

Румянцев М.И., Завалищин А.Н., Долганов А.Н., Ахмадиев К.Р.

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ НА ДВУХКЛЕТЕВОМ РЕВЕРСИВНОМ СТАНЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОЙ ПРОДУКЦИИ

Аннотация. В современных цехах для производства холоднокатаной листовой стали в количестве до 500-900 тыс. т/год применяются двухклетевые реверсивные станы (ССМ). На подобных станах, как и на двухклетевых, четырехклетевых и шестиклетевых непрерывных станах (ТСМ) металл может быть обжат два, четыре или шесть раз. Сравнение прокатки на четырехклетевом непрерывном стане и на двухклетевом реверсивном за четыре прохода показало, что для технологии стана ССМ, в отличие от технологии стана ТСМ, характерно применение максимальных обжатий в первом проходе, а удельные натяжения в целом ниже, чем на четырехклетевом непрерывном. В первых двух (прямых) проходах на стане ССМ скорость прокатки задается по второй клетке и не превышает 70% от максимальной допустимой по технической характеристике стана, а в последних двух (обратных) проходах - по первой клетке и, как правило, не превышает 90% от максимальной возможной. При этом скорость второй клетки при прямой прокатке и скорость первой клетки при обратной прокатке могут не соответствовать условию постоянства секундного объема. Как и на стане ТСМ, проявляется тенденция к уменьшению скорости прокатки при увеличении толщины и ширины полос.

С применением множественного нелинейного регрессионного анализа с доверительной вероятностью 95% получены статистически надежные зависимости для выбора частных обжатий, удельных натяжений и скорости прокатки при проектировании ресурсоэффективных технологических стратегий производства конкурентоспособного проката с применением двухклетевых реверсивных станов.

Ключевые слова: процесс холодной прокатки, непрерывный стан холодной прокатки, двухклетевой реверсивный стан холодной прокатки, обжатие, удельное натяжение, скорость прокатки

Введение

В конце 90-х годов XX века как экономически эффективное решение для производства холоднокатаной листовой стали в количестве до 500-900 тыс. т/год появились двухклетевые реверсивные станы, которые получили специфическое обозначение ССМ (Compact Cold Mill) [1-3]. В основном по составу оборудования стан ССМ аналогичен одноклетевому реверсивному. Основные отличия – две рабочие клетки и отводящие транспортеры у каждой реверсивной моталки. Таким образом, на подобном стане могут быть реализованы, по крайней мере, три стратегии прокатки: двукратная (рис. 1, б), четырехкратная (рис. 1, в) и шестикратная (рис. 1, г), что по количеству обжатий соответствует случаям прокатки на двухклетевом, четырехклетевом и шестиклетевом непрерывных станах (ТСМ – Tandem Cold Mill).

Однако соответствие числа проходов на стане ССМ числу проходов на стане ТСМ может не означать подобия технологических режимов [4-7]. Поэтому выявление особенностей и уточнение закономерностей режимов прокатки на двухклетевых реверсивных станах является важной задачей для развития инжиниринга технологических стратегий производства конкурентоспособного проката.

Исследование проводили сравнением режимов четырехкратной прокатки на двухклетевом реверсивном стане 1750 и четырехклетевом непрерывном стане 2500 (основные характеристики станов представлены в табл. 1).

Параметры прокатки определяли по показаниям датчиков АСУ ТП и приборов КИП. Однородность

выборки проверяли и обеспечивали методом максимального абсолютного отклонения. Особенности обжатий, натяжений и скоростей прокатки отображали нелинейным множественным регрессионным анализом в программе STATISTICA с применением инструментов Response Surface Regressions и Nonlinear Estimation из модуля Advanced Models. Аппроксимации считали достоверными и статистически надежными, если при доверительной вероятности 95% выполнялось условие $F_p > F_{95}$ (здесь F_p и F_{95} – расчетное и табличное числа Фишера). Из нескольких достоверных вариантов выбирали такой, которому соответствует наибольшее расчетное число Фишера F_p .

Особенности режимов обжатий

На стане холодной прокатки распределение частных обжатий по клетям (проходам) обусловлено необходимостью получения удовлетворительной плоскостности, минимальной поперечной и продольной разнотолщинности, предотвращения пробуксовки рабочих валков и обрывов полосы в последних межклетевых промежутках, обеспечения допустимой по условиям термической стойкости смазки температуры металла, а также возможностями оборудования стана [7-10]. И на непрерывном (рис. 2, а), и на двухклетевом реверсивном стане (рис. 2, б) частные обжатия при прокатке относительно узких полос (то есть в случае, когда отношение ширины полосы b к длине контакта рабочего и опорного валков L_{po} $\beta_L = b/L_{po} < 0,64$) несколько выше, чем при прокатке относительно широких полос ($\beta_L = b/L_{po} > 0,64$). Однако распределения частных обжатий по проходам имеют видимые отличия.

