



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 225 272** ⁽¹³⁾ **C2**
 (51) МПК7 **B 21 В 1/28**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
 ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ
 ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ
 ФЕДЕРАЦИИ**

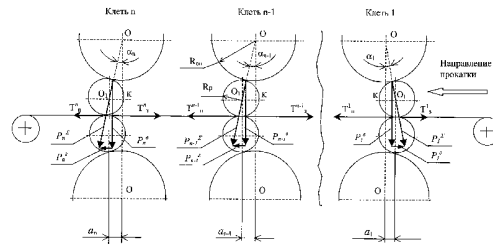
(21), (22) Заявка: 2002114092/02 , 31.05.2002
 (24) Дата начала действия патента: 31.05.2002
 (46) Дата публикации: 10.03.2004
 (56) Ссылки: SU 1416225 А, 15.08.1988. RU 2016680 С1, 30.07.1994. RU 2147943 С1, 27.04.2000. US 2664166, 23.05.1972.
 (98) Адрес для переписки:
 111538, Москва, ул. Косинская, 18,
 корп.3, кв.146, В.И. Лебедеву

(72) Изобретатель: Приходько Игорь Юрьевич (UA),
 Настич В.П. (RU), Чернов П.П. (RU),
 Акишин Владимир Викторович (UA),
 Пименов В.А. (RU), Парсенюк Евгений Александрович (UA),
 Сафьян Александр Матвеевич (UA),
 Долматов А.П. (RU), Рубанов В.П. (RU)
 (73) Патентообладатель:
 Открытое акционерное общество
 "Новолипецкий металлургический комбинат" (RU)

(54) СПОСОБ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ПОЛОС В МНОГОКЛЕТЬЕВОМ СТАНЕ

(57) Изобретение относится к металлургии, конкретнее к процессам холодной прокатки полос в непрерывных многоклетевых станах. Задача изобретения - повышение качества прокатываемых полос и стабильности процесса прокатки. Способ холодной прокатки полос в многоклетевом стане включает пропуск полос через клетки кварто, в которых вертикальная плоскость осей рабочих валков смещена относительно вертикальной плоскости осей опорных валков, и уменьшение полных межклетевых натяжений по ходу прокатки. Превышение полного межклетьевого заднего натяжения над передним натяжением регламентировано математической зависимостью, учитывающей величину смещения рабочих

валков относительно опорных, усилие прокатки, радиусы опорного и рабочего валков, номер клетки, число клеток стана. Кроме того, регламентируется вероятность возникновения вибраций в клетях. Изобретение обеспечивает снижение отбраковки по дефектам поверхности и повышение стабильности процесса. 1 ил., 1 табл.



RU 2 225 272 C2

RU 2 225 272 C2



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 225 272** ⁽¹³⁾ **C2**

(51) Int. Cl. 7 **B 21 B 1/28**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2002114092/02 ,
31.05.2002
(24) Effective date for property rights: 31.05.2002
(46) Date of publication: 10.03.2004
(98) Mail address:
111538, Moskva, ul. Kosinskaja, 18,
korp.3, kv.146, V.I. Lebedevu

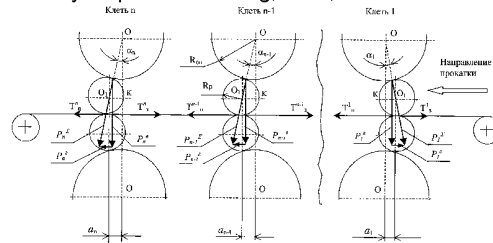
(72) Inventor: Prikhod'ko Igor' Jur'evich (UA),
Nastich V.P. (RU), Chernov P.P.
(RU) , Akishin Vladimir Viktorovich
(UA) , Pimenov V.A. (RU), Parsenjuk
Evgenij Aleksandrovich (UA), Saf'jan
Aleksandr Matveevich (UA), Dolmatov
A.P. (RU), Rubanov V.P. (RU)

(73) Proprietor:
Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo
"Novolipetskij metallurgicheskij
kombinat" (RU)

