

В.А. Николаев, профессор, д. т. н.
С.В. Жученко, аспирант

ПРОФИЛИРОВАНИЕ ВАЛКОВ И КАЧЕСТВО ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ПОЛОС

Запорожская государственная инженерная академия

У статті наведено ряд методів, що застосовують на станах холодної прокатки для регулювання міжвалкового зазору. Розглянуто станочне профілювання валків із різним профілем. На основі проведеного аналізу розподілу міжвалкових тисків та характеру прогину валків у кліті «кварто» під час прокатування, запропоновано заходи щодо підвищення якості поперечного профілю штаби.

В статье приведен ряд применяемых на станах холодной прокатки методов регулирования межвалкового зазора. Рассмотрено станочное профилирование валков с различным профилем. На основе проведенного анализа распределения межвалковых давлений и характера изгиба валков в клети кварто при прокатке, предложены меры по повышению качества поперечного профиля полосы.

Введение. К основным факторам, влияющим на поперечный профиль и форму полосы в клетях «кварто», относятся упругий прогиб опорного валка, собственный прогиб рабочего валка и неравномерный износ валков по длине бочек. Для компенсации влияния этих факторов выполняют станочную профилировку образующих бочек валков (выпуклая, цилиндрическая, вогнутая).

На опорных валках выполняют концевые скосы (врезы) [1-4]. Для настройки межвалкового зазора в процессе прокатки и получения качественного профиля полосы существуют различные способы и устройства, часть которых приведены ниже:

– регулирование интенсивности охлаждения рабочих валков, в том числе и секционное;

- противоизгиб (дополнительный изгиб) рабочих валков;
- осевой сдвиг S-образных рабочих валков (система SVC);
- осевой сдвиг выпуклых (цилиндрических) рабочих валков;
- перекрещивание верхних и нижних валков на угол $\leq 1,5^\circ$.

Достоинства и недостатки указанных способов рассмотрены в известной литературе [2-8]. Отметим, каждый из указанных способов имеет достоинства и недостатки, поэтому рекомендуют на промышленных станах применять несколько каналов регулирования межвалкового зазора (кроме станочного профилирования и охлаждения валков). Осевую сдвижку рабочих валков с профилировкой SVC предлагают использовать в промежуточных клетях непрерывной группы, а в чистовой клети – систему гидроизгиба рабочих валков [8]. Осевой сдвиг выпуклых (цилиндрических) рабочих валков на 100...150 мм применяют лишь для сглаживания неравномерности износа валков на участке прокатки кромок полосы. Наличие системы регулирования межвалкового зазора не исключает необходимости применения рабочих и опорных валков с рациональными станочными профилировками образующих их бочек. Применение таких профилировок повышает качество динамического регулирования параметров межвалкового зазора в процессе прокатки.

Механическую обработку опорных и рабочих валков выполняют на специальных вальцетокарных и вальцешлифовальных станках. Примеры режимов обработки и

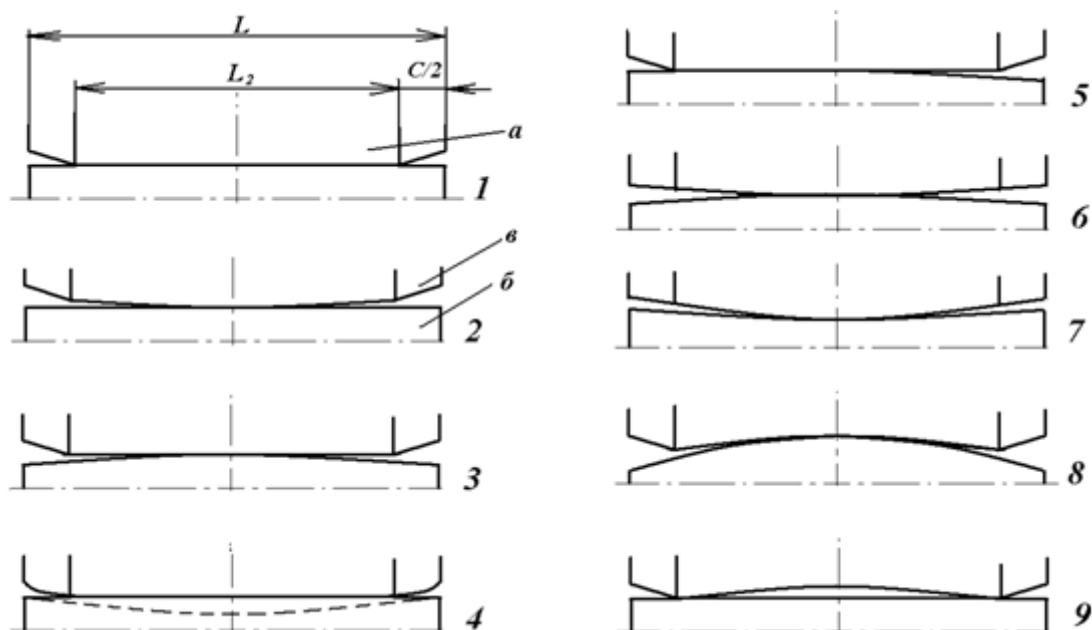
подготовки валков к эксплуатации приведены в работе [9]. В общем случае подготовка валков включает в себя токарную обработку (если это необходимо), черновую и чистовую (с доводкой) шлифовку абразивным кругом. При чистовом шлифовании образующей валка придают необходимый профиль и шероховатость поверхности ($1,1 \dots 1,5 \text{ мкм } R_a$).