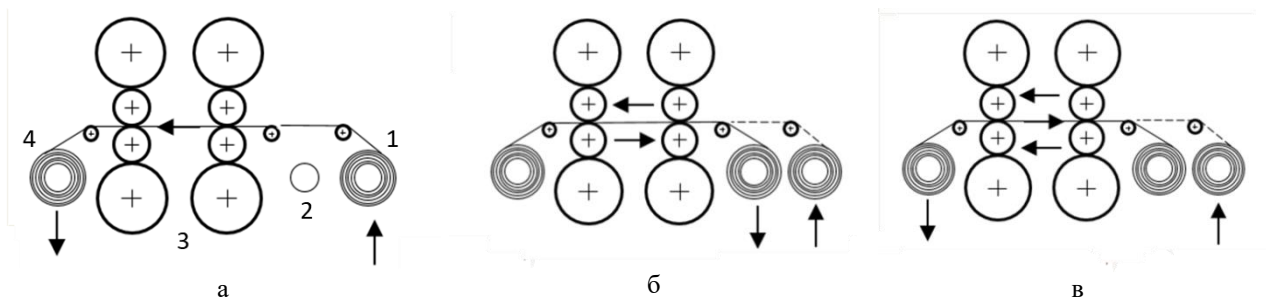


Рис. 1. Стратегии прокатки на стане ССМ:
1 – разматыватель; 2 и 4 – реверсивные моталки № 2 и 1; 3 – рабочие клетки

Таблица 1

Основные характеристики двухклетового реверсивного и четырехклетового непрерывного станом холодной прокатки

Стан	ССМ 1750	ТСМ 2500
Число клеток	2	4
Ширина прокатываемого металла, мм	1000–1650	1050–2350
Толщина готовой полосы, мм	0,35–3,0	0,6–2,5
Толщина подката, мм	1,5–5,0	2,0–5,0
Максимальная масса рулона, т	30	30
Тип клетки	Кварто CVC	Кварто
Диаметр бочки валка (рабочий / опорный), мм	450/1250	500/1500
Длина бочки валка (рабочий/опорный), мм	1950/1750	2500/2400
Максимальная скорость прокатки, м/с	22,5	21,0
Максимальное усилие прокатки, МН	22	35
Максимальный крутящий момент, кН·м	132	350
Мощность привода разматывателя, кВт	1040	400
Мощность привода клетки, кВт	6000	5600
Мощность привода моталки, кВт	3550	

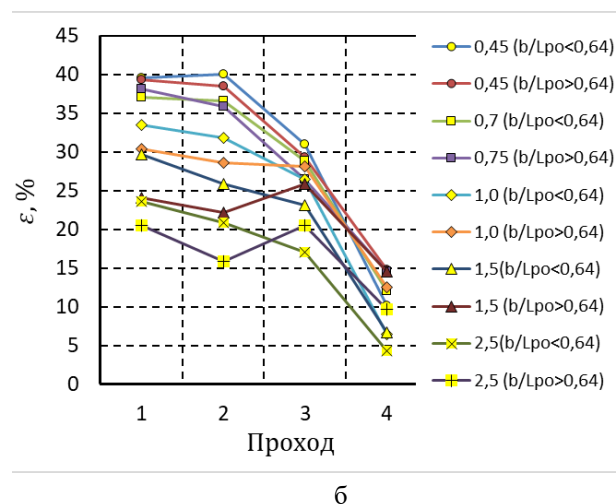
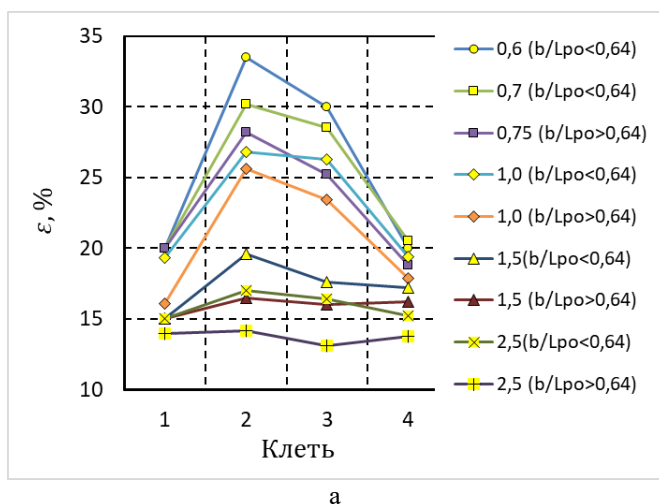


Рис. 2. Примеры распределения частных обжатий по клетям четырехклетового непрерывного (а) и двухклетового реверсивного (б) станом

На непрерывном стане первый проход выполняется с обжатием $\varepsilon_1 = 15-20\%$. В дальнейшем при прокатке на конечную толщину менее 1,5 мм обжатия достигают максимума во втором проходе ($\varepsilon_2 = 25-35\%$) и затем монотонно снижаются до 17-20% в последнем, четвертом проходе. Прокатка на толщину более 1,5 мм производится практически при равномерном распределении обжатий.