(54) **METHOD FOR COLD ROLLING OF STRIPS IN MULTISTAND MILL**

(57) Abstract:
FIELD: metallurgy, namely processes for cold rolling of strips in continuous multistand mills. SUBSTANCE: method for cold rolling of strips in multistand mill comprises steps of passing strips through four-high rolling stands in which vertical plane of rolling roll axes is shifted relative to vertical plane of backup rolls axes; lowering interstand tensions along rolling direction. Total interstand back tension exceeds forward-stand tension by range normalized with use of mathematical relation taking into account shifting value of rolling rolls relative to backup rolls, rolling effort, radiuses of backup and

rolling rolls, order number of stand, quantity of mill stands. Possibility of occurring vibration in mill stands is also normalized. EFFECT: lowered number of rejections caused by surface flaws, enhanced stability of process. 1 dwg, 1 tbl, 1 ex



RU 2 2 2 5 2 7 2 C 2

RU 2 2 2 5 2 7 2 C 2

Изобретение относится к металлургии, конкретнее к процессам холодной прокатки полосового металла в непрерывных многоклетевых станах.

Наиболее близким по своей технической сущности к предлагаемому является способ холодной прокатки полос в многоклетевом стане, включающий пропуск полос через клетки кварто, в которых вертикальная плоскость осей рабочих валков смещена относительно вертикальной плоскости осей опорных валков, и уменьшение полных межклетевых натяжений по ходу прокатки, который реализуется в известном многоклетевом стане холодной прокатки (Авторское свидетельство СССР 1416225, кл. В 21 В 1/28, опубл. 15.08.88 г.).

В процессе прокатки по известному способу во всех клетях, начиная со второй, не достигается гарантированное плотное прижатие подушек рабочих валков к подушкам опорных валков. Это объясняется тем, что величина превышения заднего натяжения над передним не регламентирована. Не учитываются величина смещения рабочих валков относительно опорных, диаметры рабочих и опорных валков, а также усилия прокатки в клетях. Кроме того, не учитываются изменения межклетевых натяжений, связанные с работой систем автоматического регулирования толщины и натяжения (САРТИН), которыми оснащены все современные станы холодной прокатки. Вследствие этого возникают вибрации клетей и пробуксовки валков, ухудшающие качество полос и снижающие стабильность процесса прокатки, что отрицательно сказывается на производительности станов.

Технический эффект при использовании изобретения состоит в повышении качества прокатываемых полос и стабильности процесса прокатки.

Указанный технический эффект достигается тем, что способ холодной прокатки полос в многоклетевом стане включает пропуск полос через клетки кварто, в которых вертикальная плоскость осей рабочих валков смещена относительно вертикальной плоскости осей опорных валков, и уменьшение полных межклетевых натяжений по ходу прокатки. Превышение полного межклетевого заднего натяжения над передним натяжением устанавливают по зависимости:

$$\Delta T^i = T_s^i - T_n^i = k_i \cdot \frac{2 a_i P_i}{R_{оп} + R_p}, \quad (1)$$

в клетях, для которых выполняется условие:

$$\frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \geq \frac{1}{n}, \quad (2)$$

где a_i - величина смещения рабочих валков относительно опорных, мм; P_i - усилие прокатки, тс; $R_{оп}$, R_p - радиусы опорного и рабочего валков, мм; k_i - эмпирический безразмерный коэффициент, равный 1,05...1,25; i - номер клетки; n - число клетей стана; P_i - безразмерный параметр, характеризующий вероятность возникновения вибраций, определяемый по эмпирической зависимости:

$$P_i = \frac{E \cdot U_{C_i} \cdot e_{\Sigma_i}}{h_i \cdot \sigma_{0_i} \cdot f_i \cdot F_i}, \quad (3)$$

5 где E - модуль упругости материала полосы, кгс/мм²; U_{C_i} - скорость деформации, с⁻¹; e_{Σ_i} - суммарное биение

10 рабочих и опорных валков, мм; h_i - толщина полосы на входе в клеть,

мм; σ_{0_i} - вынужденный (условный) предел

15 текучести полосы на входе в клеть, кгс/мм²; f_i - коэффициент трения при прокатке; F_i - собственная частота вертикальных колебаний клетки, Гц (с⁻¹).

