

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА РАБОЧИХ ВАЛКОВ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Платов С.И., Амиров Р.Н., Дема Р.Р., Ярославцев А.В.

На современном этапе развития черной металлургии, в частности производства горячекатаного листа, важной проблемой является увеличение эксплуатационных свойств прокатных валков. Стойкость и работоспособность прокатных валков определяют технико-экономические показатели работы станков, а именно, производительность, качество продукции, относительный расход валкового материала и прочее.

Прогрессивным способом повышения эффективности горячей прокатки является применение технологической смазки. Смазочный материал уже долгое время является важным компонентом в продлении ресурса и срока службы прокатных валков, а также снижения энергосиловых параметров [1–6].

Одним из перспективных направлений исследования процесса горячей прокатки является разработка адекватной модели, которая позволила бы на основе теоретических данных о прокатываемом сортаменте прогнозировать износ прокатных валков чистой группы клетей стана 2000 горячей прокатки как при использовании смазочного материала, так и без него. Построение подобной модели способно открыть новые возможности для исследования процесса проката, его оптимизации и повышения ресурса рабочих валков.

В процессе анализа различных подходов моделирования износов валковой системы [7–9], нами установлено, во-первых, статистические модели наиболее адекватно отражают прогнозирование износа, во-вторых, наличие большого числа различных факторов, определяющих характер износа, затрудняют получение зависимостей для его расчета.

На первом этапе построения статистической модели износа рабочих валков проанализировали массив данных значений конечного профиля валков. Считая профиль симметричным относительно центральной оси, с нашей точки зрения, достаточно рассматривать только половину бочки рабочего валка. На основе графически-статистического анализа конечных профилировок рабочих валков были выделены три характерные зоны (рисунок 1):

- 1) Зона отсутствия контакта валка с полосой (I – $[0; 0,25)$). Данная зона характеризуется минимальным изнашиванием поверхности бочки валка.
- 2) Зона переменного контакта валка с полосой характеризуется неравномерным износом (II – $[0,25; 0,625)$). Данная зона образуется в результате перепада размерных характеристик прокатываемых полос (ширины полосы) в рамках одного монтажа.
- 3) Зона постоянного контакта поверхности бочки рабочего валка с прокатываемой полосой (III – $[0,625; 1]$). Данная зона характеризуется наиболее интенсивным износом.

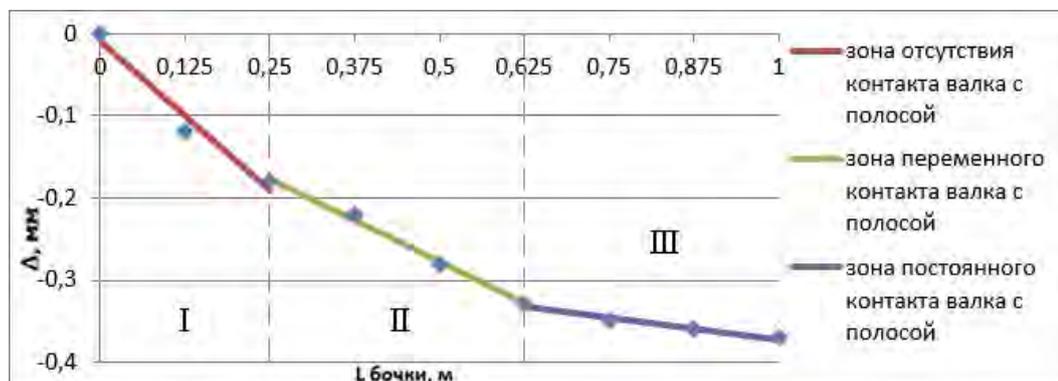


Рис. 1. Распределение характерных зон износа по длине бочки рабочего валка (на примере прокатки среднестатистического монтажа Клетей №8)

Расчет граничных значений перехода зон проводился путем статистической оценки размерных характеристик прокатываемых монтажей.

По данным таблицы, граница зон 1-2 проходит по точке 263 мм (точка контакта вала с краем максимально широкой прокатываемой в рамках монтажа полосы). Граница зон 2-3 проходит по точке 509 мм. Учитывая, что эмпирические значения конечных профилировок замерены по 17 точкам, расположенным на расстоянии 125 мм, то границы зон необходимо выбирать с учетом данного разбиения. Таки образом, граница зон 1-2 будет проходить в точке 250 мм, граница зоны 2-3 – 625 мм.

