

УДК 621. 771. 073

Коновалов Ю. В.  
Петренко А. С.**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА РАБОЧИХ ВАЛКОВ  
ПО РАСХОДУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОКАТКУ**

Эксплуатация прокатных валков сопровождается интенсивным износом их рабочих поверхностей, искажая тем самым первоначальный профиль валков. В результате, снижается точность прокатки, ухудшается поверхность прокатываемого металла, изменяются межконтрактные условия работы опорных и рабочих валков, что также оказывает влияние на точность размеров прокатываемой полосы и стойкость валков.

Величина и характер износа прокатных валков зависит как от условий прокатки, так и от параметров валков. Выделяют следующие факторы, оказывающие наибольшее влияние на износ рабочей поверхности валков:

- силовые (абсолютное и относительное обжатия);
- скоростные (скорость деформации, скорость скольжения металла относительно поверхности валков);
- температурные (температура прокатываемой полосы, температура валков);
- прокатываемый материал (механические свойства прокатываемых полос, количество прокатанного металла);
- параметры валков (материал валков, твердость поверхности бочки валков, диаметр валков, исходная профилировка).

Наличие такого большого количества факторов, оказывающих влияние на величину и характер износа, затрудняет оценку каждого из них в отдельности, при этом возникают трудности комплексного учета этих факторов в промышленных условиях.

В литературных источниках представленные методики определения величины износа прокатных валков, учитывают различное число факторов.

Наибольшее распространение в силу простоты использования, получили методики, базирующиеся на учете количества прокатанного металла.

В частности, в условиях прокатки на непрерывных станах, было предложено характеризовать стойкость валков, длиной прокатанных полос и удельного расхода валков на километраж прокатанных полос [1].

$$l = Q / L, \quad (1)$$

где  $l$  – величина износа;  $Q$  – расходный коэффициент износа валков;  $L$  – длина прокатанных полос.

Приведенная авторами методика, учитывает длину прокатываемых полос, что можно отнести к достоинству метода, однако отсутствует учет других важных технологических параметров.

Авторами [2] для полунепрерывного листового стана предложена зависимость расчета величины износа рабочих валков от количества прокатанных тонн за межперевалочный период, при этом не учитываются остальные влияющие факторы.

$$\Delta R_u = (1,3 \div 1,4) \times 10^{-2} \times Q, \quad (2)$$

где  $\Delta R_u$  – неравномерность износа рабочего валка;  $Q$  – количество прокатанного металла на 1 см длины бочки валка.

Предлагаемая в работе [3] методика, позволяет установить взаимосвязь величины износа от большинства технологических параметров, влияющих на износ валков: силовых, температурных условий, длины прокатанного металла (км), ширины полос, механические свойства прокатываемых полос, твердости поверхности бочки валка, износа предыдущего рабочего валка. Таким образом, через величину износа предыдущего рабочего валка, учитывается износ опорного валка:

$$u = a_0 + a_1 u_0 + a_2 P + a_3 Q + a_4 \sigma_{0,2} + a_5 H_u + a_6 t_n + a_7 B, \quad (3)$$

где  $u_0$  – износ предыдущего рабочего вала;  $a_0$ – $a_7$  – эмпирические коэффициенты, определяемые с использованием пошагового регрессионного анализа для каждого конкретного стана отдельно;  $P$  – сила прокатки;  $Q$  – количество прокатанного металла;  $\sigma_{0,2}$  – предел текучести металла;  $H_{ш}$  – твердость поверхности бочки вала;  $t_n$  – температура прокатываемой полосы;  $B$  – ширина прокатываемой полосы.

Принимается допущение, что износ опорного вала есть зеркальное отображение износа рабочего вала с некоторым масштабным коэффициентом, который сохраняется при определенных условиях прокатки. Однако, принимая во внимание, что валки в одной клети могут изнашиваться по-разному [4] в результате различий даты завалки и вывалки для каждого опорного вала, следовательно, и расчетный период кампании каждого из валков, разный, то есть они имеют различный линейный пробег по металлу.

