

*д.т.н. Луценко В.А.,
к.т.н. Боровик П.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЗАГРУЗКИ КАЛИБРОВ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Розроблена методика оцінки завантаження калібрів прокатних валів прокатних станів, використання якої дозволяє оцінити раціональність режиму обтискань і розташування калібрів на валках по критерію довговічності.

Ключові слова: калібр, блюмінг, поломка валів, режим обтискань, утомленість.

Разработана методика оценки загрузки калибров прокатных валков прокатных станом, использование которой позволяет оценить рациональность режима обжатий и расположения калибров на валках по критерию долговечности.

Ключевые слова: калибр, блюминг, поломка валков, режим обжатий, усталость.

В прокатном производстве имеют место значительные нагрузки на оборудование, что приводит к частым авариям, приводящим к простоям, нарушающим ритм работы других цехов. Поэтому увеличение срока службы оборудования, уменьшение числа поломок является актуальной задачей. Одним из важных вопросов в этом направлении, наряду с созданием надежной защиты оборудования и перегрузок и поломок, является разработка инженерных методов определения условий нагружения и разрушающих нагрузок.

Следует отметить, что в прокатных цехах особенно часто имеют место поломки прокатных валков, имеющих среди других элементов главной линии стана минимальный запас прочности. При этом доля валков в себестоимости проката составляет значительную часть. Поэтому снижение количества поломок валков позволяет получить значительный экономический эффект.

Работа валков характеризуется действием нагрузок, изменяющихся по величине и по величине и знаку. Поэтому основная часть встречающихся в практике разрушений валков — это разрушения вследствие усталости.

Работа блюмингов характеризуется многообразием схем прокатки, а, следовательно, и нагрузок на элементы валка. При этом в зависимости от схемы прокатки и схемы расположения калибров на валке изменяются условия нагружения каждого калибра. При отсутствии прогноза нагружения каждого калибра один из калибров может оказаться перегруженным, что приведет к разрушению валка.

Валки блюминга имеют обычно 3-5 прямоугольных калибров, расположенных в разном порядке. Обычно первый калибр располагают на краю валков, а последующие – по ходу прокатки. Такое расположение приводит к минимальным паузам между проходами в связи с перемещением раската по мере прокатки в одном направлении имеет преимущество. Но при этом подшипники валков нагружены неравномерно, поэтому расположение первого калибра посередине бочки хорошо себя зарекомендовало, особенно при прокатке слябов.

В работе [1] достаточно полно изложена разработанная методика классификации и расчета нагрузок, основанная на использовании статистических критериев, которая позволяет с заданной вероятностью прогнозировать величину нагрузок, действующих на прокатную клетку с учетом катаемого и проектируемого сортамента проката и рассчитать ресурс и запасы прочности главной линии стана.

Однако приведенная методика не позволяет определить целесообразность конкретного режима обжарки и схемы расположения калибров на валке с точки зрения равномерной загрузки калибров.

Целью данной работы является разработка методики оценки загрузки калибров преимущественно валков блюминга.

В качестве критерия загрузки калибров предлагается использовать сумму произведений напряжения изгиба в данном калибре (q) на количество циклов при прокатке слитка во всех калибрах:

$$Z_q = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \sigma_{ij}^q \cdot n_{ij}, \quad (1)$$

где σ_{ij}^q – напряжение изгиба в q -м калибре при прокатке слитка во всех калибрах;

n_{ij} – количество циклов при прокатке слитка в j -м калибре;

k – количество проходов при прокатке слитка;

m – количество калибров.

При этом суммарная загрузка валка определяется выражением:

$$Z_{\Sigma} = \sum_{q=1}^m Z_q. \quad (2)$$

Методика расчета загрузки калибров валков включает в себя следующие блоки:

Расчет скоростного и температурного режимов прокатки при заданном режиме обжарки, в результате которого определяется максимальная и средняя скорость в каждом проходе с использованием методики Тягунова В.А. [2] и температура металла в каждом проходе [3]. Предусмотрено использование также экспериментальных данных, учитывающих особенности конкретного стана.