При прокатке на стане ССМ за два пропуска (четыре прохода) наибольшие обжатия наблюдаются, как правило, в первом проходе и, в зависимости от конечной толщины, могут находиться в пределах 20-40%. В дальнейшем обжатия, как правило, монотонно снижаются до 5-15% в последнем проходе.

Наилучшее отображение особенностей режима обжатий на стане ССМ получено при использовании в качестве характеристики деформации абсолютного обжатия:

$$\Delta h_i = c_{0i} + c_{1i} \frac{D_i}{h_{0i}} + c_{2i} \left(\frac{D_i}{h_{0i}} \right)^2 + c_{3i} \frac{h_{0i}}{b} 10^3 + c_{4i} \left(\frac{h_{0i}}{b} 10^3 \right)^2 + c_{5i} \left(\frac{D_i}{h_{0i}} \right) \left(\frac{h_{0i}}{b} 10^3 \right), \quad (1)$$

где i – номер прохода;; $\Delta h_i = h_{0i} - h_{1i}$ – абсолютное обжатие; h_{0i} и h_{1i} – толщина полосы до и после прохода; D_i – диаметр бочки рабочего вала в i -м проходе; b – ширина прокатываемой полосы. Все размеры должны быть выражены в миллиметрах. Значения эмпирических коэффициентов представлены в табл. 2.

Аппроксимация (1) с коэффициентами, указанными в табл. 2, является статистически надежным отображением распределения обжатий с доверительной вероятностью 95% (рассчитанные числа Фишера F_p больше табличных значений F_{95} , которые для рассматриваемых уравнений находятся в пределах от 2,728 до 3,119). Сравнение результатов прогнозирования толщин полосы с фактическими значениями по проходам показало степень соответствия модели 95,7% (рис. 3). Действенность составляет 80,8% при допустимой погрешности 10% и 86,7% при погрешности 20% [11].

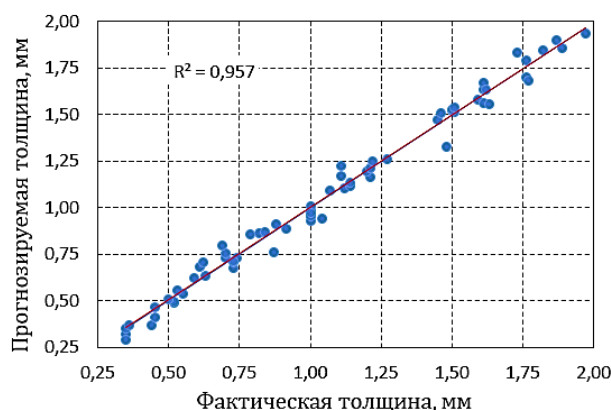


Рис. 3. Диаграмма соответствия прогнозируемых и фактических толщин полосы при прокатке на стане ССМ за 2 пропуска (4 прохода)

Особенности натяжения

Натяжение является стабилизирующим фактором прокатки, но на каждом участке стана должно иметь рациональное значение [12], так как в противном случае возможны нарушения стабильности процесса [13]. Сравнивали средние удельные натяжения полосы при разматывании ($q_{разм}$), на выходе из клеток (q_{1i}) в проходах 1-3 и при сматывании в рулон после последнего прохода ($q_{см}$). Выборочные оценки указанных параметров (минимальное x_{min} , максимальное x_{max} и среднее выборочное \bar{x} значения; среднее квадратическое отклонение s и объемы выборок n) указаны в табл. 2. Использовали инструмент «Двухвыборочный t-тест с различными дисперсиями» из надстройки «Анализ данных» пакета MS Excel. В качестве нулевой гипотезы принимали равенство средних значений сравниваемых выборок $H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$. Критические значения распределения Стьюдента (одностороннее t_α и двустороннее $t_{\alpha/2}$) находили при доверительной вероятности 95%, что соответствует уровню значимости $\alpha = 0,05$. Результаты сравнения также приведены в табл. 3.

