

мизации формы калибра усилие прокатки снижается во всех клетях предчистовой группы клетей. Исходя из этого следует, что оптимизированная калибровка позволяет:

- снизить затраты электроэнергии;
- уменьшить износ валков;
- повысить стойкость валков.

Применение бандажированных валков экономически обосновано. Увеличенная стоимость сменных колец ВК по сравнению с традиционными валками компенсируется значительным увеличением кампании бандажированных валков и сменой, при необходимости, только самих прокатных колец (бандажей), бывших в употреблении, а не всего тела валка.

Подобный опыт использования твердосплавных прокатных колец шведской фирмы Sandvik имеется в Новокузнецке в ОАО "ЗСМК" [7]. Эксплуатация комплектов составных прокатных валков на проволочном стане проходила без существенных замечаний по качеству поверхности ручьев и надежности крепления бандажей. Стойкость овальных и круглых калибров составных валков в 7,4–9,7 раза выше стойкости аналогичных калибров цельнолитых чугунных валков. За период эксплуатации на "ЗапСиб" на двух комплектах валков фирмы Sandvik прокатано 867597 т, что соответствует количеству металла, прокатанному на 17 комплектах чугунных валков.

Библиографический список

1. Полухин В.П., Полухин П.И., Николаев В.А. Составной рабочий инструмент прокатных станов. М.: Металлургия, 1977. 88 с.
2. Опыт производства и эксплуатации прокатных валков для сортовых и проволочных станов / Бабенко М.А., Белий Н.П., Дарда Ю.А. и др. // Труды шестого конгресса прокатчиков. Липецк, 2005. С. 499.
3. Составные прокатные валки: Монография / Белевский Л.С., Фиркович А.Ю., Судоргин И.В. и др.. Магнитогорск: МГТУ, 2004.
4. Левандовский С.А. Повышение результативности сортовых станов путем совершенствования модели управления качеством: Дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск: МГТУ, 2006.
5. Тулупов О.Н. Структурно-матричные модели для повышения эффективности процессов сортов прокатки: Монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 224 с.
6. Методы моделирования настройки сортопрокатных станов / С.А. Левандовский, А.Б. Моллер, О.Н. Тулупов, А.А. Зайцев // Труды междунар. науч.-техн. конф. 20–22 сентября 2005 г. СПб., 2005. С. 66–69.
7. Эксплуатация составных валков на проволочном стане Западно-сибирского металлургического комбината / А.И. Погорелов, М.В. Никиташев, Н.П. Калинин, Б.М. Чегодаев, В.В. Саломыкин // Бюл. "Черная металлургия". 2002. № 10. С. 32–33.

УДК 621.771.237:621.771.23.016

М.И. Румянцев, Г.А. Завалицин, И.Б. Сапожников, Д.Е. Борковой

ОЦЕНИВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДНОКАТАНОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛИ С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к росту производства холоднокатаного проката из низкоуглеродистой стали с содержанием углерода менее 0,02%, которая должна иметь повышенную штампуемость как без покрытия, так и с цинковым покрытием. Пониженные прочностные свойства горячекатаного проката из подобных сталей в некоторой степени облегчают задачу получения холоднокатаной полосы с высокой планшетностью, а также способствуют расширению возможностей производства горячекатаных листов и полос для замещения холоднокатаных. Ранее были выполнены исследования, в результате которых установлено, что для обеспечения свойств готового проката на

уровне $\sigma_T=240-290$ МПа, $\sigma_B=320-350$ МПа и $\delta_4=36-41\%$ на широкополосном стане горячей прокатки должны обеспечиваться температура конца прокатки 920–930 и температура смотки около 650°C, а также разработан режим охлаждения на отводящем рольганге [1–2].

Так как сталь с пониженным содержанием углерода обладает низким сопротивлением деформации, становится возможным увеличить толщину подката для производства холоднокатаной стали. Однако при этом эффект, заключающийся, например, в увеличении производительности ШСП, может быть нивелирован трудностями переработки металла в цехе холодной прокатки. Так, увеличение толщины подката приве-

дет к возрастанию вытяжки при холодной прокатке и соответственно длины полосы. При объективно существующих ограничениях на скорость холодной прокатки [3] следствием подобных изменений может стать увеличение машинного времени и снижение производительности стана холодной прокатки. Для оценивания изменений производительности в системе «ШСГП-РСХП» была найдена аппроксимация кривой упрочнения таких сталей при холодной прокатке и разработана методика расчета производительности процесса холодной прокатки на двухклетевом реверсивном стане [2], а также составлена программа для ЭВМ.

