

УДК 621.771.073

Петренко А. С.

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ С ДЛИНОЙ БОЧКИ РАБОЧИХ БОЛЬШЕЙ, ЧЕМ ОПОРНЫХ\***

Основной характеристикой листовых станов является длина бочек рабочих валков. Она определяет сортамент стана по размерам прокатываемых полос и листов, а также другие его основные параметры. Традиционно на толстолистовых реверсивных станах (ТЛС) и широкополосных станах горячей прокатки (ШСГП) применяют четырёхвалковые клетки с одинаковой длиной бочек рабочих и опорных валков. Стремление расширить сортамент прокатываемых полос на действующих листовых станах с минимальными затратами привело к тому, что на ряде станов (особенно ТЛС) увеличена длина бочки рабочих валков при сохранении прежней длины бочки опорных валков. Это резко меняет контактные условия системы «рабочий-опорный валок».

Наиболее полно и глубоко условия взаимодействия рабочих и опорных валков листовых станов горячей и холодной прокатки представлены в работе [1]. Дальнейшее развитие методов расчёта профилирования валков, а в связи с этим и расчётов контактного взаимодействия рабочих и опорных валков четырёхвалковых клеток получило в работах [2–4]. Однако во всех случаях рассматривается система валков с одинаковой длиной бочки, либо при существенно большей длине бочки рабочих валков в клетях с осевым смещением рабочих валков.

Целью работы является исследование влияния соотношения длин бочек опорного и рабочего валка, ширины полос и профилировки валков на межвалковые давления в системе «рабочий-опорный валок», на основе которых можно сделать заключение о возможности применения рабочих валков ТЛС с длиной бочки большей, чем у опорных валков.

Исследование выполнено в привязке к ТЛС 3000 ПАО «Мариупольский меткомбинат им. Ильича».

Стан 3000 наиболее новый ТЛС (сдан в эксплуатацию в 1983 г.), первоначально был предназначен для производства штрипсов толщиной 5–25 мм, шириной до 2,7 м по контролируемым режимам прокатки. Стан двухклетевой, обе клетки четырёхвалковые с диаметром бочки опорных валков 2100, рабочих – 1000 мм, длина бочки рабочих валков 3100 и опорных – 2980 мм.

То есть, стан 3000 по проекту имел довольно узкий сортамент листов по толщине. В последующие годы сортамент листов расширен по толщине до 50 мм и возникла потребность в расширении сортамента полос по ширине. Работниками комбината и сотрудниками НПО «Доникс» были проведены предварительные проработки, которые показали, что без изменения конструкции клеток может быть увеличена длина бочки рабочих валков до 3400 мм и получена возможность прокатки раскатов шириной до 3200 мм (ширина готовых листов в этом случае будет 3000 мм).

Поскольку в настоящее время на стане 3000 в чистовой клетке прокатывают лишь 18 % раскатов шириной 1500–2000 мм, а свыше 2000 мм – 82 %, то целесообразно дальнейшее увеличение ширины прокатываемых полос.

Максимально возможная ширина прокатываемых полос принята 3200 мм, в этом случае ширина раската становится на 220 мм больше длины бочки опорных валков, что должно вызывать повышение межвалковых давлений на краевых участках опорных валков и создавать условия для появления отколов валка или его разрушения. При ширине полосы 1500 мм, которая существенно меньше длины бочки опорного валка, оказывает обратное воздействие, концентрация контактных напряжений увеличивается на середине бочки опорного валка, что вызвано увеличением стрелы прогиба рабочих валков.

---

\*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ДонНТУ Коновалова Ю. В.

Условие равномерного распространения контактных напряжений по длине бочки, наиболее полно выполняются при ширине полосы 2900 мм, которая близка к длине бочки опорного валка.

Величина межвалковых давлений зависит от абсолютного превышения ширины полосы над длиной бочки опорного валка, силы прокатки, профилировок рабочих и опорных валков. Судя по тому, что в мировой практике такое условие в ряде случаев наблюдается, можно предположить, что эта задача решается за счёт выбора рациональных соотношений указанных параметров.

