

ОЦЕНКА ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ЖЕСТИ НА СТАНЕ 1400

Використовуючи методику оцінки позовжньої сталості процесу прокатки, проаналізована стабільність процесу при виробництві жерсті на шестиклітьовому стані 1400 КарМК. Показано, що у всіх клітях, окрім третьої прокатка здійснюється в сталому режимі. Процес деформації в третій кліті протікає за рахунок тягнучої здатності наступної кліті. Скореговані існуючі режими обтисень та запропоновані для використання на виробництві, за якими сталість процесу прокатки досягається у всіх клітях стану.

Using a technique of an estimation of the longitudinal persistence of process of the rolling, the analysed stability of process by tin manufacture on шестиклітьовому a condition 1400 KarIW. It is displayed, that in all cages, except the third rolling the regime is carried out in fixed. Strain process in the third cage proceeds at the expense of drawing ability of the following cage. An existing draughting schedule is corrected and offered for use on manufacture behind which persistence of process of rolling is reached in all cages of a condition.

Известное в теории положение о том, что при прокатке с нейтральным углом равным нулю возникают предельные условия в установившемся режиме, на практике не всегда выполняется. Об этом свидетельствуют опытные данные А. П. Чекмарёва [1], А. П. Грудева [2] и др., показывающие, что частичная или полная пробуксовка металла в валках может начинаться при значительном опережении, т.е. при существенном запасе сил трения.

С другой стороны, имеются исследования [3-5], из которых следует, что процесс прокатки может совершаться устойчиво при однозонном скольжении полосы в очаге деформации.

В статьях [6-8], на основе анализа текущей горизонтальной контактной силы Q_x^* или её среднего значения Q_{cp}^* , предложен метод оценки продольной устойчивости процесса прокатки. Согласно с этим методом, если сила Q_{cp}^* положительна, т.е. направлена в соответствии с движением полосы, то процесс деформации будет протекать устойчиво, если Q_{cp}^* равна нулю, наступают предельные условия прокатки, а при $Q_{cp}^* < 0$, процесс невозможен.

Целью настоящей работы является оценка устойчивости процесса прокатки в производственных условиях на стане 1400 Карагандинского металлургического комбината.

Шестиклетевой стан 1400 [9] предназначен для производства луженой и чёрной жести, стальных листов из рядовой и конструкционной стали. В сортамент готовой продукции цеха входят белая жесь толщиной 0,15-0,36 мм, в том числе жесь, получаемая методом двойной прокатки и стальные полосы толщиной 0,25-0,6 мм. Оценку продольной устойчивости процесса будем рассматривать на примере прокатки жести №22. Краткая техническая характеристика клетей стана 1400 приведена в табл. 1.

Таблица 1

Диаметр рабочего вала, мм	570-600
Диаметр опорного вала, мм	1320-1400
Длина бочки валков, мм	1400
Максимальная скорость прокатки, м/с	33
Допустимое значение силы прокатки, МН	20

Существующий режим обжатий и энергосиловые параметры при производстве жести толщиной 0,22 мм [4] приведены в табл. 2 (колонки 1-9).

Таблица 2

№ клетки	$h_0, мм$	$h_1, мм$	$\Delta h, мм$	$\epsilon, \%$	$q_0, МПа$	$q_1, МПа$	$P_{cp}, МПа$	$P, МН$	$Q_{cp}, кН$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2,4	2,11	0,29	12,1	28	135	609	6,4	54
2	2,11	1,29	0,82	39	135	143	717	9,4	11,4
3	1,29	0,79	0,5	38,8	143	171	781	9,22	-10,3
4	0,79	0,49	0,3	38	171	195	835	8,95	3,7
5	0,49	0,345	0,145	30	195	169	943	8,39	5,6
6	0,345	0,22	0,125	36,2	169	46	1108	9,98	20,2

Анализ устойчивости процесса прокатки в каждой клетке начинается с расчёта эпюр контактных напряжений. Теоретически их можно получить при совместном решении дифференциального уравнения равновесия Т. Кармана и модели трения, представленной на рис. 1.

Эта модель состоит из трёх участков: 2 участка, где выполняется закон Кулона (кривая 1 и 3) и зона, где осуществляется плавный переход от максимальных значений удельных сил трения к минимальным (кривая 2).

