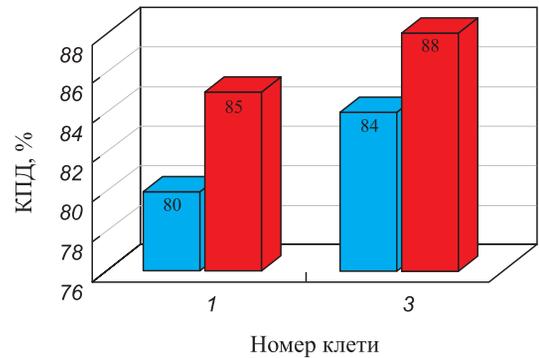


Рис. 2. Изменение коэффициента полезного действия 1 и 3 клеток при замене второй клетки неприводной клетью – кассетой

Fig. 2. Change in efficiency of 1 and 3 stands when replacing the second stand with a non-drive stand – cassette

енте вытяжки менее 1,10 – 1,15 целесообразно заменять приводные клетки на неприводные. Это позволит снизить энергозатраты и эксплуатационные расходы оборудования и повысить КПД основного оборудования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Волкова И.А. Новые направления энергосбережения в металлургии. *Металлург.* 2005;(8):32–36.  
Volkova I.A. Review of new directions for energy. *Metal-lurg.* 2005;(8):32–36. (In Russ.).
2. Дубина О.В. Динамика потребления энергоресурсов в прокатных цехах. *Производство проката.* 2003;(1):29–32.  
Dubina O.V. Dynamics of energy consumption in rolling shops. *Proizvodstvo prokata.* 2003;(1):29–32. (In Russ.).
3. Фастыковский А.Р., Фастыковский Д.А. Оценка возможностей контактных сил трения с целью интенсификации процесса прокатки на установившейся стадии. *Производство проката.* 2013;(7):9–12.  
Fastykovskii A.R., Fastykovskii D.A. Evaluation of the possibilities of contact friction forces in order to intensify the rolling process at an established stage. *Proizvodstvo prokata.* 2013;(7):9–12. (In Russ.).
4. Matsuo G., Suzuki M. The latest technology of multi-slit rolling. *SEA. ISI Quaterly.* 1995;(3):49–58.
5. Sidelnikov S.B., Galiev R.I., Bepalov V.M., Samchuk A.P. Determining power–energy parameters of combined rolling–extrusion process for low-plastic aluminium alloys. *Non-Ferrous Metals.* 2018;44(1):30–36.  
<https://doi.org/10.17580/nfm.2018.01.06>
6. Sidelnikov S., Galiev R., Lopatina E., Samchuk A. Analysis of energy–force parameters of combined processing for receiving modifying bars from Al–5Ti–1B alloy. *Non-Ferrous Metals.* 2017;42(1):30–35.  
<https://doi.org/10.17580/nfm.2017.01.07>
7. Fastykovskii A.R. Region for extrolling and effective deformation modes. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals.* 2011;52(3):230–233.  
<https://doi.org/10.3103/S1067821211030084>
8. Grzyb R., Misiolok Z. The concept and the theoretical fundaments of a new combined process of rolling and extrusion. *Archiwum Hutnitwa.* 1983;28(3):305–319.

9. Grzyb R., Misiolak Z. The experimental investigations on the force parameters and metal flow in the combined process of rolling and extrusion. *Archiwum Hutnitwa*. 1983;28(3): 321–340.
10. Грудев А.П. *Теория прокатки*. Москва: Интермет Инжиниринг; 2001:280.
11. Никитин Г.С. *Теория непрерывной продольной прокатки*. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана; 2009:399.

### Сведения об авторах

### Information about the Authors

**Андрей Ростиславович Фастыковский**, д.т.н., профессор кафедры «Обработка металлов давлением и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК», Сибирский государственный индустриальный университет

**ORCID:** 0000-0001-9259-9038

**E-mail:** fastikovskiy@mail.ru

**Максим Ильич Глухов**, аспирант кафедры «Обработка металлов давлением и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК», Сибирский государственный индустриальный университет

**E-mail:** Gluhovmx@yandex.ru

**Владимир Анатольевич Вахроломеев**, аспирант кафедры «Обработка металлов давлением и металловедение. ЕВРАЗ ЗСМК», Сибирский государственный индустриальный университет

**E-mail:** wladimir170581@mail.ru

**Andrei R. Fastykovskii**, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Chair "Metal Forming and Metal Science. OJSC "EVRAZ ZSMK", Siberian State Industrial University

**ORCID:** 0000-0001-9259-9038

**E-mail:** fastikovskiy@mail.ru

**Maksim I. Glukhov**, Postgraduate of the Chair "Metal Forming and Metal Science. OJSC "EVRAZ ZSMK", Siberian State Industrial University

**E-mail:** Gluhovmx@yandex.ru

**Vladimir A. Vakhrolomeev**, Postgraduate of the Chair "Metal Forming and Metal Science. OJSC "EVRAZ ZSMK", Siberian State Industrial University

**E-mail:** wladimir170581@mail.ru

### Вклад авторов

### Contribution of the Authors

**А. Р. Фастыковский** – постановка и решение задачи по определению резерва мощности при прокатке на установившейся стадии процесса; теоретический анализ перспектив использования резерва сил трения при прокатке; обоснование коэффициентов вытяжки, при которых целесообразно приводные прокатные клетки заменять неприводными устройствами; формулирование выводов по результатам исследований.

**М. И. Глухов** – получение и анализ экспериментальных результатов, оценка экономического эффекта от использования резерва сил трения на действующем стане.

**В. А. Вахроломеев** – анализ литературных данных, оформление графической части, оценка возможности увеличения коэффициента полезного действия при использовании резерва сил трения.

**A. R. Fastykovskii** – formulation and solution of the problem of determining the power reserve during rolling at a steady stage of the process, theoretical analysis of the prospects for using the reserve of friction forces during rolling, justification of the extraction coefficients at which it is advisable to replace the drive rolling stands with non-drive devices, formulation of conclusions based on the results of research.

**M. I. Glukhov** – obtaining and analyzing experimental results, evaluating the economic effect of using the reserve of friction forces on the operating mill.

**V. A. Vakhrolomeev** – analysis of literary data, design of the graphic part, evaluation of the possibility of increasing the efficiency when using the reserve of friction forces.

Поступила в редакцию 23.06.2022

После доработки 01.03.2023

Принята к публикации 10.03.2023

Received 23.06.2022

Revised 01.03.2023

Accepted 10.03.2023