Таблица 2

Коэффициенты и оценки достоверности модели для выбора частных обжатий при прокатке на двухклетевом реверсивном стане

i	Коэффициенты аппроксимаций						Оценки достоверности	
	c_{0i}	c_{1i}	c_{2i}	c_{3i}	c_{4i}	c_{5i}	R^2	F_p
1	0,934	0	$-3,986 \cdot 10^{-6}$	0,070	0	0	0,953	143,837
2	0,592	0	$-9,549 \cdot 10^{-7}$	0,057	0	0	0,956	43,378
3	0,976	-0,002	$9,453 \cdot 10^{-7}$	0	0	$-3,762 \cdot 10^{-4}$	0,883	32,809
4	0,408	$-3,217 \cdot 10^{-4}$	$1,773 \cdot 10^{-7}$	0	0	$-4,459 \cdot 10^{-4}$	0,798	7,591

Выборочные характеристики и оценки различия удельных натяжений при прокатке на четырехклетевом непрерывном и на двухклетевом реверсивном станах

Характеристики	Размотка		Переднее в проходе						Смотка в рулон	
	ТСМ	ССМ	1		2		3		ТСМ	ССМ
n	42	75	73	75	73	75	73	75	43	75
x_{min} , МПа	7,2	7,0	69,4	44,4	80,4	19,2	69,4	54,7	21,4	21,4
x_{max} , МПа	19,0	19,0	154,4	100,5	154,4	73,6	145,9	110,5	43,67	43,7
\bar{x} , МПа	11,8	8,3	101,6	70,5	111,6	36,5	89,1	86,1	31,2	25,6
s , МПа	3,4	0,6	13,0	16,8	16,5	14,9	13,2	16,1	4,0	5,6
$ t $	6,526		12,641		28,966		1,226		6,252	
$t_{\alpha/2}$	1,681		1,655		1,655		1,656		1,658	
t_{α}	2,016		1,977		1,976		1,976		1,981	

В целом натяжения при прокатке на двухклетевом реверсивном стане меньше, чем на четырехклетевом непрерывном. Во всех случаях кроме прокатки в предпоследнем проходе (перед смоткой в рулон) выполняются условия $|t| > t_{\alpha}$ и $|t| > t_{\alpha/2}$. Это означает, что различия натяжений на соответствующих участках непрерывного и двухклетевого реверсивного станов безусловно существенные. Для третьего прохода (перед клетью, после которой готовая полоса сматывается в рулон) различия переднего натяжения не существенные, так как $|t| < t_{\alpha}$ и $|t| < t_{\alpha/2}$.

При анализе прокатки 75 полос различных размеров проявилось влияние на величину натяжения

отношения диаметра валков к толщине D/h и отношения толщины к ширине h/b . С увеличением D/h удельное натяжение возрастает (рис. 4, а), что при вариации диаметра в пределах 400-450 мм указывает на применение более высоких удельных натяжений при прокатке полос меньшей толщины. С увеличением h/b удельные натяжения, наоборот, снижаются (рис. 4, б), что при постоянстве толщины означает применение меньших натяжений при прокатке более широких полос. Наиболее заметно указанные тенденции проявляются для натяжений в межклетевом промежутке и при выходе на реверсивную моталку. При размотке подката и при смотке в рулон готовой полосы вариация натяжений значительно меньше.

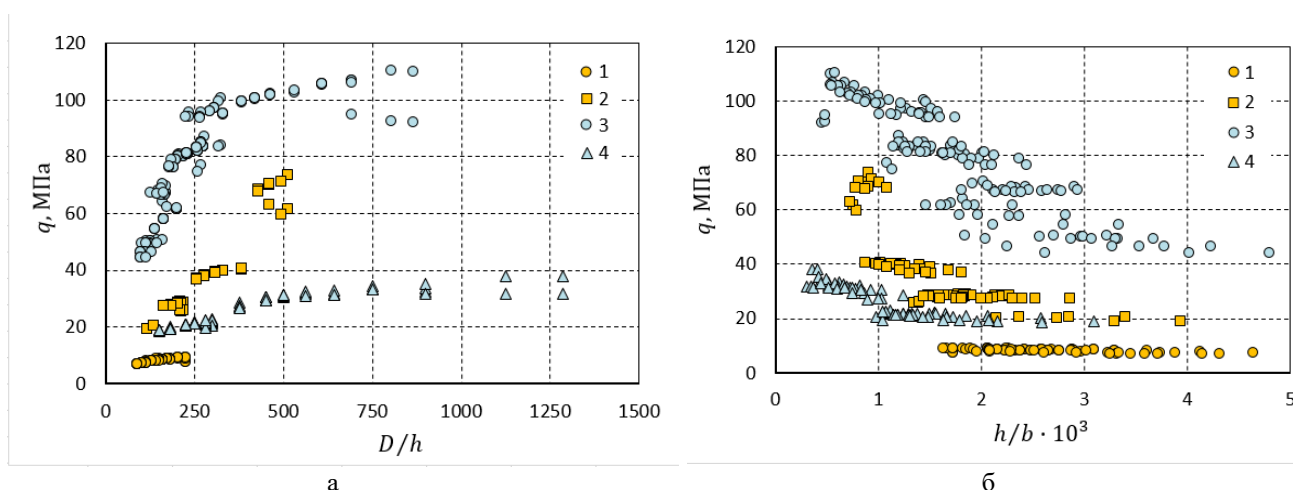


Рис. 4. Особенности вариации натяжения при прокатке на двухклетевом реверсивном стане: 1 – при размотке ($q_{разм}$); 2 – при смотке после второго прохода на реверсивную моталку (q_{12}); 3 – в межклетевом промежутке (q_{11} и q_{13}); 4 – при смотке готовой полосы ($q_{см}$)