Кроме того, использование приведенного метода расчета величины износа рабочих валков затруднено, в связи со сложностью определения входящих в методику факторов.

Таким образом, применяемые в настоящее время в качестве критерия оценки износа валков показатели, не учитывают большинство основных факторов, влияющих на износ.

На толстолистовом стане 3000 ММКИ (ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича», г. Мариуполь) специализирующемся на прокатке штрипсовых марок стали, главным критерием при принятии решения о перевалки, является количество прокатанных тонн за межперевалочную кампанию (табл. 1).

Таблица 1

Регламент замены валков черновой и чистовой клетей

Тип вала	Клеть	Прокат за установку, т
Рабочий	черновая	18 000 ÷ 22 000
	чистовая	2 000 ÷ 3 000 <sup>1)</sup>
		3 000 ÷ 4 000 <sup>2)</sup>
		4 000 ÷ 4 500 <sup>3)</sup>
Опорный	черновая	100 000 ÷ 180 000
	чистовая	100 000 ÷ 180 000

Примечание: 1) – контролируемая прокатка; 2) – смешанная прокатка; 3) – прокатка углеродистых марок сталей.

Целью работы является выбор параметра в наибольшей степени учитывающего величину износа рабочих валков.

ТЛС 3000 является двух клетевым станом специализирующемся на прокатке штрипсовых марок сталей, оборудование, которого позволяет выполнять производство готовых полос толщиной от 6 мм до 50 мм, шириной 1500÷2700 мм и длиной до 25 м.

Как показал выполненный нами анализ, наиболее рациональным критерием, является расход электроэнергии на прокатку. Этот показатель объективно учитывает все основные параметры процесса прокатки, работу деформации, которая пропорциональна объему и длине прокатываемой полосы, степени деформации, а также чувствителен к изменению большинства параметров прокатки, которые не учитываются другими методиками: марки стали, температуры прокатываемого металла и коэффициента трения в зоне контакта металла с валками, твердость валков. Можно считать, что в настоящее время он может являться основным для прогнозирования текущего и конечного износа рабочих валков листовых станов горячей прокатки.

При проведении исследования о возможности прогнозирования и расчете величины износа рабочих валков с учетом основных технологических параметров на ТЛС 3000 ММКИ, за базовый метод брался метод, разработанный сотрудниками ДонНИИЧерМета.

$$I = a_0 + a_1 \times K_h \times \mathcal{E}_h - a_2 \times \frac{D_\phi}{D_n}, \quad (4)$$

где  $K_h$  – коэффициент, учитывающий расход электроэнергии на реверсирование валков и холостой ход;  $\mathcal{E}_h$  – расход активной электроэнергии на прокатку, кВт·ч;  $D_\phi / D_n$  – отношение

фактического диаметра рабочих валков перед завалкой в клеть к исходному, мм;  $a_0$ – $a_2$  – эмпирические коэффициенты, определяемые с использованием пошагового регрессионного анализа для каждого конкретного стана отдельно.

Коэффициент  $K_h$  предложено рассчитывать по уравнению (5):

$$K_h = \Sigma K_{hi} / \Sigma G_i, \quad (5)$$

где  $K_{hi}$  – коэффициент, учитывающий потери активной электроэнергии на реверсирование валков и холостой ход при прокатке полос  $i$ -той толщины за время от начала постановки валков;  $G_i$  – масса листов  $i$ -той толщины, прокатанных также за время от начала постановки валков.

Расчёт износа рабочих валков при рассматриваемом методе можно уточнить, если учесть изменение толщины листов.