Расчет усилий прокатки по проходам по формуле

$$P = p_{cp} \cdot F, \quad (3)$$

где F – площадь контакта металла с валком;

p_{cp} – среднее контактное давлений.

Среднее контактное давление определяется по методике [3]:

$$p_{cp} = \gamma \cdot n_{\sigma} \cdot \sigma_{и}, \quad (4)$$

где γ – коэффициент, учитывающий влияние среднего главного напряжения;

n_{σ} – коэффициент напряженного состояния;

$\sigma_{и}$ – сопротивление деформации.

Коэффициент γ определяется по Смирнову В.С. [3]:

$$\begin{aligned} \gamma &= 1 + \mu_y \cdot \frac{b_{cp}}{h_{cp}} && \text{при } \frac{b_{cp}}{h_{cp}} \leq \frac{0,465}{\mu_y}; \\ \gamma &= 1,15 && \text{при } \frac{b_{cp}}{h_{cp}} > \frac{0,465}{\mu_y}, \end{aligned} \quad (5)$$

где b_{cp} и h_{cp} – средняя ширина и высота очага деформации;

μ_y – коэффициент трения в установившемся процессе прокатки, определяемый по известной формуле Грудева А.П. [4].

Коэффициент напряженного состояния определяется в зависимости от величины фактора формы $\frac{l_d}{h_{cp}}$ [3]:

$$\begin{aligned}
 n_\sigma &= \left(\frac{l_d}{h_{cp}} \right)^{-0,4} && \text{при } \frac{l_d}{h_{cp}} < 1; \\
 n_\sigma &= 1 + \frac{l_d}{6 \cdot h_{cp}} && \text{при } 1 \leq \frac{l_d}{h_{cp}} \leq 2; \\
 n_\sigma &= \frac{2 \cdot h_n}{\Delta h \cdot (\delta - 1)} \left[\left(\frac{h_n}{h_1} \right)^\delta - 1 \right] && \text{при } 2 < \frac{l_d}{h_{cp}} \leq 5; \\
 n_\sigma &= 1 + \frac{l_d}{4 \cdot h_{cp}} && \text{при } \frac{l_d}{h_{cp}} > 5,
 \end{aligned} \tag{6}$$

где $\delta = \frac{2 \cdot \mu_y \cdot l_d}{\Delta h}$;

Δh – величина обжатия;

h_n – высота раската в нейтральном сечении;

h_1 – высота раската после обжатия.

При прокатке в калибрах среднее контактное давление определяется с учетом влияния формы калибра n_ϕ :

$$p_{cp} = \gamma \cdot \sigma_{и} \cdot [1 + (n_\sigma - 1) \cdot n_\phi]; \quad n_\phi = \frac{\Pi}{2 \cdot b_k}, \tag{7}$$

где Π – периметр калибра;

b_k – ширина калибра по разьему.

Сопротивление деформации $\sigma_{и}$ определяется по методике Анд-реюка Л.В.–Тюленева Г.Г. [5]:

$$\sigma_{и} = S \cdot \sigma_0 \cdot u^a \cdot (10 \cdot \varepsilon)^b \cdot \left(\frac{t}{1000} \right)^{-c}, \tag{8}$$

где σ_0 – базовый предел текучести при $u = 1 \text{ c}^{-1}$;

ε – степень деформации, доли единицы;

t – температура, °C;

S, a, b, c – постоянные величины для каждой марки стали.

Расчет загрузки калибров производится в следующей последовательности.