В общем случае данную модель трения можно представить в виде:

$$\frac{t_x}{2k} = \begin{cases} f_y \frac{P_x}{2k}, & \text{при } \alpha > \varphi > \varphi^*; \\ f_y \frac{P_x}{2k} \frac{\varphi - \gamma}{\varphi^* - \gamma}, & \text{при } \varphi^* > \varphi > \varphi^{**}; \\ -f_y \frac{P_x}{2k}, & \text{при } \varphi^{**} > \varphi > 0, \end{cases} \quad (1)$$

где φ^* – угол, соответствующий сечению перехода от закона Кулона, который действует в зоне отставания, к модели, которая описывает зону прилипания;

$\frac{P_x}{2k}$ – безразмерное давление в сечении φ ;

γ – угол нейтрального сечения;

f_y – коэффициент трения в зонах скольжения;

k – сопротивление металла чистому сдвигу;

φ^{**} – угол, соответствующий сечению перехода от закона Кулона, который действует в зоне опережения, к модели, которая описывает зону прилипания.

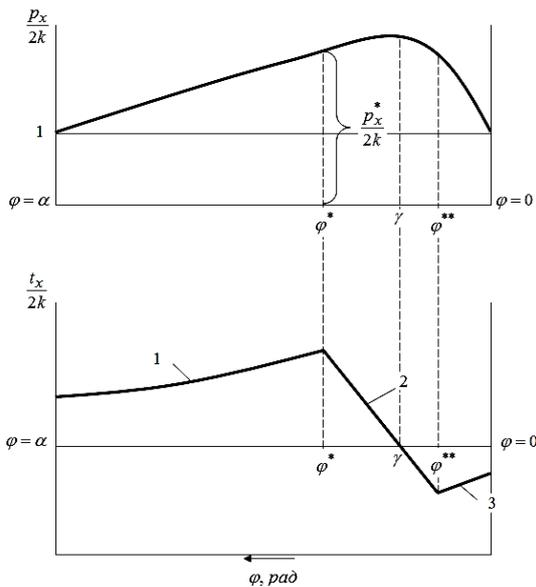


Рис. 1. Модель трения с учетом зоны прилипания

Углы φ^* и φ^{**} выбираются итерационным путём с применением ЭВМ при выполнении следующих условий:

1. Величина удельных сил трения в безразмерном виде не должна превышать 0,5, т.е.:

$$0,5 \geq \frac{t_x}{2k} \geq -0,5.$$

2. Средний коэффициент трения, определяемый из эпюр контактных напряжений по формуле:

$$f_{cp} = \frac{\int_0^{\alpha} \frac{t_x}{2k} d\varphi}{\int_0^{\alpha} \frac{P_x}{2k} d\varphi}$$

должен быть максимально близким к коэффициенту трения в зонах скольжения.

Подставив модель (1) в дифференциальное уравнение равновесия, и решив его методом

последовательных приближений Рунге-Кутты с граничными условиями: $\frac{P_x}{2k} = 1 - \frac{q_0}{2k}$ при $\varphi = \alpha$, и $\frac{P_x}{2k} = 1 - \frac{q_1}{2k}$ при $\varphi = 0$ (q_0 и q_1 – заднее и переднее удельные натяжения), получаем эпюру распределения нормального давления.

Из эпюр контактных напряжений, согласно методике [6-8], находим распределения напряжений $-\frac{P_x}{2k} \sin \varphi + \frac{t_x}{2k} \cos \varphi$ и текущей результирующей горизонтальных контактных сил Q_x^* , а затем рассчитываем силу Q_{cp}^* .

Расчёт средней результирующей горизонтальных контактных сил Q_{cp}^* выполнен для каждой клетки стана 1400. Полученные результаты приведены в табл. 1 (колонка 10).

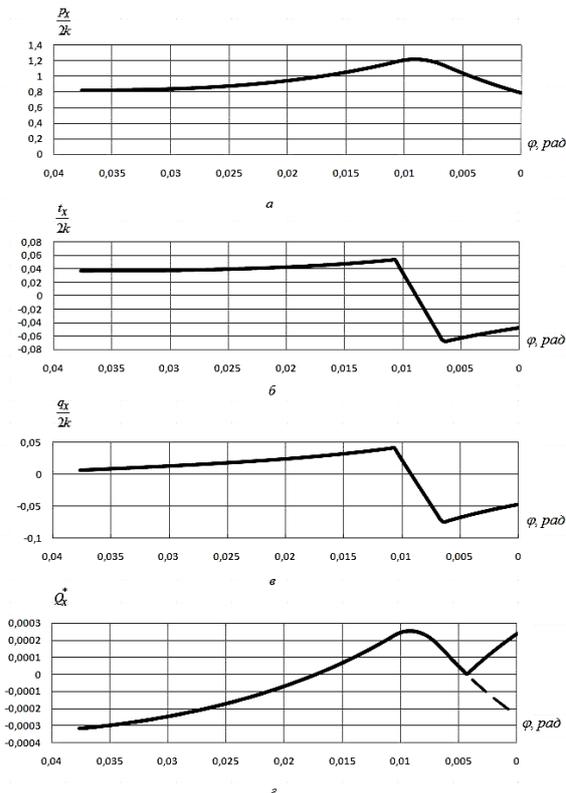


Рис. 2. Эпюры изменения по длине очага деформации контактных (а, б) и результирующих горизонтальных напряжений (в), а также силы Q_x^* (г) по существующему режиму