В основе программы лежит обобщенный алгоритм автоматизированного проектирования режимов прокатки [4], который предусматривает оценку комплекса ограничений и в том числе по энергосиловым параметрам. Для определения усилия прокатки используется модель, сконструированная ранее в работе [5]. С целью повышения точности прогноза крутящего момента исследовали прокатку на РСХП 1700 полос толщиной 0,5–0,9 мм из подката 2,0–2,2 мм. Во всех случаях применялась двукратная прокатка, т. е. производилось четыре обжатия. На основе полученных с применением датчиков АСУ ТП значений тока приводных двигателей, скорости и усилия прокатки по известной методике [6] рассчитали коэффициент плеча момента ψ . Установили, что первый и третий проходы производятся в условиях, когда переднее натяжение Q_1 больше заднего Q_0 , а для второго и четвертого $Q_1 < Q_0$. Поэтому для первого и третьего прохода коэффициенты плеча ($\psi=0,15-0,36$) в целом выше, чем во втором и четвертом ($\psi=0,12-0,25$). В качестве наиболее информативных факторов зависимости для расчета ψ проявились (рис. 1) показатель высоты очага деформации $m_{снл} = l_{снл} / h_{ср}$ (где $l_{снл}$ – длина очага деформации с учетом сплющивания вала; $h_{ср}$ – средняя толщина полосы) и отношение радиуса рабочего вала R к толщине переднего конца полосы h_1 (показатель R/h_1). Наилучшим отображением влияния указанных факторов на коэффициент плеча является зависимость

$$\psi = 0,041m_{снл} + 97,42h_1/R - 0,68, \quad (1)$$

для которой показатель достоверности аппроксимации $R^2=0,765$; расчетное число Фишера $F_p=16,287$; табличное значение числа Фишера при доверительной вероятности 95% $F_{95}=3,422$.

Исходя из технических особенностей агрегатов, выполняющих в дальнейшем углубленную переработку холоднокатаных полос, при исследовании производительности РСХП 1700 массу рулона приняли постоянной ($G=20$ т), что при вариации его ширины b от 1000 до 1250 мм обусловило относительную массу рулона G/b в пределах 15,7–19,5 т/м. Компьютерное моделирование прокатки полос толщиной $h_k=0,38$ –