Определяются моменты и напряжения изгиба во всех калибрах при прокатке слитка в первом калибре по формулам (для валка с тремя калибрами):

$$M_1 = P_1 \cdot x_1 \cdot \left(1 - \frac{x_1}{L}\right); \quad M_2 = \frac{M_1 \cdot (L - x_2)}{(L - x_1)}; \quad M_3 = \frac{M_1 \cdot (L - x_3)}{(L - x_1)}. \quad (9)$$

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{0,1 \cdot D_1^3}; \quad \sigma_2 = \frac{M_2}{0,1 \cdot D_2^3}; \quad \sigma_3 = \frac{M_3}{0,1 \cdot D_3^3}. \quad (10)$$

Затем определяются моменты изгиба во всех калибрах при прокатке слитка во втором калибре по формулам:

$$M_2 = P_2 \cdot x_2 \cdot \left(1 - \frac{x_2}{L}\right); \quad M_1 = \frac{M_2}{x_1}; \quad M_3 = \frac{M_2}{(L - x_3)} \quad (11)$$

и напряжения изгиба по формулам (10) при значении катающего диаметра второго калибра.

Моменты изгиба во всех калибрах при прокатке в третьем калибре определяются по формулам:

$$M_3 = P_3 \cdot x_3 \cdot \left(1 - \frac{x_3}{L}\right); \quad M_1 = \frac{M_3 \cdot x_1}{x_3}; \quad M_2 = \frac{M_3 \cdot x_2}{x_3}, \quad (12)$$

а напряжения изгиба также по формулам (10) при значении катающего диаметра третьего калибра.

Количество циклов в каждом проходе определяется по формуле:

$$n_i = \frac{l_i}{\pi \cdot D_j}. \quad (13)$$

В формулах (9) – (13):

P_1, P_2, P_3 – усилия при прокатке в j -м калибре;

M_1, M_2, M_3 – изгибающие моменты при прокатке в j -м калибре;

L, x_1, x_2, x_3 – соответственно расстояние между нажимными винтами, расстояние до середины 1-го, 2-го и 3-го калибра (рисунок 1);

l_i – длина раската в i -том проходе;

D_j – катающий диаметр j -го калибра.

Применение предложенной методики позволяет оценить загрузку калибров и выбрать режим, способствующий повышению срока службы валков.

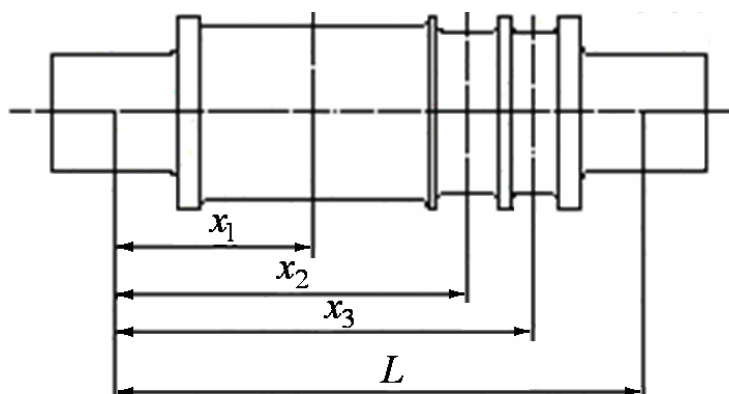


Рисунок 1 – Расчетная схема валка блюминга

Например, для условий блюминга 1250 ОАО "АМК" было произведено сравнение загруженности калибров для двух режимов прокатки слябов из слитка $\frac{732 \times 1390}{590 \times 1300} \times 2650$ мм, сталь 15Г, (таблица 1).

Расчет производился при следующих исходных данных: $L = 3,7$ м, $x_1 = 1,396$ м, $x_2 = 2,480$ м, $x_3 = 2,949$ м, $D_1 = 1,167$ м, $D_2 = 1,060$ м, $D_3 = 1,060$ м.

Были получены следующие величины критерия загрузки:

1-й вариант режима – $Z_1 = 2700, Z_2 = 1992, Z_3 = 1296, Z_{\Sigma} = 5998$;

2-й вариант режима – $Z_1 = 2148, Z_2 = 1593, Z_3 = 1042, Z_{\Sigma} = 4783$,

исходя из чего можно сделать вывод о более рациональной загрузке, как всего валка, так и калибров при прокатке по второму варианту режима обжатий. Кроме этого полученные результаты позволяют прогнозировать вероятность разрушения калибров при наличии дополнительных факторов, ухудшающих условия работы калибра. Так, на указанном стане наиболее частые поломки наблюдаются по второму калибру ($Z_2 = 1992$) при постоянном его локальном перегреве по сравнению с другими калибрами.