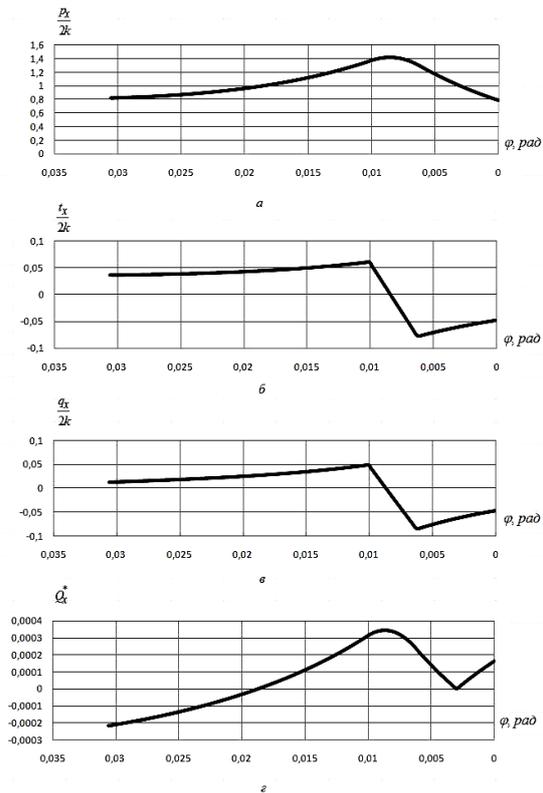


Рис. 3. Эпюры изменения по длине очага деформации контактных (а, б) и результирующих горизонтальных напряжений (в), а также силы Q_x^* (г) по предлагаемому режиму

Расчёты показали, что во всех клетях, за исключением третьей (здесь $Q_{cp}^* < 0$), процесс ведётся устойчиво. По-видимому, в целом по стану устойчивость прокатки достигается за счёт тянущей способности четвёртой клетки. Однако такие условия деформации нельзя признать удовлетворительными, т.к. любое нарушение технологического процесса может привести к отрицательным последствиям.

Проанализируем силовые параметры прокатки более подробно. Эпюры контактных и горизонтальных напряжений, а также текущей результирующей продольных контактных сил Q_x^* для третьей клетки приведены на рис. 2.

Как видно из рисунка, на границах зоны контакта нормальные давления меньше единицы в результате действия растягивающих напряжений (рис. 2, а), а сила Q_x^* в этих же сечениях (рис. 2, г) соответствует значениям сил переднего и заднего натяжения.

Анализируя изменение силы Q_x^* , следует обратить внимание на то, что она вблизи выхода полосы из очага деформации обращается в ноль и имеет точку перегиба. Это связано с тем, что в этом сечении $\frac{p_x}{2k} = 1$, а с учётом

уравнения пластичности $\frac{\sigma_x}{2k} = 0$ (σ_x – продольное нормальное напряжение пластически деформируемого металла). Очевидно, что в этом сечении и продольная сила $Q_{xвн} = \sigma_x h_x b$ (h_x – текущая толщина полосы, b – её ширина), а также её безразмерное значение

$$Q_{xвн}^* = \frac{Q_{xвн}}{2kRb}$$

равны нулю. Учитывая, что равновесие металла в очаге деформации возможно только при $Q_{xвн}^* = 2Q_x^*$ [6-8], отсюда следует, что в указанном сечении и текущая контактная сила Q_x^* должна быть равна нулю. Перегиб кривой Q_x^* объясняется тем, что после этого сечения напряжение σ_x становится растягивающим и знак перед эти

напряжением в уравнении пластичности меняется на противоположный (с минуса на плюс). На выходе из очага деформации σ_x равно переднему удельному натяжению.

Итак, проведенные расчёты показывают, что прокатка в третьей клетке ведётся неустойчиво, что может быть связано как с обжатием металла в этой клетке, так и со значительным задним натяжением полосы и сравнительно малым коэффициентом трения ($f_{cp} = 0,035 - 0,04$).