На широкополосных станах горячей и холодной прокатки в клети «кварто» применяют один-три валка с профилированными образующими бочек, наличие которых позволяет компенсировать упругие деформации рабочих и опорных валков. Как правило, в рабочем состоянии (после разогрева) валки получают выпуклый профиль с одновременным неравномерным их изнашиванием. Наличие исходных выпуклостей (вогнутостей), неравномерный разогрев и износ по длине бочек валков обуславливает неравномерное распределение межвалковых давлений [2-4, 8, 10, 11]. С учетом воздействия различных факторов и с целью повышения эффективности эксплуатации валков в работе [2] разработаны и рекомендуются следующие принципы профилирования бочек валков широкополосных станов:

- уменьшение (устранение) выпуклости рабочих валков за счет переноса ее на опорные валки;
- применение в клетях полосовых станов рабочих валков с вогнутым профилем образующей бочки;
- уменьшение суммарной выпуклости в системе «рабочий валок-опорный валок» путем размещения выпуклости на двух опорных валках;
- уменьшение кривизны образующих бочек валков и средней величины выпуклостей валков за счет применения профилировок валков в виде параболы высшего порядка (например, трапецевидной формы);
- применение переменной профилировки рабочих валков в клетях стана путем периодической смены в каждой перевалке положения выпуклого валка из верхнего в нижнее и наоборот;
- увеличение длины рабочей части бочки опорного валка от первой клети непрерывного стана к последней.

Практическое использование первых четырех рекомендаций обеспечивает уменьшение выработки средней части длины бочек валков и повышение их работоспособности. Использование пятой рекомендации позволяет уменьшить степень неравномерности износа опорных валков, а шестой – обеспечить выравнивание обжатий и погонных давлений по ширине полосы. Анализ эксплуатации валковых комплектов с различными профилировками широко представлен в указанных выше работах. На рис. 1 показаны различные профилировки опорных (а) и рабочих (б) валков. Варианты 1-7 относятся к типам исходных профилировок опорных и рабочих валков, а варианты 8, 9 характеризуют условия контактирования в случае использования изношенных на вогнутость опорных валков и новых рабочих валков. В ряде случаев опорные валки получают выработку в форме выпуклости и этим условиям соответствуют формы образующих по вариантам 2,6,7. Цилиндрические рабочие валки под воздействием полосы получают всегда максимальную выработку в середине длины бочки, а на выпуклых валках уменьшается величина выпуклости [2].

Для четырехвалковых клетей применяют валки с исходными шлифовочными профилировками, как правило, по вариантам 1-3.

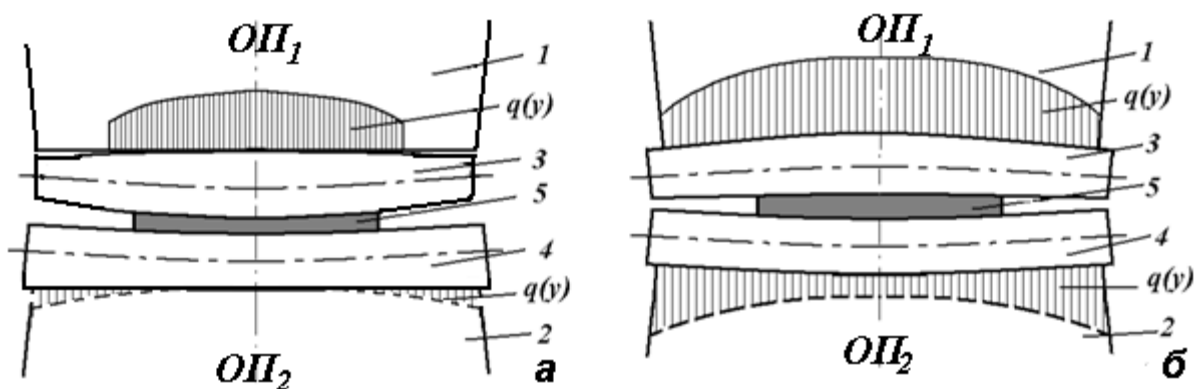


а - опорный валок; б - рабочий валок; в - скос (врез)