Известно, что расход энергии напрямую зависит от толщины прокатываемых полос; с увеличением толщины полосы он снижается. Таким образом, при прокатке тонких полос коэффициент  $K_{hi}$  имеет большее значение, чем при прокатке толстых полос:

$$K_{hi} = (\mathcal{E}_h - \mathcal{E}_p - \mathcal{E}_{xx}) / \mathcal{E}_h, \quad (6)$$

где  $\mathcal{E}_h$  – суммарный расход электроэнергии при прокатке полос  $i$ -той толщины;  $\mathcal{E}_p, \mathcal{E}_{xx}$  – расход электроэнергии на холостой ход и реверсирование валков.

Отдельные члены выражения (6), определяющего коэффициент  $K_h$ , могут быть подсчитаны следующим образом. Зависимость удельного расхода электроэнергии от толщины листов выражают как

$$\mathcal{E}_h = \mathcal{E}'_h / G_i, \quad (7)$$

где  $\mathcal{E}'_h$  – удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т;

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E}'_p \times n \times (N - 1), \quad (8)$$

где  $\mathcal{E}'_p$  – расход электроэнергии на одно реверсирование, кВт·ч;  $n$  – число листов  $i$ -той толщины, прокатанных от начала работы валков в клети, шт;  $N$  – число проходов при прокатке одного листа  $i$ -той толщины;

$$\mathcal{E}_{xx} = \mathcal{E}'_{xx} \times n \times t, \quad (9)$$

где  $\mathcal{E}'_{xx}$  – расход электроэнергии за 1 с. холостого хода во время паузы между листами, кВт·ч;  $t$  – длительность паузы между листами, с.

При этом применено предложенное в работе [6] в качестве основного фактора, определяющего износ, использовать затраты энергии на прокатку. Он учитывает практически все основные факторы, определяющие износ рабочих валков как ШСГП, так и ТЛС. В отличие от работы [6] в работе [5] используется не полная, а активная энергия. Причём в работе [6] отсутствует сама зависимость износа валков от расхода электроэнергии. В работе [5] в уравнении введен и член уравнения, учитывающий переточку рабочих валков, а, следовательно, и снижение его твёрдости, возникающее с утонением глубины отбеленного слоя. Для условий ТЛС в уравнение введён также коэффициент, учитывающий расход электроэнергии на реверс систем рабочий – опорный валок и холостой ход.

Определение износа валков в зависимости от расхода электроэнергии возможно на станах имеющих индивидуальную систему питания главного привода каждой клети. В условиях толстолистовых станов, главный привод которых в большинстве случаев оснащен счетчиками учета расхода электроэнергии. В случае их отсутствия сложностей в установке таких счётчиков не возникает. Вследствие незначительного расхода активной электроэнергии работой дополнительного трения в подшипниках клети можно пренебречь.

Авторами статьи был проведен эксперимент в условиях стана 3000 на базе ММКИ, направленный на выявление зависимости износа валков от расхода электроэнергии главным приводом клетей. Ниже приводятся результаты проведенных исследований.

В частности, исследована кампания контрольных валков находящихся в работе 19 часов, при этом было прокатано 583 раската, общим весом 4 347 т (рис. 1).

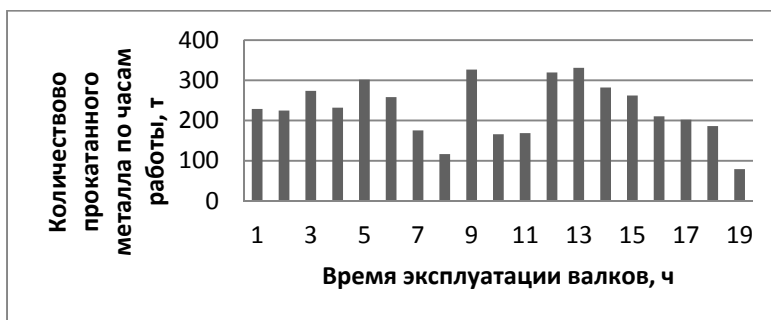


Рис. 1. Часовая производительность чистой клетки стана 3000

За эту межперевалочную кампанию расход электроэнергии верхнего и нижнего валков различно, для главного привода верхнего валка – 46 431,1 кВт·ч (167 151,96 Мдж), нижнего валка – 63 574,3 (228 867,48 Мдж). Разница обусловлена рассогласованием скоростей валков в последнем нагруженном проходе для управления головной частью раската.