Наилучшее отображение особенностей режима натяжений на стане ССМ получили при использовании зависимости

$$q = c_0 \left[c_1 + c_2 \left(\frac{D}{h} \right)^{c_3} \right] \cdot \left(\frac{h}{b} 10^3 \right)^{c_4}, \quad (2)$$

где $h = H_0$ – при выборе натяжения разматывателя и $h = h_{1i}$ во всех остальных случаях. Значения коэффициентов представлены в табл. 4. Все размеры должны быть выражены в миллиметрах.

Аппроксимация (2) с коэффициентами, указанными в табл. 4, является статистически надежным отображением особенностей режима натяжений на двухклетевом реверсивном стане с доверительной вероятностью 95% (рассчитанные числа Фишера F_p больше табличных значений F_{95}). Сравнение результатов прогнозирования натяжения полосы с фактическими показало степень соответствия модели 89,7%

(рис. 5). Действенность модели составляет 81,6 % при допустимой погрешности 10 % и 91,2 % – при погрешности 20%.

Особенности скоростного режима

Скорость прокатки – существенный фактор производительности стана и технологической системы, элементом которой он является, и поэтому адекватная модель скоростного режима обеспечит высокую точность нормативной модели производительности листопрокатного цеха [14]. На стане ССМ в первых двух (прямых) проходах скоростной режим задается по второй клетки, а в последних двух (обратных) – по первой клетки. Статистическая обработка результатов, представленных в рапортах о прокатке 2875 полос, показала, что в первом случае скорость прокатки может варьироваться от 13 до 15 м/с, но преимущественно поддерживается в пределах 14-15 м/с (рис. 5, а). Во втором случае при вариации скорости в пределах 15–20,3 м/с прокатка происходит преимущественно со скоростью 17,3–19,1 м/с (рис. 5, б).

Таблица 4

Коэффициенты и оценки достоверности модели для выбора средних удельных натяжений при прокатке на двухклетевом реверсивном стане

Стадии процесса в соответствии с рис. 4	Коэффициенты аппроксимаций					Оценки достоверности		
	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	R^2	F_p	F_{95}
1	68,231	-9,040	9,005	0,003	0,023	0,856	437,907	2,734
2	0,007	1064,199	3,175	1,280	0,072	0,954	1527,783	
3	939,752	-6,972	6,777	0,007	0,244	0,935	1059,667	
4	12,940	-12,304	9,553	0,068	0,112	0,948	1343,000	

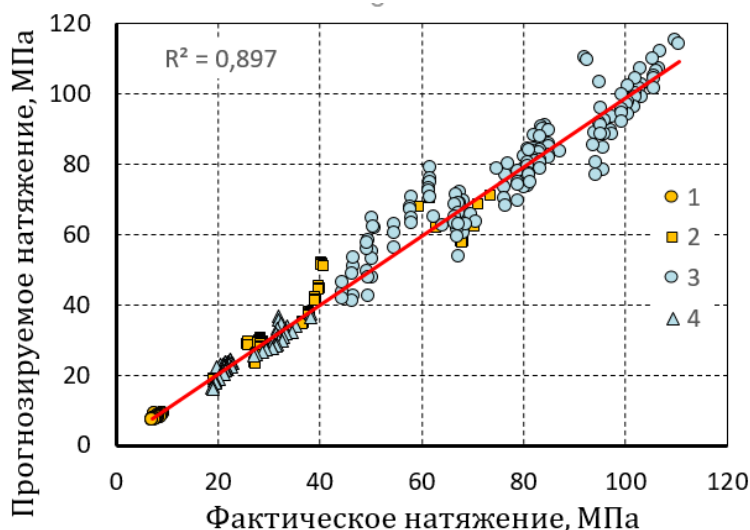


Рис. 5. Диаграмма соответствия прогнозируемых и фактических натяжений при прокатке на стане ССМ (1, 2, 3 и 4 – так же, как на рис. 4)

Анализ выборки для 75 полос толщиной 0,36-1,98 мм и шириной 1020–1530 мм показал существенное влияние на скорость прокатки в ведущих клетях отношения толщины выходящей полосы к ширине h_1/b (рис. 6, а) и отношения длины полосы на выходе из ведущей клетки к длине окружности бочки рабочего вала l/L_D (рис. 7, б). Высокие скорости наблюдаются при прокатке более узких и более длинных полос.