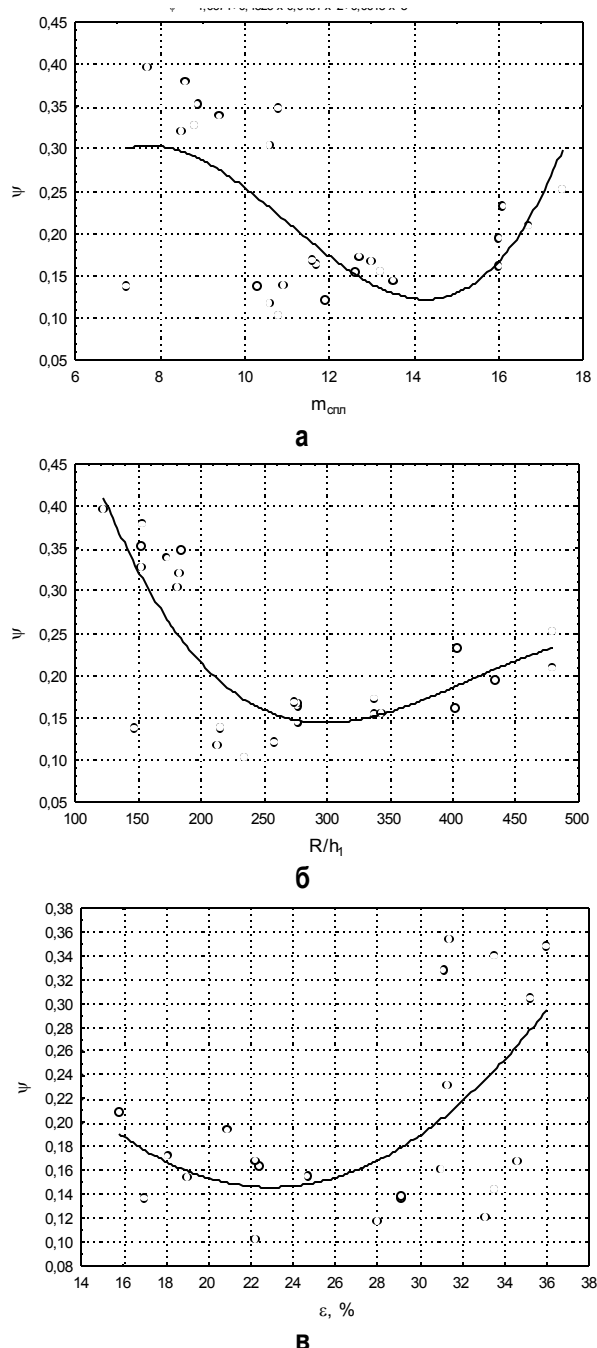


Рис. 1. Зависимость коэффициента плеча при холодной прокатке на двухклетевом реверсивном стане от различных факторов

1,2 мм из подката толщиной $h_{2к}=1,5-3,0$ мм показало, что во всех случаях скорость прокатки сталей с пониженным содержанием углерода во втором и четвертом проходах примерно постоянны (18,0–18,5 м/с во втором и 19–21,5 в четвертом). В таких условиях наиболее значимыми факторами производительности РСХП оказались G/b , h_k и суммарная вытяжка $\lambda_{\Sigma} = h_{2к}/h_k$ (рис. 2). Их совместное влияние может быть отобразено следующей статистически надежной линейной множественной аппроксимацией:

$$P_{PCXII} = 69,5 - 0,34\lambda_{\Sigma} + 108,8h_k - 1,75G/b \quad (2)$$

$$(R^2 = 0,964; F_p = 71,493; F_{95} = 3,587).$$

Результаты моделирования также показали, что при прокатке на РСХП 1700 полос из сталей с пониженным содержанием углерода максимальная допустимая по энергосиловым параметрам суммарная вытяжка выражается зависимостью

$$[\lambda_{\Sigma}] = 10,228 - 2,491h_k - 6,657b/L_p \quad (3)$$

$$(R^2 = 0,686; F_p = 13,136; F_{95} = 3,587),$$

где L_p – длина бочки опорного вала реверсивного стана.

Производительность широкополосного стана горячей прокатки (ШСГП 2000) исследовали с применением ранее разработанной программы автоматизированного проектирования [7] при вариации ширины полос от 1000 до 1650 мм, что обусловило диапазон удельной массы рулонов в пределах от 17,7 до 23,6 т/м. Установили, что указанные выше рациональные температуры конца прокатки полос из сталей с пониженным содержанием углерода достигаются при запра-

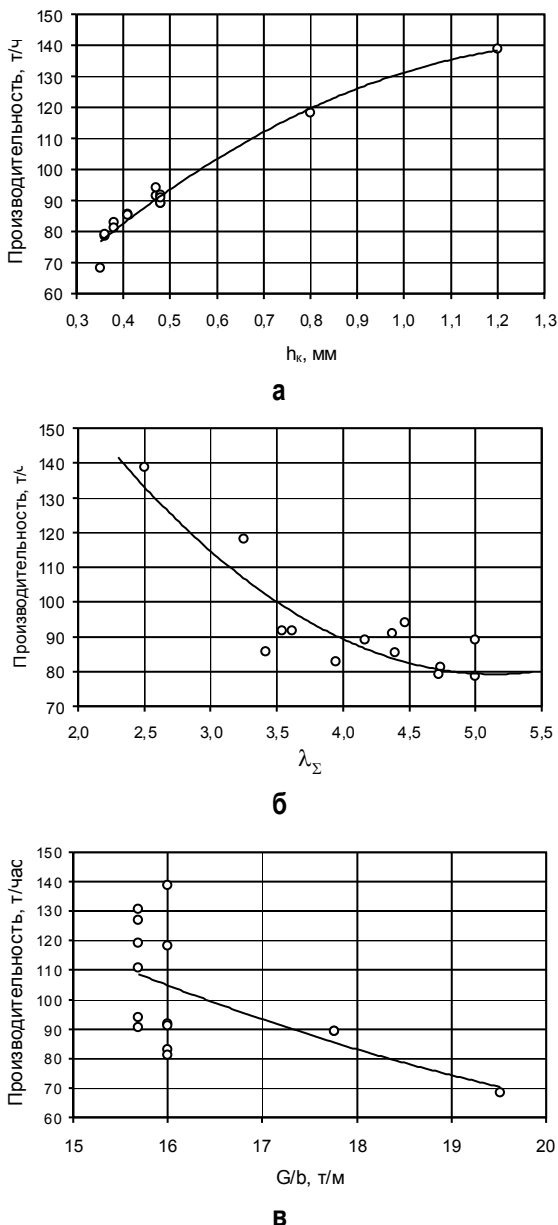


Рис. 2. Зависимость часовой производительности РСХП 1700 от конечной толщины полосы (а), суммарной вытяжки (б) и относительной массы рулонов (в)