Исследование влияния соотношения длины бочки опорного валка и ширины раската, силы прокатки и профилировки валков на межвалковое давление, прогиб рабочего валка и поперечную разнотолщинность раската выполнено нами в привязке к условиям прокатки в чистовой клети стана 3000.

При расчётах использована методика расчёта деформации валков и межвалковых давлений, разработанная в ДонНИИЧермет [1] с уточнениями, сделанными нами, касающихся теплового профиля и износа валков.

В качестве исходных данных приняты:

- материал валков: опорных – сталь; модуль упругости  $E = 2,1 \cdot 10^8$  Н/мм<sup>2</sup>; модуль сдвига  $G = 0,808 \cdot 10^8$  Н/мм<sup>2</sup>; коэффициент Пуассона  $\mu = 0,3$ ; рабочих – чугун,  $E = 1,7 \cdot 10^8$  Н/мм<sup>2</sup>;  $G = 0,67 \cdot 10^8$  Н/мм<sup>2</sup>;  $\mu = 0,27$ ;
- диаметр валков: опорных – 2100, рабочих – 1000 мм;
- длина бочки валков: опорных – 2980 мм, рабочих – 3100 и 3400 мм;
- межцентровое расстояние между осями нажимных винтов чистовой клети 4700 мм;
- сила прокатки 50 и 40 МН;
- существующие профилировки валков стана 3000 (рис. 1).

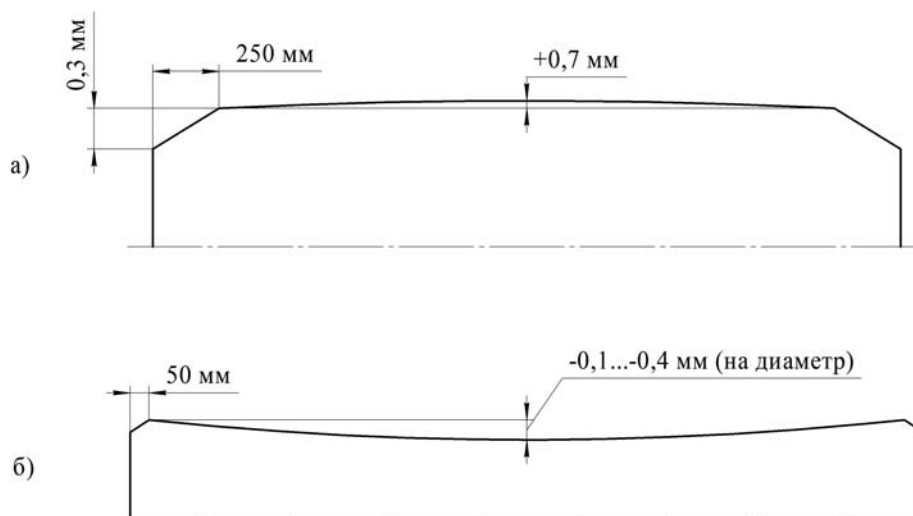


Рис. 1. Схемы профилировок опорных (а) и рабочих (б) валков чистовой клети стана 3000

В соответствии с принятой методикой расчёт деформации валков начинали с определения межвалкового зазора  $S$  (зазор между рабочим и опорным валками в ненагруженном состоянии) по краям бочек с учётом исходного профиля каждого из валков и с учётом их износа ( $R_p$  и  $R_{on}$ ), и тепловой выпуклости ( $R_t$ ):

$$S = R_p + R_{on} + R_t. \quad (1)$$

При этом исходный профиль принимали в соответствии с установленной профилировкой, а тепловой профиль (выпуклость) и износ валков рассчитывали предварительно по разработанным уравнениям с учётом реальных условий прокатки.

Результаты расчёта величины межвалковых зазоров при прокатке подкатов в чистовой клети стана 3000 различных размеров по ширине представлены на рис. 2.