Как и в работе [15], при построении модели для прогнозирования скорости прокатки применили отношение фактической скорости v к максимальной допустимой по технической характеристике стана $[v]_{\max}$. Наилучшим отображением отмеченных выше особенностей вариации скорости оказалась зависимость

$$\frac{v}{[v]_{\max}} = c_0 \left(\frac{l}{L_D} \right)^{c_1} \left(\frac{h_1}{b} 10^3 \right)^{c_2}, \quad (3)$$

где длина полосы на выходе из ведущей клетки l и длина окружности бочки рабочего вала этой клетки L_D должны быть выражены в метрах; ширина b и толщина полосы на выходе из клетки h_1 должны быть выражены в миллиметрах. Значения коэффициентов представлены в табл. 5.

Аппроксимация (3) с коэффициентами, указанными в табл. 5, является статистически надежным отображением особенностей скорости прокатки на стане ССМ с доверительной вероятностью 95% (рассчитанные числа Фишера F_p больше табличного значения $F_{95}=3,003$). Сравнение результатов прогнозирования скорости с фактическими показало степень соответствия модели 84,5% (рис. 8). Действительность составляет 76,9% при допустимой погрешности 10% и 85,9% – при погрешности не более 20%.

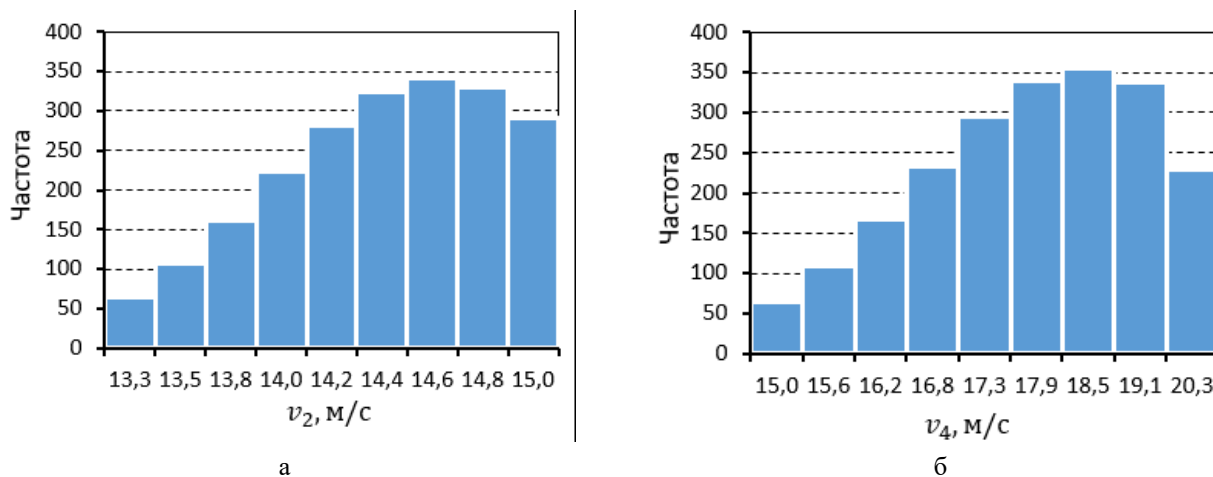


Рис. 6. Вариация скорости при прокатке на двухклетевом реверсивном стане во втором (а) и четвертом (б) проходах

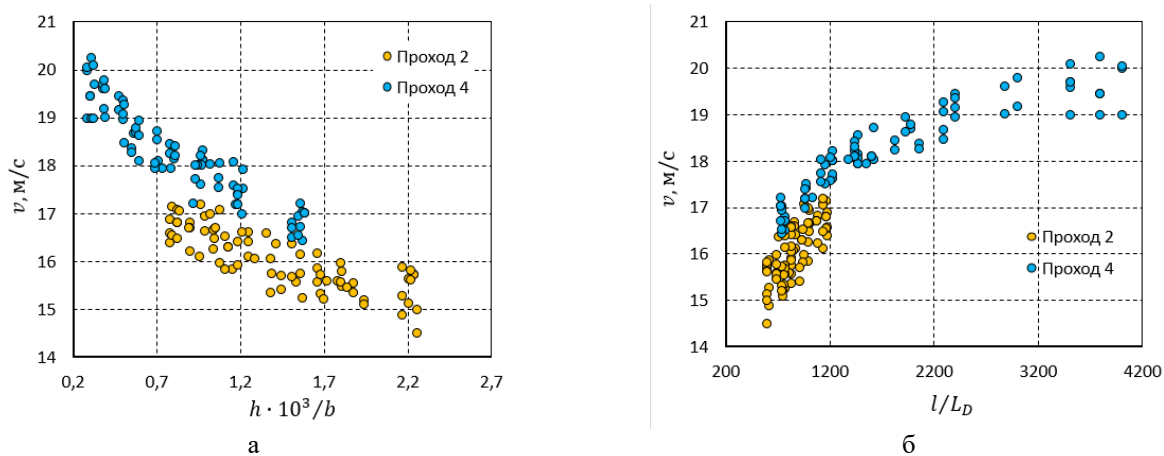


Рис. 7. Особенности вариации скорости при прокатке на двухклетевом реверсивном стане во втором (а) и четвертом (б) проходах