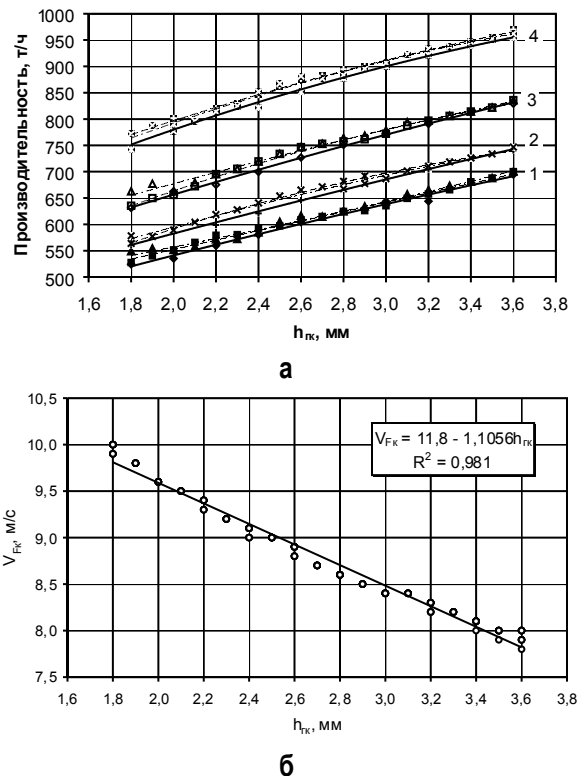


Рис. 3. Влияние толщины прокатываемых полос из стали с пониженным содержанием углерода на производительность ШСГП 2000 (а) и скорость прокатки в последней чистовой клетке (б): 1...4 – при относительной массе рулонов 23,6; 21,6; 18,7 и 17,7 т/м соответственно

Рациональная толщина подката для холоднокатаной основы проката толщиной 0,38–0,48 мм с полимерным покрытием

Размеры холоднокатаной полосы, мм		Сталь 08пс			Сталь с пониженным содержанием углерода		
		$h_{зк}$, мм	Производительность, т/ч		$h_{зк}$, мм	Производительность, т/ч	
Ширина	Толщина		ШСГП 2000	РСХП 1700		ШСГП 2000	РСХП 1700
1126	0,48	2,0	548	89,2	2,4	617	89,2
1250	0,48	1,7	544	91,7	2,1	627	91,0
1275	0,41	1,4	485	85,6	1,8	577	85,4
1250	0,38	1,5	499	82,9	1,8	566	81,3
1275	0,36	1,3	460	78,6	1,7	555	79,2
1275	0,47	1,7	555	91,6	2,1	639	94

вочной скорости в последней чистовой клети ШСГП 2000 ($V_{0Fк}$) в пределах 7,8–10 м/с, а допустимый температурный клин по их длине обеспечивается ускорением 0,025–0,035 м/с². Причем наблюдается (рис. 3, б) следующая зависимость необходимой величины заправочной скорости от толщины полосы:

$$V_{0Fк} = 11,8 - 1,1056h_{зк} \quad (4)$$

С увеличением толщины прокатываемых полос производительность возрастает, но при увеличении удельной массы рулона снижается (рис. 3, а). Последнее обстоятельство вызвано тем, что при постоянной массе рулона увеличение фактора G/b сопровождается применением более узких, а значит, более длинных слябов и тем самым увеличением машинного времени прокатки в чистовой группе. С учетом указанных особенностей производительность ШСГП при прокатке полос из сталей с пониженным содержанием углерода может быть отображена следующей множественной линейной аппроксимацией:

$$P_{ШСГП} = 1024,9 + 100,78h_{зк} - 29,29G/b \quad (5)$$

$(R^2 = 0,991; F_p = 9802,64; F_{95} = 3,044).$

Так как применение подката большей толщины приведет к увеличению суммарной степени деформации при холодной прокатке, что в дальнейшем скажется на комплексе свойств готовой продукции, оценили влияние степени деформации при холодной прокатке на σ_T , σ_B и δ_4 отожженных и дрессированных полос. Были получены следующие регрессионные зависимости:

$$\sigma_T = 1852,9Mn - 18,9\lambda_\Sigma - 136,8 \quad (6)$$

$$(R^2 = 0,788; F_p = 50,323; F_{95} = 3,354);$$

$$\delta_4 = 187,65C - 2,72\lambda_\Sigma + 47,88 \quad (7)$$

$$(R^2 = 0,687; F_p = 29,732; F_{95} = 3,354);$$

$$\sigma_B = 301,14 - 756,26C - 0,16\delta_4 \quad (8)$$

$$(R^2 = 0,407; F_p = 19,697; F_{95} = 3,354),$$

где C и Mn – содержание углерода и марганца в стали, %.

Для выбора максимальной возможной толщины подката из сталей с пониженным содержанием углерода необходимо рассматривать задачу максимизации производительности технологической системы «ШСГП-РСХП» ($P_\Sigma = P_{ШСГП} + P_{РСХП} \rightarrow \max$). При этом оптимизируемым параметром целесообразно принять именно толщину горячекатаной полосы $h_{зк}$, а ограничения – свойства готового проката, отображаемые зависимостями (6)–(8), и максимально допустимую суммарную вытяжку при холодной прокатке (3). Например, поиск решения задачи в указанной постановке с целью выбора толщины подката для производства холоднокатаной основы толщиной 0,36–0,48 мм проката с полимерным покрытием показал, что при использовании вместо стали 08пс стали с пониженным содержанием углерода допустимо увеличить толщину подката на 0,3–0,4 мм. При этом производительность РСХП 1700 фактически не изменится, а производительность ШСГП 2000 возрастет с 460–555 до 555–639 т/ч (см. таблицу).

С применением компьютерного моделирования горячей прокатки на ШСГП и холодной прокатки на двухклетевом реверсивном стане, а также результатов исследования влияния суммарной степени деформации при холодной прокатке на свойства проката из сталей с пониженным содержанием углерода получена система линейных уравнений, позволяющих решать задачу максимизации производительности технологической системы «ШСГП-РСХП» за счет увеличения толщины горячекатаного подката. В результате решения данной задачи установлено, например, что при использовании стали с пониженным содержанием углерода толщина подката для производства холоднокатаной основы толщиной 0,36–0,48 мм проката с полимерным покрытием может быть увеличена на 0,4 мм. В результате при неизменной производительности РСХП производительность ШСГП возрастет на 15–20%.

Библиографический список

1. Салганик В.М., Румянцев М.И., Завалицин Г.А. Выбор режимов охлаждения на отводящем рольганге ШСГП для сталей с различным содержанием углерода // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. С. 70–76.
 2. Румянцев М.И., Завалицин Г.А., Орлов Н.Б. Моделирование элементов производства листовой стали с пониженным содержанием углерода для повышения служебных свойств продукции и результативности технологии // Вестн. МГТУ. 2007. № 1. С. 60–63.
 3. Выбор первого приближения скоростного режима при автоматизированном проектировании непрерывной холодной прокатки / Салганик В.М., Медведев Г.А., Румянцев М.И. и др. // Труды четвертого конгресса прокатчиков. М.: АО «Черметинформация», 2002. С. 163–171.
 4. Румянцев М.И., Омельченко Б.Я. Обобщенный алгоритм автоматизированного проектирования режимов прокатки // Теория и технология процессов пластической деформации: Труды Всерос. науч.-техн. конференции, 8–10 октября 1996 г. М.: МИСиС, 1997.
 5. Салганик В.М., Виер И.В., Румянцев М.И. Опыт конструирования математической модели для расчета усилия холодной прокатки // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2005. С. 52–59.
 6. Рокотян Е.С., Рокотян С.Е. Энергосиловые параметры обжимных и листовых станов. М.: Металлургия, 1968. 272 с.
 7. Румянцев М.И., Зарецкий М.В., Кротова О.Н. Современная реализация алгоритма автоматизированного проектирования режимов горячей листовой прокатки // Новые программные средства для предприятий Урала: Сб. тр. Регион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: МГТУ, 2003.
-