Несколько перераспределив режим обжатий на стане, можно обеспечить продольную устойчивость процесса прокатки во всех клетях. Предлагаемый режим обжатий и результаты расчёта средней результирующей контактных горизонтальных сил приведены в табл. 3.

Таблица 3

Предлагаемый режим обжатий и результаты расчёта энергосиловых параметров при производстве жести №22

№ клетки	$h_0, мм$	$h_1, мм$	$\Delta h, мм$	$\varepsilon, \%$	$p_{cp}, МПа$	$P, МН$	$Q_{cp}, кН$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2,4	2	0,4	16,7	539,3	5,8	51,6
2	2	1,2	0,8	40	744,8	12	28,1
3	1,2	0,75	0,45	37,5	821,5	10,7	6,9
4	0,75	0,45	0,3	40	889,4	10,2	4,3
5	0,45	0,35	0,1	22,2	1050,6	9,31	31,7
6	0,35	0,22	0,13	37,1	1115,2	10,9	22,6

Сравнивая предлагаемый режим деформации с существующим, заметим, что наибольшие изменения произошли в первой клетке, в сторону увеличения обжатия, и в пятой – в сторону уменьшения. При этом энергосиловые параметры существенно не изменились и усилия прокатки не превышают допустимых значений. Что касается третьей клетки, то здесь предлагается уменьшить обжатия с $\varepsilon = 38,8\%$ ($\Delta h = 0,5$ мм) до $\varepsilon = 37,5\%$ ($\Delta h = 0,45$ мм) и, в результате этого, средняя результирующая контактная сила будет положительна и способствовать устойчивому ведению процесса прокатки. Эпюры изменения по длине очага деформации контактных и результирующих горизонтальных напряжений, а также силы Q_x^* в третьей клетке по предлагаемому режиму приведены на рис. 3.

Как видно из рисунка 3, z , положительная область изменения силы Q_x^* является большей, чем отрицательная, поэтому $Q_{cp}^* > 0$ и процесс является устойчивым.

Таким образом, можно рекомендовать данный режим обжатий для прокатки жести толщиной 0,22 мм на стане 1400 КарМК.

Выводы. Используя методику оценки продольной устойчивости процесса деформации, проанализирована стабильность процесса прокатки при производстве жести толщиной 0,22 мм на стане 1400 КарМК. Показано, что в третьей клетке процесс прокатки является неустойчивым. Ведение процесса деформации обеспечивается за счёт тянущей способности четвёртой клетки. Для обеспечения стабильности процесса прокатки на стане предложены режимы обжатий, при которых будет осуществляться устойчивый процесс деформации во всех клетях.

Список литературы

1. Чекмарев А. П. Экспериментальное исследование максимальных углов захвата в установившемся процессе прокатки / А. П. Чекмарев, В. И. Прокофьев // Обработка металлов давлением: Науч. труды, ДМетИ. – М.: Металлургия, 1967, выпуск LII. – С.79-88.
2. Грудев А. П. Захватывающая способность прокатных валков / А. П. Грудев. – М.: СП Интермет Инжиниринг, 1998. – 283 с.
3. Мидзуно Т. Экспериментальное исследование холодной прокатки / Т. Мидзуно // Сосей-то како. Том 7. 1966, № 66. – С.363-389.
4. Павлов И. М. К вопросу об отрицательном опережении при прокатке / И. М. Павлов, В. К. Белосевич // Изв. вуз. Чёрная металлургия. 1961, № 10. – С.46-49.
5. Николаев В. А. Технологические параметры прокатки с высоковязкими смазками / В. А. Николаев // Изв. вуз. Чёрная металлургия. 1995, №4. – С.29-32.
6. Максименко О. П. Оценка устойчивости процесса прокатки по опытным эпюрам контактных напряжений / О. П. Максименко, Р. Я. Романиук // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – №2. – С.110-114.
7. Максименко О. П. Анализ равновесия сил в очаге деформации при простом процессе прокатки / О. П. Максименко, Р. Я. Романиук // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія машинобудування. – К.: НТУУ "КПІ" – 2010. – №59. – С.161-164.
8. Максименко О. П. Исследование средней результирующей горизонтальных сил в очаге деформации при прокатке. / О. П. Максименко, Р. Я. Романиук // Изв. вуз. Чёрная металлургия. – 2009. – № 10. – С.22-24.
9. Василев Я. Д. Производство жести методом двойной прокатки / Я. Д. Василев, А. В. Дементенко, С. Г. Горбунков. – М.: Металлургия, 1994. – 124 с.