20 Повышение качества прокатываемых полос и стабильности процесса прокатки будет происходить путем уменьшения склонности к возникновению вибраций клетей за счет гарантированного плотного прижатия подушек рабочих валков к подушкам опорных валков в тех клетях стана, где в процессе прокатки наиболее вероятно возникновение вибраций.

25 Предложенный способ поясняется схемой прокатки в многоклетевом стане с клетями кварто, на которой обозначены: α_1 , α_{n-1} , и α_n - углы между линией OO_1 , соединяющей центры верхних рабочего и опорного валков, и линией OO , соединяющей центры верхнего и нижнего опорных валков в клетях 1, $n-1$ и n , соответственно; OO_1K - расчетный треугольник, в котором катет O_1K равен величине смещения вертикальной плоскости рабочих валков относительно вертикальной плоскости опорных валков a_1 , a_{n-1} и a_n в клетях 1, $n-1$ и n соответственно; $R_{оп}$, R_p - радиусы опорного и рабочего валков; T_s , T_n - полные заднее и переднее натяжения в клетях; P_{Σ} - реакция верхнего опорного валка на усилие прокатки, действующая на верхний рабочий валок; P^B , P^r - вертикальная (равная усилию прокатки в данной клетке P) и горизонтальная составляющие реакции P_{Σ} соответственно.

35 Смещение рабочих валков относительно опорных вдоль направления прокатки применяют для улучшения условий захвата полосы рабочими валками, а также для устранения перекосов пары рабочих валков в горизонтальной плоскости путем 40 односторонней выборки зазоров вдоль направления прокатки между подушками рабочих и направляющими подушек опорных валков или стойками станины клетки. Величина смещения на различных станах различна и, обычно, находится в диапазоне 5-12 мм (см. Управление качеством тонколистового проката. /В.Л. Мазур, А.М. Сафьян, И.Ю. Приходько, А.И. Яценко. - К.: Техника, 1997, на стр. 14-15).

45 В результате смещения сила реакции опорных валков P_{Σ} на усилие прокатки отклоняется от вертикали. Направление действия горизонтальной составляющей P^r на рабочие валки зависит от направления смещения рабочих валков относительно опорных. Если рабочие валки смещают по ходу прокатки, то горизонтальная составляющая действует в направлении прокатки. Если рабочие валки смещают

против хода прокатки (как правило, только в первой клетке; величина смещения a_1 берется с отрицательным знаком), то горизонтальная составляющая реакции опорных валков действует на рабочие валки в направлении, противоположном направлению прокатки. Величина горизонтальной составляющей P^r в каждой клетке определяется из треугольника сил, подобного треугольнику OKO_1 :

$$P^r = P^b \cdot \operatorname{tg} \alpha;$$

из-за практической малости угла α (до 2°) можно принять:

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha = \frac{a}{R_p + R_{оп}}$$

и, принимая во внимание, что $P^b = P$, определяем величину горизонтальной составляющей, действующей на верхний и нижний рабочие валки:

$$P^r = \frac{P \cdot a}{R_p + R_{оп}}$$

Полную выборку зазоров и плотное прижатие подушек рабочих валков к направляющим подушек опорных валков или к стойкам станины (на схеме не показаны) можно обеспечить, если результирующая заднего T_z и переднего T_n натяжения, воспринимаемая каждым рабочим валком, будет больше горизонтальной составляющей межвалкового усилия P^r .