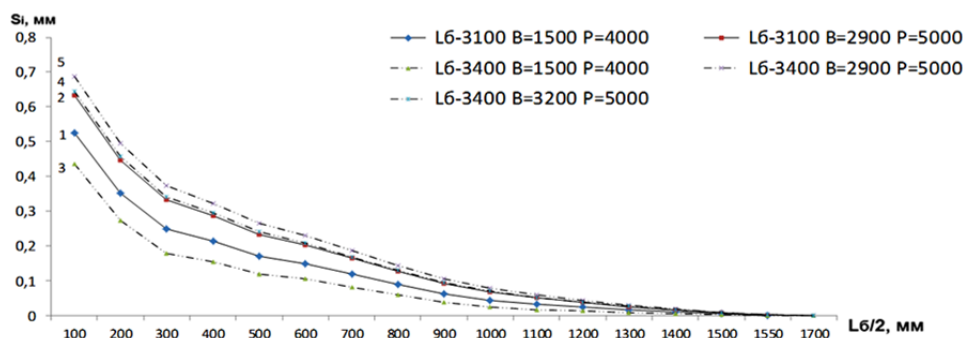


Рис. 2. Расчётные значения межвалкового зазора при прокатке раскатов разной ширины в чистовой клети стана 3000:

1 –  $L_6 = 3100$   $B = 1500$   $P = 4000$ ; 2 –  $L_6 = 3100$   $B = 2900$   $P = 5000$ ; 3 –  $L_6 = 3400$   $B = 1500$   $P = 4000$ ; 4 –  $L_6 = 3400$   $B = 2900$   $P = 5000$ ; 5 –  $L_6 = 3400$   $B = 3200$   $P = 5000$

Подсчитаны также величины прогиба рабочих и опорных валков для тех же условий, что приведены на рис. 2, применительно к черновой клети, рис. 3.

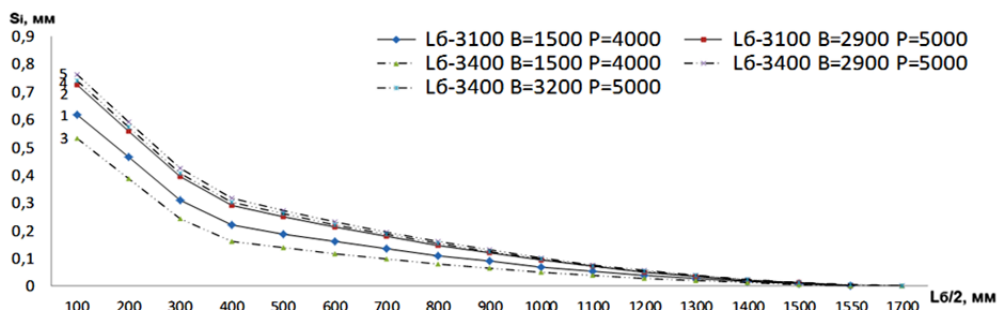


Рис. 3. Расчётные значения межвалкового зазора при прокатке раскатов разной ширины в черновой клети стана 3000:

1 –  $L_6 = 3100$   $B = 1500$   $P = 4000$ ; 2 –  $L_6 = 3100$   $B = 2900$   $P = 5000$ ; 3 –  $L_6 = 3400$   $B = 1500$   $P = 4000$ ; 4 –  $L_6 = 3400$   $B = 2900$   $P = 5000$ ; 5 –  $L_6 = 3400$   $B = 3200$   $P = 5000$

На первом этапе расчётов (первое приближение) распределение межвалковых давлений определено по уравнению:

$$q_i = \Delta_{сж} \cdot (S_{\max} - S_i), \quad (2)$$

где  $S_{\max}$  – максимальное значение межвалкового зазора, определённого по зависимости (1) с учётом максимальных значений износа, тепловой выпуклости валков и действующей профилировки;  $\Delta_{сж}$  – величина контактного сжатия от единичной нагрузки соответствующего участка валков в зоне контакта рабочий-опорный валок. Нами для этого использована формула Б. С. Ковальского.

После расчёта валков в первом приближении пересчитывается межвалковый зазор на величину прогибов рабочего  $Y_p$  и опорного  $Y_{on}$  валков и определяется новое распределение межвалкового давления по уравнению:

$$q_i = \Delta_{сж} \cdot (S_{\max} - S_i + Y_p - Y_{on}). \quad (3)$$

Расчёт деформаций валков повторяется с новыми значениями межвалкового зазора до тех пор, пока разность между соседними приближениями не станет меньше заданной. Обычно это два, в крайнем случае, три приближения.