Коэффициенты и оценки достоверности модели скорости прокатки на стане ССМ

Проход	Коэффициенты аппроксимаций			Оценки достоверности	
	c_0	c_1	c_2	R^2	F_p
2	0,402	0,070	-0,066	0,948	10705,9
4	0,338	0,102	-0,065	0,930	7801,9

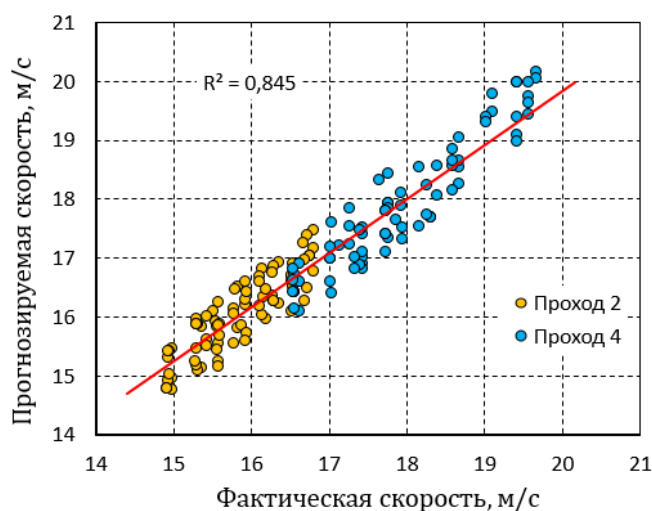


Рис. 8. Диаграмма соответствия прогнозируемых и фактических скоростей прокатки

Заключение

Сравнением параметров холодной прокатки на четырехклетевом непрерывном стане и на двухклетевом реверсивном за четыре прохода установлены значимые различия режимов обжатий и натяжений, а также особенности скоростного режима прокатки. С применением множественного нелинейного регрессионного анализа при доверительной вероятности 95% получены достоверные и статистически надежные зависимости для выбора частных обжатий, удельных натяжений и скорости прокатки при проектировании ресурсоэффективных технологических стратегий производства конкурентоспособного проката с применением двухклетевых реверсивных станов. С учетом выявленных особенностей технологии двухклетевых реверсивных станов, а также с применением полученных зависимостей могут успешно решаться задачи построения моделей сквозной технологии производства стального проката [16] и управления качеством продукции листопрокатного цеха в потоке производства [17].

Список источников

1. The compact cold mill (CCM). Steel Times Int. 1997. Vol. 21. No. 2, P. 38.
2. Создание и освоение двухклетевых реверсивных станов холодной прокатки / В.Ф. Рашников, Р.С.

3. Тахтаутдинов, А.И. Антипенко [и др.] // Сталь. 2003. № 7. С. 41-45.
3. Chen Q. Concept, design and operational results of the Compact Cold Mill at Jinan Iron Et Steel // Stahl und Eisen. 2007/02/15. P. 53-58.
4. Современные концепции управления двухклетевым реверсивным станом холодной прокатки / Бондяев, И.И., Дюмлер А., Польстер Р. [и др.] // Сталь. 2004. № 5. С. 70–72.
5. Василев Я.Д., Самокиш Д.Н., Замогильный Р.А. Разработка энергосберегающих режимов деформации на новом двухклетевом реверсивном стане холодной прокатки 1700 для комбината «Запорожсталь» // Металл и литье Украины. 2013. № 7 (242). С. 8-13.
6. Liu, Guangming & Li, Yugui & Huang, Qingxue & Yang, Xia & Liu, Aimin. Analysis of Startup Process and Its Optimization for a Two-Stand Reversible Cold Rolling Mill. Advances in Materials Science and Engineering. 2017. 1-10. 10.1155/2017/8715340.
7. Василев Я.Д., Замогильный Р.А. Особенности технологии холодной полосовой прокатки и разработка методики расчета режимов деформации на двухклетевых реверсивных станах // Металл и литье Украины. 2018. № 5-6 (300-301). С. 10-17.
8. Максимов Е.А., Шаталов Р.Л., Босхамджиев Н.Ш. Производство планшетных полос при прокатке. М.: Теплотехник, 2008. 336 с.