Следовательно, с учетом симметрии условий контактного взаимодействия верхнего и нижнего рабочих валков с полосой для гарантированного выбора зазоров в направлении, противоположном направлению прокатки во всех клетях, кроме первой, должно выполняться соотношение:

$$\frac{\Delta T^i}{z} = \left[\frac{T_z^i}{z} \frac{T_n^i}{z} \right] > \frac{a_i P_i}{R_{оп} + R_p} \quad (4)$$

В отношении (4) в процессе прокатки изменяются величины T_z^i , T_n^i и P_i (натяжения полосы заднее и переднее, а также усилие прокатки в i -й клетке). Экспериментально установили, что отношение (4) выполняется оптимальным образом, если превышение ΔT^i заднего натяжения над передним определяется по выражению (1), в котором эмпирический коэффициент k_i учитывает практически возможное отклонение натяжений в двух смежных межклетевых промежутках (отклонение разности заднего и переднего натяжений в i -й клетке) от заданных значений (уставок) вследствие работы системы автоматического регулирования толщины и натяжения (САРТИН). Применение значений коэффициента k_i меньше 1,05 не позволяет достичь технического результата, так как не гарантирует полного выбора зазоров и плотного прижатия подушек рабочих валков к направляющим подушек опорных валков или к стойкам станины. Поэтому сохраняется высокая склонность к возникновению вибраций клетей, что ухудшает качество полос и нарушает стабильность процесса прокатки. Большие значения, чем 1,25, применять не целесообразно, так как может быть нарушено технологически необходимое распределение удельных межклетевых натяжений. Также могут возникнуть пробуксовки валков вследствие большой

разницы между задним и передним натяжением (особенно при незначительных обжатиях) и, как следствие, потеря устойчивости (стабильности) прокатки и возникновение вибраций. Прокатку полос в многоклетевых станах ведут с удельными (отнесенными к единице площади поперечного сечения полосы) межклетевыми натяжениями, поддерживаемыми в пределах $(0,2-0,4)\sigma_T$,

где σ_T , кгс/мм² - предел текучести материала полосы в соответствующем межклетевом промежутке (см. Технология прокатного производства: Учеб. пособие /В.М. Клименко, А.М. Онищенко, А.А. Минаев, В.С. Горелик. - К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989, на стр. 273).

Исходя из необходимости поддержания удельных межклетевых натяжений в диапазоне 0,2..0,4 от условного предела текучести, в предложенном способе ограничивают действие выражения (1) теми клетями, в которых выполняется условие (2). Если не учитывать неравномерность распределения вероятности возникновения вибраций в процессе прокатки в клетях многоклетевых станов и установить регламентированное по выражению (1) превышение заднего натяжения над передним во всех клетях (кроме первой), то могут быть нарушены технологически допустимые пределы изменения удельных межклетевых натяжений.

Безразмерный параметр Π_i характеризует вероятность возникновения вибраций в клетях многоклетьевого стана холодной прокатки. Скорость деформации U_{Ci} и вынужденный (условный) предел текучести полосы σ_{0i} , входящие в выражение (3), определили по известным формулам (Теория прокатки: Учебник для вузов. /Грудев А.П. - М.: Металлургия, 1988, на стр. 81 и 131):

$$U_{Ci} = \frac{v_i \cdot \sqrt{\frac{h_{i-1} - h_i}{R_p}}}{h_{i-1}} \quad (5)$$

$$\sigma_{0i} = \sigma_{исх} + m \cdot \left(100 \cdot \frac{H - h_{i-1}}{H} \right)^k, \quad (6)$$

где v_i - скорость прокатки в i -й клетке (скорость полосы на выходе из i -й клетки), м/с; h_{i-1} , h_i - толщина полосы на входе и на выходе i -й клетки, м; R_p - радиус рабочего валка, м; H - толщина полосы перед холодной прокаткой в многоклетевом стане (исходная), м; $\sigma_{исх}$ - исходный предел текучести полосы на входе в стан, кгс/мм²; m - коэффициент (кгс/мм²), и k - показатель упрочнения материала полосы (безразмерный). Коэффициент трения f_i в клетях стана рассчитали по методике, приведенной в кн. (Управление качеством тонколистового проката. /В.Л. Мазур, А.М. Сафьян, И.Ю. Приходько, А.И. Яценко. - К.: Техника, 1997, на стр. 28-30). Чем больше значение параметра Π_i в практическом возможном диапазоне изменения всех переменных, входящих в выражение (3) и выбираемых для конкретного многоклетьевого стана, тем больше