В качестве вида уравнения аппроксимации были выбраны линейные уравнения вида:

$$u = a_1 \cdot x + a_0 \quad (1)$$

Коэффициенты уравнения линейной регрессии были найдены с помощью метода наименьших квадратов. Для каждого из выделенных участков было построено частное уравнение, представленное на рис. 2.

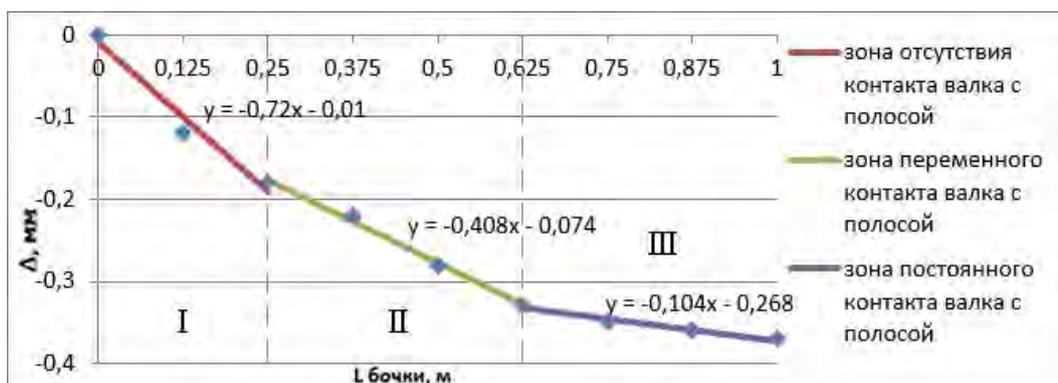


Рис. 2. Линейные уравнения для характерных зон износа по длине бочки рабочего вала (на примере прокатки среднестатистического монтажа клетки №8)

Для описания профиля вала используется система уравнений:

$$\begin{cases} y_1 = a_{11} \cdot x + a_{10}, & x \in [0; 0,25) \\ y_2 = a_{21} \cdot x + a_{20} & x \in [0,25; 0,625) \\ y_3 = a_{31} \cdot x + a_{30} & x \in [0,625; 1] \end{cases} \quad (2)$$

Коэффициенты a_{1i} ; a_{i0} , были спрогнозированы с использованием метода множественной регрессии в зависимости от параметров процесса горячей прокатки.

На рис. 3 приведены показатели, выбранные в качестве характеристик горячей прокатки.

При моделировании коэффициентов нами использовались четыре типа переменных:

- 1) переменные, взятые по абсолютному значению $X_i = (D, \Pi, L)$;
- 2) переменные, взятые в виде накопленного итога по длине прокатанного монтажа $X_i' = (P', B', H', \omega', U', M', \sigma'_0)$, рассчитанные по формуле:

$$X_i' = X_{ij} \cdot L_j \quad (3)$$

где i – номер клетки; j – положение вала.

- 3) переменные, взятые в виде средневзвешенных значений по длине прокатанного монтажа $X_i' = (\overline{B'}, \overline{H'}, \overline{\omega'}, \overline{U'}, \overline{M'}, \overline{\sigma'_0})$, рассчитанные по формуле:

$$\overline{X_i'} = \frac{X_{ij} \cdot L_j}{\sum L_j} \quad (4)$$

- 4) фиктивные переменные, используемые для описания качественных переменных, имеющие вид:

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если переменная отвечает заданному условию} \\ 0, & \text{если переменная не отвечает заданному условию} \end{cases}$$