Величину прогибов рабочих валков последнего приближения используют для расчёта поперечной разнотолщинности полосы, выходящей из чистовой клети, по уравнению:

$$\Delta h_n = W_p + W_{on} - R_t + R_u + Y_p + Y_{on}, \quad (4)$$

где  $R_u$  – суммарный износ верхнего и нижнего рабочих валков;  $R_t$  – суммарная тепловая выпуклость верхнего и нижнего валков.

Для остальных параметров также приняты суммарные значения для верхнего и нижнего валков. Результаты расчётов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты математического моделирования условий работы валков чистовой клетки стана 3000 при сколах на краях бочки опорных валков  $0,3 \times 250$  мм и профилировке рабочих валков минус  $0,2$  мм

№ варианта	$L_b$ , рабочих валков мм	$B$ , раската мм	$P$ , МН	Межвалковое давление, Н/мм			Прогиб валков, мм		$R_s$ , мм	$\Delta h$ , мм
				$q_{кр}$	$q_{ср}$	$q_{max}$	$Y_p$	$Y_{on}$		
1	3100	1500	40	5,5	14,32	18,55	0,183	0,059	0,014	0,48
2	3100	2500	50	2,6	15,29	23,44	0,479	0,083	0,047	0,33
3	3400	1500	40	8,7	13,4	16,65	0,205	0,065	0,014	0,08
4	3400	2900	50	4,8	14,34	26,81	0,466	0,098	0,45	0,2
5	3400	3200	50	4,9	14,13	27,35	0,517	0,099	0,5	0,37

В табл. 1 дополнительно обозначено:  $q_{кр}$ ,  $q_{ср}$ ,  $q_{max}$  – величины межвалкового давления соответственно на краях, середине бочки валков и их максимальное значение.

Максимальные значения межвалковых давлений наблюдаются на участках между серединой и краевыми зонами валков. Из таблицы видно, что прогиб рабочих валков определяется не столько прогибом опорных валков, сколько величиной неравномерного сжатия валков по длине межвалковой зоны контакта рабочего и опорного валков. Эту величину можно прогнозировать исходя из известных величин межвалковых зазоров.

Из табл. 1 также видно, что величина межвалковых давлений на основном участке контакта рабочих валков с опорными выше, чем на краевых участках, что свидетельствует о малой вероятности их сколов. При сохранении существующих профилировок рабочих валков  $W_p = -0,1 \dots -0,4$  мм и ограничении максимальной силы прокатки на уровне 50 МН прокатка раскатов шириной 3200 мм ( $L_p = 3400$ ) превышает величину  $q_{max}$  в сравнении с прокаткой раската 2900 мм в чистовой клетки на 14,3 %.

Выполненные нами исследования поперечного профиля готовых листов показали, что профилировка валков с  $W_p = -0,2$  мм и работе противоизгиба валков позволяет получать листы с точностью, соответствующей требованиям к ней ГОСТ 19903.

## ВЫВОДЫ

Проведенное математическое моделирование упругой деформации валков и межвалковых давлений показало возможность увеличения длины бочки рабочих валков с 3100 мм до 3400 мм с сохранением существующей длины бочки опорных валков 2980 мм, что позволит расширить сортамент прокатываемых листов и повысит конкурентоспособность стана 3000.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Профилирование валков листовых станов / [А. А. Будакова, Ю. В. Коновалов, К. Н. Ткалич и др.]. – Киев : Техніка, 1986. – 190 с.
2. Божков А. И. Плоскостность тонколистового проката / А. И. Божков, В. П. Настич. – М. : СП Интермет Инжиниринг, 1998. – 264 с.
3. Николаев В. А. Валки прокатных станов / В. А. Николаев. – Запорожье : ЗГИА, 2000. – 176 с.
4. Особенности профилировок рабочих валков для клетей с осевой сдвижкой / В. Н. Скороходов, Ю. А. Мухин, С. М. Бельский, С. И. Мазур // Производство проката. – 2007. – № 12. – С. 17–19.

Петренко А. С. – аспирант ДонНТУ.

ДонНТУ – Донецкий национальный технический университет, г. Донецк.

E-mail: ksd.prokat@gmail.com

Статья поступила в редакцию 16.10.2012 г.