Таблица 1 – Режимы прокатки слябов на обжимном стане 1250

Первый вариант режима				Второй вариант режима			
№	Калибр	Сечение, мм	Обжатие, мм	№	Калибр	Сечение, мм	Обжатие, мм
		732x1390				732x1390	
1	1	670x1390	62	1	1	620x1390	112
2	1	630x1390	40	2	1	580x1390	40
3	1	590x1390	40	3	1	540x1390	40
4	1	550x1390	40	4	1	500x1390	40
5	1	510x1390	40	5	1	460x1395	40
6	1	470x1390	40	6	1	420x1400	40
7	1	435x1390	35	7	1	380x1405	40
8	1	400x1390	35	8	1	340x1410	40
9	1	365x1395	35	9	1	300x1415	40
10	1	330x1400	35	10	1	260x1420	40
11	1	295x1405	35	Кантовка			
12	1	260x1410	35	11	3	1340x260	80
Кантовка				12	3	1230x270	110
13	3	1310x270	100	Кантовка			
14	3	1220x280	90	13	1	220x1240	50
Кантовка				14	1	175x1245	45
15	1	240x1230	40	15	1	130x1250	45
16	1	200x1240	40				
17	1	160x1245	40				
18	1	130x1250	30				

В условиях АМК первый калибр (бочка) расположен на краю валков. Режим обжатий блюмов сечением 310×310 мм из слитка

$\frac{810 \times 930}{660 \times 780} \times 2530$ мм представлен в таблице 2.

При этом величины критерия загрузки калибров и валка составили: $Z_1 = 1117, Z_2 = 1497, Z_3 = 997, Z_{\Sigma} = 3611$.

В случае расположения бочки в средней части валка критерии загрузки калибров равны: $Z_1 = 1139, Z_2 = 1128, Z_3 = 740, Z_{\Sigma} = 3007$.

Меньшая нагрузка калибров и, в итоге, меньшая суммарная нагрузка валка свидетельствует о преимуществе второй схемы расположения калибров.

Таблица 2– Режим обжатий блюмов на обжимном стане 1250

№	Калибр	Сечение, мм	Обжатие, мм	Уширение, мм
0		830x930		
1	1	700x930	110	-
2	1	630x935	70	5
Кантовка				
3	1	810x640	125	10
4	1	720x650	90	10
5	1	630x660	90	10
6	1	540x670	90	10
7	1	450x680	90	10
8	1	370x690	80	10
Кантовка				
9	2	620x375	70	5
10	2	540x385	80	10
11	2	460x395	80	10
12	2	380x405	80	10
Кантовка				
13	2	345x385	60	5
14	2	295x395	50	10
Кантовка				
15	3	315x315	80	20

Выводы: предложенный критерий и разработанная методика оценки загрузки калибров, например, валков блюминга, позволяют на стадии подготовки производства оценить рациональность режимов обжатия и расположения калибров на валке с позиции долговечности работы валков.

Библиографический список

1. Режимы нагружения и прочность прокатных станов/ В.М. Клименко, Л.В. Коновалов, В.С. Горелик, К.Д. Шумилов, В.И. Погоржельский.- Киев: Техника, 1976.- 172 с.
2. Швейкин В.В., Тягунов В.А. Технология прокатного производства.- Свердловск: Металлургиздат, 1956.- 444 с.
3. Теория прокатки. Справочник/А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин и др.- М.: Металлургия, 1986.- 334 с.
4. Грудев А.П. Теория прокатки.- М.: Металлургия, 1988.- 240 с.
5. Клименко В.М., Онищенко А.М. Кинематика и динамика процессов прокатки.- М.: Металлургия, 1984.- 232 с.