9. Kozhevnikov A., Kozhevnikova I., Bolobanova N. Development of the model of cold rolling process in dynamic conditions // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2018. Vol. 53. No. 2. Pp. 366-372.
10. Shatalov, R.L., Kulikov, M.A. Influence of Outer Parts of a Strip on the Deformation and Force Parameters of Thin-Sheet Rolling // Metallurgist. 2020. 64 (7-8). Pp. 687-698.
11. Rumyantsev M.I., Tulupov O.N. Further developments in simulation of metal forming processes // CIS Iron and Steel Review. Vol. 16 (2018). Pp. 21-24.
12. Особенности натяжения полосы на различных участках стана холодной прокатки и их отображение в цифровом двойнике процесса / М.И. Румянцев, А.Н. Завалицин, А.Н. Колыбанов, К.Р. Ахмадиев // Теория и технология металлургического производства. 2022. №1(40). С. 19-24.
13. Пименов В.А. Исследование причин возникновения вибраций на непрерывном стане холодной прокатки // Черные металлы. 2022. № 3. С. 49-55. DOI 10.17580/chm.2022.03.09.
14. Обоснование нормативных моделей производительности листопрокатного цеха. Сообщение 1 / А.Р. Фастыковский, Н.В. Мартюшев, А.И. Мусатова [и др.] // Черные металлы. 2024. № 1. С. 9-16. DOI 10.17580/chm.2024.01.02.
15. Rumyantsev M.I. Generalized algorithm aided design modes of rolling and its application for developing technology of PLTCM 2000 // CIS Iron and Steel Review. 2014. Vol. 9. P. 40-44.
16. Полякова М.А., Лопатина Е.В., Ширяева Е.Н. Особенности разработки концептуальной модели сквозной технологии производства стального проката // Современные достижения университетских научных школ: сборник докладов национальной научной школы-конференции, Магнитогорск, 23–24 ноября 2023 года. Выпуск 8. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2023. С. 14–18.
17. Особенности управления качеством продукции листопрокатного цеха в потоке производства / А.И. Божков, Д.А. Ковалев, С.С. Дегтев, Р.И. Шульгин // Черные металлы. 2022. № 8. С. 22-26. DOI: 10.17580/chm.2022.08.04

Сведения об авторах

Румянцев Михаил Игоревич – профессор кафедры технологий обработки материалов, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: mikhail.rumyantsev54@bk.ru ORCID: 0000-0003-0608-0446

Завалицин Александр Николаевич – профессор кафедры литейных процессов и материаловедения, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: zaval1313@mail.ru

Долганов Андрей Николаевич – студент программы бакалавриата, группа зММб-16-2, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: dolganoff86@mail.ru

Ахмадиев Кирилл Радикович – студент программы магистратуры, группа ММИТм-22-1, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: kirill.ahmadiev97@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SPECIFIC FEATURES OF COLD ROLLING MODES ON A TWO-STAND REVERSING MILL OF COMPETITIVE PRODUCTS

Rumyantsev Mikhail I. – Professor of the Department of Material processing, Doctor of Technical Sciences, Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: mikhail.rumyantsev54@bk.ru

Zavalishchin Aleksandr N. – Professor of the Department of Foundry Processes and Materials Science, Doctor of Technical Sciences, Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: zaval1313@mail.ru

Dolganov Andrey N. – Undergraduate student, group зММб-16-2, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: dolganoff86@mail.ru

Akhmadiev Kirill R. – Graduate student of the Department of Material processing, group ММИТМ-22-1, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: kirill.ahmadiev97@gmail.com

Abstract. *In modern metallurgical industry, two-stand reversing cold rolling mills (“CCM”) are used for the production of cold-rolled sheet steel in quantities of up to 500-900 thousand tons per year. On such mills, as on two-stand, four-stand and six-stand continuous mills (“TCM”), the metal may be deformed two, four or six times. A comparison of rolling in a four-stand continuous mill and a two-stand reversing mill in four passes shows that the CCM technology, unlike the TCM technology, is characterized by the use of maximum reduction in the first pass, and specific tension is generally lower than in the four-stand continuous mill. In the first two (forward) passes of the CCM mill, the rolling speed is set on the second stand and does not exceed 70% of the maximum permissible according to the technical characteristics of the mill, and in the last two (reverse) passes - on the first stand and, as a rule, does not exceed 90% of the maximum possible. At the same time, the speed of the second stand in direct rolling and the speed of the first stand in reverse rolling may not meet the condition of second volume constancy. As in the TCM mill, there is a tendency to decrease the rolling speed with increasing strip thickness and width.*

With the application of multiple regression analysis at a confidence level of 95%, statistically reliable dependencies were obtained for the selection of private compression, specific tension and speed in the design of resource-efficient technological strategies for the production of competitive rolled products using two-stand reversing mills.

Keywords: *cold rolling process, continuous cold rolling mill, two-stand reversing cold rolling mill, reduction, specific tension, rolling speed.*

Ссылка на статью:

Особенности режима холодной прокатки на двухклетевом реверсивном стане конкурентоспособной продукции / Румянцев М.И., Завалищин А.Н., Долганов А.Н., Ахмадиев К.Р. // Теория и технология металлургического производства. 2024. №2(49). С. 40-48.
Rumyantsev M.I., Zavalishchin A.N., Dolganov A.N., Akhmadiev K.R. Specific features of cold rolling modes on a two-stand reversing mill of competitive products. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2024, vol. 49, no. 2, pp. 40-48.