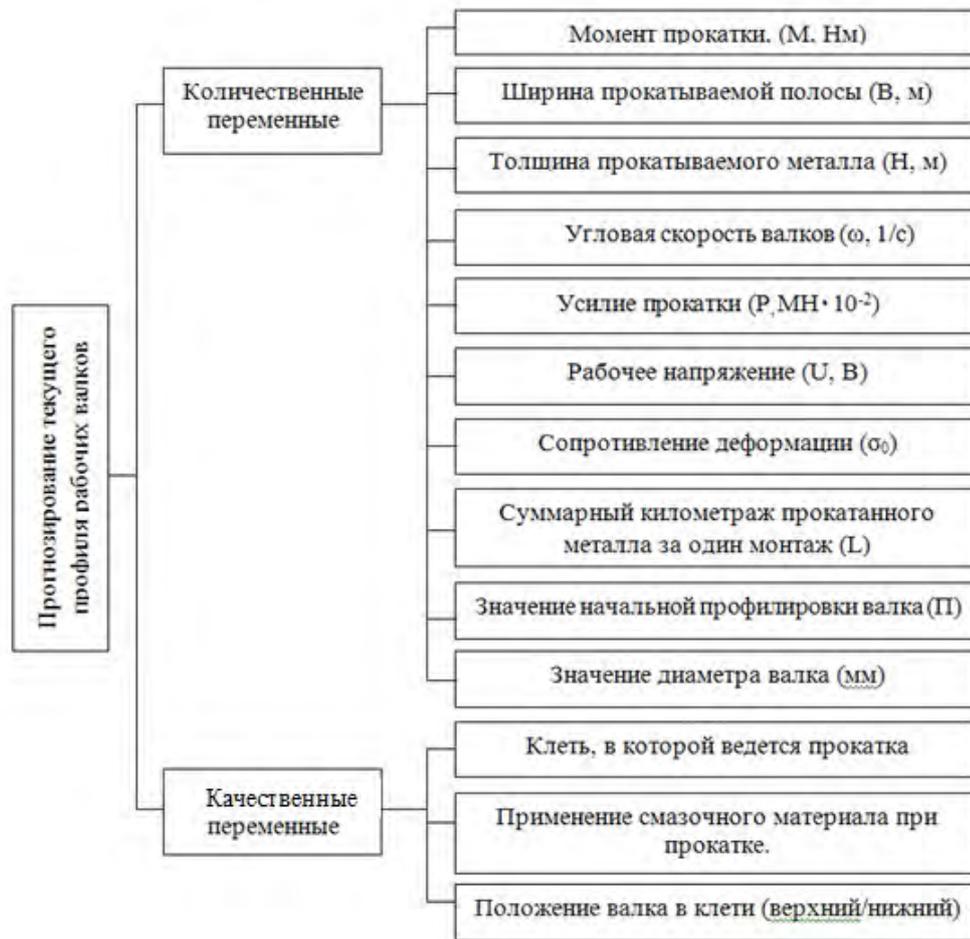


Рис. 3. Переменные, входящие в уравнения регрессии

В работе [10] приводятся два вида износа поверхностей: абразивный и тепловой. В первых трех клетях чистовой группы стана (№ 7-9), наблюдается тепловой вид износа, связанный с прокаткой полос повышенной температурой, а в последующих клетях – абразивный. С учетом вышеизложенного, в результате регрессионного анализа нами были получены следующие уравнения коэффициентов профиля для клетей №7–9:

$$a_{10} = -0,1086 + 0,00078 * L + 0,0035 * \overline{H'} + 0,0087 * \overline{\omega'} - 0,00012 * U' + 0,0886 * \overline{M'} - 0,0384 * \Pi + 0,000316 * Z11 + 0,0084 * Z12 + 0,0035Z2 \quad (5)$$

$$a_{11} = -1,298 + 0,119\overline{\delta'} - 0,655Z3 + 0,2599\Pi - 1,1217Z11 \quad (6)$$

$$a_{20} = -0,4523 - 0,000173\overline{\omega'} - 0,0082\overline{H'} + 0,041\overline{\omega'} + 0,00057H' + 0,2212\overline{M'} - 0,036Z3 - 0,128\Pi - 0,05Z11 \quad (7)$$

$$a_{21} = -0,0964 - 0,0045H' + 0,025\overline{H'} + 0,00073\overline{\omega'} - 0,134\overline{\omega'} + 0,00057\overline{U'} + 0,00047D - 0,544\overline{M'} + 0,113Z3 + +0,7088\Pi + 0,6146Z11 \quad (8)$$

$$a_{30} = -0,3646 + 0,000022\overline{\delta'} - 0,000738M' + +0,0606Z3 + 0,4363\Pi + 0,1576Z11 + 0,036Z2 \quad (9)$$

$$a_{31} = 0,3013 - 0,0059\overline{\delta'} + 0,000344U' - 0,00083M' - 0,0394Z3 - 0,086Z11 - 0,0509Z2 \quad (10)$$