Рисунок 1 – Виды профилировок (форм образующих) валков:

Исследованиями [2] установлено, что тип исходной профилировки валков клетки кварто во многом обуславливает форму эпюр межвалковых давлений $q(y)$ и форму неравномерного износа валков. Рассматривали влияние формы исходных профилей рабочих валков при взаимодействии с цилиндрическими опорными валками на изменение межвалкового давления [верхний рабочий валок с выпуклыми профилем (3), нижний – цилиндрический (4)] (рис. 1, случаи 1,2,4; рис. 2). При наличии выпуклого (цилиндрического, вогнутого) профилей образующих рабочие валки имеют две стадии изгиба в контакте с опорными валками. Верхний рабочий выпуклый валок контактирует с опорным цилиндрическим валком ($ОП_1$) в середине длины бочек, а вогнутый нижний рабочий валок контактирует с опорным валком ($ОП_2$) на краях бочек.

В момент захвата полосы валками рабочий валок с вогнутым профилем ($ВВГ$) под действием полосы и выпуклого рабочего валка ($ВВП$) опирающегося на верхний опорный валок ($ОП_1$), изгибается на опорный валок ($ОП_2$) до полного контакта с его поверхностью (рис. 2, I), а затем, при полном заполнении металла очага деформации (вторая стадия), изгибается вместе с опорным валком $ОП_2$ (рис. 2, II). Характер изгиба рабочих валков обуславливает и характер распределения межвалковых давлений $q(y)$. На первой стадии межвалковые давления по оси вогнутого рабочего валка минимальны, а на краях бочек максимальны (рис. 2, I). Наоборот, в контакте выпуклого рабочего и опорного валка ($ОП_1$) максимальные межвалковые давления в первой стадии (вследствие небольшой силы прокатки) сосредоточены в средней части контакта верхней пары валков, а на краевых участках возможно отсутствие межвалкового контакта и давления (рис. 2, I). На первой стадии можно предположить наличие минимального прогиба опорных валков или его отсутствие [особенно касается нижнего опорного валка ($ОП_2$)]. На второй стадии (при заполненном очаге деформации) имеет место совместный прогиб опорных и рабочих валков, величина которого обусловлена силой прокатки, шириной полосы и механическими свойствами валков.



1 - верхний опорный валок; 2 - нижний опорный валок; 3 - выпуклый верхний рабочий валок;
4 - нижний вогнутый рабочий валок; 5 - полоса (опорные валки без скосов)

Рисунок 2 – Первая (а) и вторая (б) стадии изгиба валков и характер межвалковых нагрузок $q(y)$:

Неравномерность распределения межвалковых давлений определяет характер и степень неравномерности выработки опорных валков. В соответствии с исследованиями [2,6,10,11] максимальная выработка поверхности опорных валков соответствует максимальным значениям давлений $q(y)$. В процессе прокатки рабочие валки получают максимальный износ в средней части длины бочки (не учитывая прикромочные участки), что связано с соответствующим распределением давлений в контакте полосы с валками [12,13]. Поэтому величина выпуклости верхнего рабочего валка несколько уменьшается, а величина вогнутости нижнего валка увеличивается (рис. 2, II). Рабочий валок с исходным цилиндрическим профилем получает в процессе прокатки максимальную выработку в середине длины бочки и приобретает вогнутый профиль образующей, а также изнашивает опорный валок в соответствии со схемой 4 на рис. 1 (пунктир).

Таким образом, после некоторого периода работы цилиндрических опорных валков их профиль в контакте с рабочими валками по рис. 2 имеет вид, соответствующий схемам 8 (верхняя пара) и 7 (нижняя пара) (рис. 1).