Проведен эксперимент зависимости удельного расхода электроэнергии от толщины листов, результаты показаны на рис. 2.

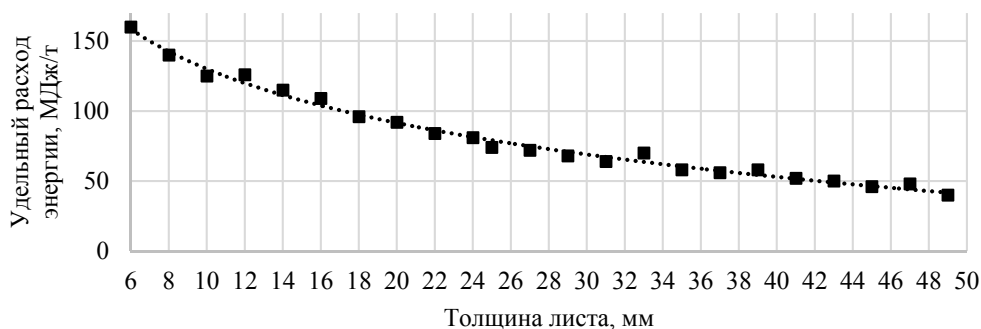


Рис. 2. Зависимость удельного расхода электроэнергии на тонну металла от толщины прокатываемых листов

При проведении эксперимента, снимались показания счетчиков расхода электрической энергии типа «Энергия 9» чистой клетью стана 3000, с последующим формированием базы данных содержащей измерительную информацию.

В частности, велся учет количества затрачиваемой электроэнергии на холостой ход и реверсирование, с учетом различной окружной скорости валков, зависящей от толщины прокатываемых листов. Одновременно с учетом количества расходуемой электроэнергии, фиксировались данные о геометрических параметрах прокатываемых раскатов, их вес, количество и длительность проходов при прокатке каждого конкретного раската.

Отдельно производили хронометраж затрачиваемого времени на основные технологические операции: реверс (до захвата металла валками); холостой ход между выходом готовой полосы из валков чистой клетки и задачей следующего подката в валки.

Каждой точке на рис. 2 соответствует от 10 до 80 замеров Э при прокатке различных листов одинакового профилеразмера и марки стали. Из результатов исследования заметно, что расход Э в наибольшей степени зависит от толщины прокатываемого металла и практически не зависит от ширины прокатываемых полос. Такая зависимость связана с тем, что при прокатке листа массой 1 т с уменьшением толщины увеличивается сопротивление деформации, которое приводит, к большей затрате энергии. Помимо того, с уменьшением толщины увеличивается длина раската, тем самым увеличивая машинное время, т. е. расход электроэнергии.

Для уточнения численного значения коэффициента  $K_h$  в зависимости от толщины листа, проведен эксперимент, который для стана 3000 в среднем составил 0,79, а эмпирические коэффициенты, входящие в выражение (4) получены следующие:  $a_0 = 2,61$ ;  $a_1 = 4,58 \cdot 10^{-6}$ ;  $a_2 = 2,81$ .

Выполненное нами уточнение членов уравнения (4) позволяет повысить точность расчета износа рабочих валков стана 3000.

По полученным экспериментальным данным строились зависимости величины износа рабочих валков чистой клетки стана 3000 ММКИ от расхода электроэнергии, затрачиваемой на прокатку.

### ВЫВОДЫ

Выполненный нами анализ существующих методов расчета износа валков, учитывающие отдельные параметры, оказывающие влияние на износ, дают большие погрешности расчета.