Для клеток №10–13:

$$a_{10} = -0,1086 + 0,00078 * \overline{B'} + 0,005923 * Z15 + 0,001506 * \overline{\delta'} + 0,000393 * \overline{\omega'} - 0,041795 * \Pi - 0,0384 * \Pi - 0,005080 * Z2 \quad (11)$$

$$a_{11} = -0,2633 - 0,000007M' + 0,1534Z3 - 0,000017B' + 0,000491\delta' + +03068Z14 - 0,000009P - 0,000383\omega' + 2,02347\Pi + 0,1987Z2 \quad (12)$$

$$a_{20} = 1,1171 + 0,325Z14 - 0,000788\overline{B'} - 0,000002P + 0,12066Z15 + 0,04047Z3 \quad (13)$$

$$a_{21} = 2,2587 - 1,01871Z14 + 0,0016\overline{B'} - 0,598Z15 - 2,885Z13 + 1,42367\Pi + 0,1562Z2 + 0,00226\overline{M'} + 0,06385Z3 - 0,04565\overline{\delta'} - 0,02549\overline{\omega'} - 0,00083D \quad (14)$$

$$a_{30} = 0,4852 + 0,000006P + 0,000005B' + 0,848497\Pi - 0,015278\overline{\omega'} + 0,073988Z2 - 0,1403\overline{H'} + 0,001579H' + 0,043Z3 - 0,00053\delta' - 0,704219Z13 + 0,000757\overline{M'} \quad (15)$$

$$a_{31} = -0,2646 - 0,02773Z15 + 0,000148\overline{B'} + 0,021Z \quad (16)$$

Если подставить данные коэффициенты в систему уравнений (2), можно получить модель прогнозирования профиля рабочих валков для клеток №7–13 чистовой группы стана. Для улучшения ее качества в модель были введены уточняющие коэффициенты C_{1wj} и C_{0wj}

w – номер рассматриваемого участка;

$w=1$ для зоны отсутствия контакта валка с полосой;

$w=2$ для зоны переменного контакта валка с полосой;

$w=3$ для зоны постоянного контакта валка с полосой;

J – номер рассматриваемой клетки;

$J=1$ для клетки № 7; $J=4$ для клетки № 10; $J=7$ для клетки № 13;

$J=2$ для клетки № 8; $J=5$ для клетки № 11;

$J=3$ для клетки № 9; $J=6$ для клетки № 12.

С учетом данных коэффициентов система уравнений (2) примет вид:

$$\begin{cases} y_1 = C_{11j} \cdot a_{11} \cdot x + C_{10j} \cdot a_{10}, & x \in [0; 0,25) \\ y_2 = C_{21j} \cdot a_{12} \cdot x + C_{20j} \cdot a_{20} & x \in [0,25; 0,625) \\ y_3 = C_{31j} \cdot a_{13} \cdot x + C_{30j} \cdot a_{30} & x \in [0,625; 1] \end{cases} \quad (17)$$

Значение коэффициентов C_{0ij} и C_{1ij} определяется в зависимости от номера клетки, положения валка и от применения СТС и принимают различную величину:

- Для клеток 7-9 коэффициент C_{0ij} принимает значения от [0,73 1,33], а коэффициент C_{1ij} от [0,42 до 1,25].

- Для клеток 10-13 коэффициент C_{0ij} принимает значения от [1,01 1,13], а коэффициент C_{1ij} от [1,036 до 1,089].

Пример прогнозирования профиля для верхних и нижних рабочих валков клеток №7-13 представлен на рисунках 4– 5.