Таблица 1 - Наиболее рациональная совместная профилировка опорных и рабочих валков

Валок	Положение	Профиль	Рисунок	Тип
Опорный	$\frac{\text{ââðð}}{\text{íèç}}$	$\frac{\text{âîâíóðòùé}}{\text{âîîóèèùé}}$	1	8
Рабочий	$\frac{\text{ââðð}}{\text{íèç}}$	$\frac{\text{âîîóèèùé}}{\text{âîâíóðòùé}}$	1	7

Анализ условий контактирования опорного и рабочего валков, выполненный на основании теоретических и экспериментальных исследований, в случае отсутствия в клети «кварто» устройств для осевого сдвига рабочих валков, позволяет рекомендовать наиболее рациональную совместную профилировку опорных и рабочих валков (см. табл. 3). При этом выпуклость опорного валка может быть выполнена по форме параболы второго или более высокого порядка [2,3,6].

Для производства полосовой стали представляет интерес, так называемая переменная профилировка рабочих валков (ППРВ) клети «кварто» [2,3,6]. Опорные и рабочие валки могут иметь выпуклый или цилиндрический профили (рис. 1, варианты 1 и 2). Суть профилирования заключается в периодической смене (при очередной перевалке рабочих валков) положения выпуклого рабочего валка в клети с верхнего на

нижнее и наоборот, то есть в нечетных перевалках выпуклый рабочий валок постоянно изнашивает среднюю часть длины бочки верхнего опорного валка, а цилиндрический (вогнутый) – краевые участки бочки нижнего опорного валка. В четных перевалках выпуклый валок устанавливают к нижнему опорному валку, а цилиндрический – к верхнему опорному валку. В этом варианте нижний опорный валок изнашивается преимущественно в средней части, а нижний опорный валок – преимущественно на краевых участках бочки. За счет периодического изменения максимального и минимального положения межвалковых давлений происходит уменьшение неравномерности выработки опорных валков в процессе их эксплуатации. В этом случае, если использовать профилировку ППРВ, начиная с первой установки опорных валков, можно в значительной степени обеспечить стабилизацию межвалкового зазора в период полной кампании опорных валков даже при отсутствии специальных устройств для регулирования положения опорных валков.

Длительные промышленные испытания комплектов валков с использованием ППРВ показали возможность уменьшения неравномерности износа и увеличения длительности работы опорных валков без замен [2,3].

Выводы. В статье рассмотрены различные виды исходной профилировки валков. На основе анализа распределения межвалковых давлений и характера изгиба валков в клети кварто, предложены меры по повышению качества поперечного профиля полосы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полухин В. П. Математическое моделирование и расчеты на ЭВМ листовых прокатных станов / В. П. Полухин. – М.: Металлургия, 1972. – 512 с.
2. Николаев В. А. Профилирование и износостойкость листовых станов / В. А. Николаев. – Киев: Техніка, 1992. – 160 с.
3. Николаев В. А. Прокатка широкополосной стали / В. А. Николаев, А. Ю. Путники. – Киев: Освита України, 2009. – 268 с.
4. Боровик Л. И. Эксплуатация валков станов холодной прокатки / Л. И. Боровик. – М.: Металлургия, 1968. – 233 с.
5. Управление качеством тонколистового проката / В. Л. Мазур, А. М. Сафьян, И. Ю. Приходько, О. И. Яценко. – Киев: Техніка, 1997. – 384 с.
6. Николаев В. А. Повышение эффективности работы полосовых станов с профилированием валков / В. А. Николаев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – № 2. – С. 34-37.
7. Кламма К. Технология CVC на полосовых станах холодной прокатки // Черные металлы. – 1984. – № 22. – С. 44-47.
8. Повышение точности листов и полос / Ю. В. Коновалов, Е. А. Руденко, П. С. Гринчук [и др.] – Киев: Техніка, 1987. – 144 с.
9. Боровик Л. И. Технология подготовки и эксплуатации валков тонколистовых станов / Л. И. Боровик, П. И. Добронравов. – М.: Металлургия, 1984. – 104 с.
10. Ткалич К. Н. Точная прокатка тонких полос / К. Н. Ткалич, А. Ю. Коновалов. – М.: Металлургия, 1972. – 176 с.
11. Профилирование валков листовых станов / А. А. Будакова, Ю. В. Коновалов, К. Н. Ткалич [и др.] – Киев: Техніка, 1986. – 190 с.
12. Целиков А. Н. Теория продольной прокатки. / А. Н. Целиков, Г. С. Никитин, С. Е. Рокотян. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
13. Чекмарев А. П. О некоторых вопросах теории прокатки / А. П. Чекмарев // Теория прокатки. (Материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки). – М.: Металлургия, 1962. – С. 31-56.

Стаття надійшла до редакції 01.12.2009 р.
Рецензент, проф. А.Я. Жук