Подтверждена целесообразность применения для расчета износа рабочих валков, показателя расхода электроэнергии на прокатку, а уточнение значения величин, входящих в это уравнение позволяет повысить точность расчета.

Применение в качестве критерия величины износа валков расхода электроэнергии позволяет дифференцированно подходить к выбору исходной профилировки рабочих валков исходя из конкретной производственной программы.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокин С. А. Влияние условий горячей прокатки на образование продольных утолщений на подкате / С. А. Сорокин, А. П. Качайлов, А. М. Сафьян // *Повышение качества тонколистовой стали : тематич. сб. науч. тр.* – М. : *Металлургия*, 1986. – С. 12–14.
2. Волегов В. П. Профилирование рабочих валков клетей кварто непрерывных станов горячей прокатки / В. П. Волегов, М. Е. Фрейдзон, А. А. Жданов // *Сталь*. – 1966. – № 6. – С. 523–525.
3. Определение зависимости износа валков от условий прокатки / А. Б. Челюскин [и др.] // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 1970. – № 3. – С. 92–95.
4. Прогнозирование профиля износа опорных валков клетей чистой группы стана горячей прокатки / В. М. Салганик, П. П. Полецков, Е. Ю. Кожухов, Ю. Б. Кухта // *Производство проката*. – 2008. – № 11. – С. 36–38.
5. Профилирование валков листовых станов / А. А. Будакова [и др.]. – К. : *Техніка*, 1986. – 190 с.
6. Оценка стойкости листопркатных валков по расходу энергии на прокатку / М. И. Бояршинов, Г. Э. Аркулис, М. И. Куприн, В. Д. Голев // *Теория и технология прокатки : науч. тр. – ЧПИ, УПИ. МГМИ. – Челябинск : ЧПИ*, 1972. – № 102 – С. 262–267.

### REFERENCES

1. Sorokin S. A. Vlijanie uslovij gorjachej prokatki na obrazovanie prodol'nyh utolshhenij na podkate / S. A. Sorokin, A. P. Kachajlov, A. M. Safjan // *Povyshenie kachestva tonkolistovoj stali : tematich. sb. nauch. tr.* – M. : *Metallurgija*, 1986. – S. 12–14.
2. Volegov V. P. Profilirovanie rabochih valkov kletej kvarto nepreryvnyh stanov gorjachej prokatki / V. P. Volegov, M. E. Frejdnzon, A. A. Zhdanov // *Stal'*. – 1966. – № 6. – S. 523–525.
3. Opređenje zavisimosti iznosa valkov ot uslovij prokatki / A. B. Cheljuskin [i dr.] // *Izv. vuzov. Chernaja metallurgija*. – 1970. – № 3. – S. 92–95.
4. Prognozirovanie profilja iznosa opornyh valkov kletej chistovoj grupy stana gorjachej prokatki / V. M. Salganik, P. P. Poleckov, E. Ju. Kozhuhov, Ju. B. Kuhta // *Proizvodstvo prokata*. – 2008. – № 11. – S. 36–38.
5. Profilirovanie valkov listovyh stanov / A. A. Budakva [i dr.]. – K. : *Tehnika*, 1986. – 190 s.
6. Ocenka stojkosti listoprokatnyh valkov po rashodu jenerгии na prokatku / M. I. Bojarshinov, G. Je. Arkulis, M. I. Kuprin, V. D. Golev // *Teorija i tehnologija prokatki : nauch. tr. – ChPI, UPI. MGMI. – Cheljabinsk : ChPI*, 1972. – № 102 – S. 262–267.

Коновалов Ю. В. – д-р техн. наук, проф. ПГТУ  
Петренко А. С. – аспирант ДонНТУ

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь;  
ДонНТУ – Донецкий национальный технический университет, г. Донецк.

E-mail: [luda@donix-ua.com](mailto:luda@donix-ua.com), [ksd.prokat@gmail.com](mailto:ksd.prokat@gmail.com)