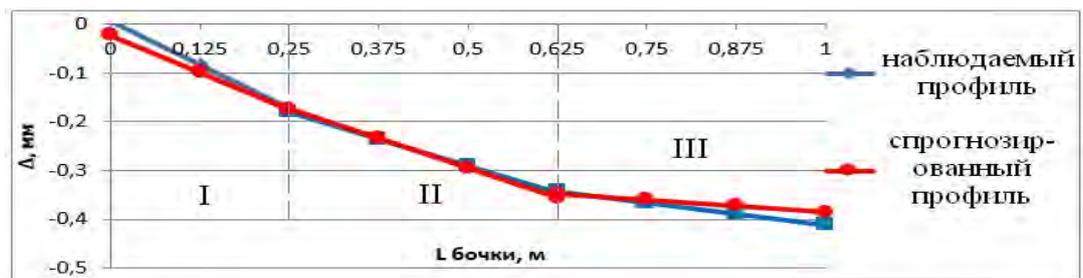


Рис. 4. Прогнозирование профиля верхнего рабочего валка клетки №7

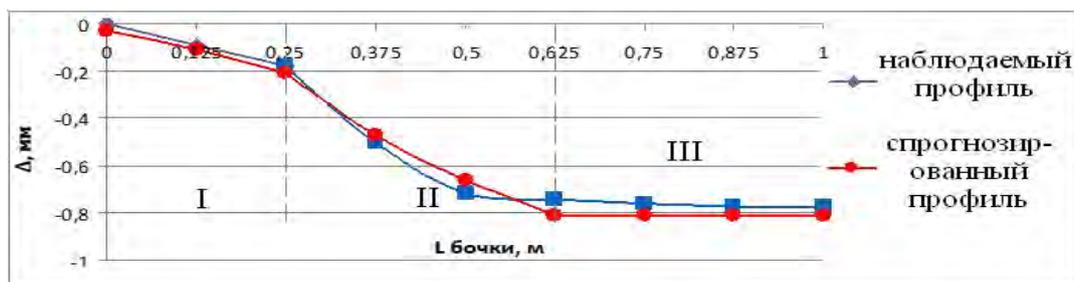


Рис. 5. Прогнозирование профиля верхнего рабочего валка клетки №10

Из рисунков 4 – 5 видно, что расхождение экспериментальных и расчетных данных по величине износа для клеток №7-9 (тепловой износ) не превышает 5...15%; для клеток №10-13 (абразивный износ) составляет 11...22%, это позволяет считать предложенную модель адекватной.

Таким образом, основываясь на вышеизложенном, установили возможность использования статистической модели для прогнозирования величины и характера износа поверхности бочки рабочих валков для его своевременной компенсации, и определения допустимого регламента работы.

Список литературы

1. Дубовский С.В., Дёма Р.Р., Харченко М.В. и др. Комплексная оценка и исследование эффективности системы подачи технологической смазки в клетях №7 – 9 непрерывного широкополосного стана горячей прокатки 2000 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» // Производство проката №12. 2011, С. 6 – 8
2. Платов С.И., Румянцев М.И., Дема Р.Р., и др. Эффективность процесса горячей прокатки с подачей СМ между опорным и рабочим валками на непрерывном широкополосном стане горячей прокатки 2000 ОАО «ММК» Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. №4. 2011, С.19 – 21.
3. Румянцев М.И., Дёма Р.Р., Харченко М.В. Определение параметров, воздействующих на эффективность работы системы подачи технологической смазки непрерывных широкополосных станов горячей прокатки, Научно –технический и производственный журнал Металлургические процессы и оборудование. (Украина). №1. 2012. С. 12 – 17
4. С.И. Платов С.И., Дема Р.Р., Амиров Р.Н. и др. Влияние смазочного материала на изменение энергосиловых параметров прокатки в непрерывной группе клеток стана 2000 горячей прокатки ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» //Производство проката 2013. №11. С. 14 – 18.
5. Платов С.И., Дема Р.Р., Амиров Р.Н. и др. Математическое моделирование процесса изнашивания рабочих валков клетки кварто при подаче смазочного материала Горный журнал «Черные металлы» специальный выпуск к 80-летию комбината.2012. С.54 – 57.
6. Платов С.И., Дема Р.Р., Амиров Р.Н. и др. Математическая модель процесса изнашивания и прогнозирования срока службы рабочих валков клетки кварто при подаче смазочного материала // Производство проката 2012. №9 С. 38 – 44.
7. Щербаниц.Э.Н. Износ опорных валков и изменение шлифовочного профиля рабочих валков дроссировочного стана [Текст]/Э.Н.Щербаниц, К.Н.Савранский. Н.И.Великий, В.Г.Надутов Металлург,-1971,-№11, С 42-43.
8. Ткалич К.Н. Определение величины и формы неравномерности износа рабочих валков толстолистовых станов [Текст]/ К.Н. Ткалич, А.А. Будаква, Г.Н. Шмаков и др.// Производство листа: Науч. тр./МЧМ СССР. -М.: Металлургия, - 1976, - №4, - С. 57-63.
9. Будаква А.А. Определение величины износа рабочих валков по расходу электроэнергии на прокатку [Текст]/ А.А. Будаква, К.Н. Ткалич, Г.Н. Шмаков и др.// Сталь, - 1978, - №9, - С. 830-832.
10. Трейгер Е.И. Повышение качества и эксплуатационной стойкости валков листовых станов Текст./ Е.И. Трейгер, В.П. Приходько -М.: Металлургия, 1988.-192 с.