вероятность возникновения вибраций в i -й клетке этого стана. Экспериментально установили, что в качестве порогового значения нормированного

$$\Delta T^i = T_s^i - T_n^i = k_i \cdot \frac{Z a_i P_i}{R_{оп} + R_p}, \quad (1)$$

в клетях, для которых выполняется условие:

$$\frac{\Pi_i}{n} \geq \frac{1}{n}, \quad (2)$$

показателя $\frac{\Pi_i}{n}$ для определения клетей,

$$\frac{\Pi_i}{\sum_{i=1}^n \Pi_i}$$

наиболее склонных к вибрациям, можно применить число, обратное их количеству в конкретном многоклетьевом стане, $1/n$.

В первой клетке для гарантированного выбора зазоров в направлении прокатки с учетом отрицательного знака a_1 должно выполняться соотношение:

$$\frac{\Delta T^1}{z} = \left(\frac{T_n^1}{z} - \frac{T_s^1}{z} \right) > \frac{a_1 P_1}{R_{оп} + R_p} \quad (7)$$

В этой клетке заднее натяжение не является межклетьевым и, обычно, на порядок (или в несколько раз на станах бесконечной прокатки, оснащенных натяжными роликками на входе в первую клетку) меньше переднего натяжения, то есть в первой клетке имеется технологически обусловленное превышение переднего натяжения над задним (например, на 5-клетьевом стане холодной прокатки 1700 минимальная разность между передним и задним натяжением в практическом интервале их изменений составляет 36 т при максимально возможном натяжении между первой клеткой и разматывателем - 4 т; на 5-клетьевом стане 2030 бесконечной прокатки натяжение, создаваемое на входе в первую клетку с помощью натяжных роликков, не превышает 12,5 тс.) Кроме того, экспериментально установлено, что в первой клетке, где скорость прокатки наименьшая, вибрации обычно не возникают. Поэтому действие предложенного способа, как правило, распространяется на все клетки, кроме первой.

Анализ научно-технической и патентной литературы показывает отсутствие совпадения отличительных признаков заявляемого способа с признаками известных технических решений. На основе этого делается вывод о соответствии заявляемого технического решения критерию "изобретательский уровень". Ниже даны варианты осуществления предложенного способа, не исключающие другие варианты его реализации в пределах формулы изобретения.

Пример. В процессе холодной прокатки полос в 5-клетьевом стане 2030 полосы из стали 08Ю исходной толщиной 2,5 мм, шириной 1500 мм и конечной толщиной 0,5 мм пропускают через клетки кварто, в которых вертикальная плоскость осей рабочих валков смещена относительно вертикальной плоскости осей опорных валков. Полные межклетьевые натяжения по ходу прокатки уменьшают. Превышение полного межклетьевого заднего натяжения над передним натяжением устанавливают по зависимости:

5
10
15
20

где a_i - величина смещения рабочих валков относительно опорных, $a_1=a_2=a_3=a_4=a_5=6$ мм; P_i - усилие прокатки в клетях: $P_1=P_2=P_3=1050$ тс, $P_4=1275$ тс, $P_5=1425$ тс; $R_{оп}=800$ мм; $R_p=300$ мм - радиусы опорного и рабочего валков, мм; k_i - эмпирический безразмерный коэффициент, равный 1,05...1,25; i - номер клетки; $n=5$ - число клетей стана; Π_i - безразмерный параметр, характеризующий вероятность возникновения вибраций, определяемый по эмпирической зависимости:

$$\Pi_i = \frac{E \cdot U_{C_i} \cdot e_{\Sigma_i}}{h_i \cdot \sigma_0 \cdot f_i \cdot F_i}, \quad (3)$$

25
30
35

где $E=21000$ кгс/мм² - модуль упругости материала полосы; U_{C_i} - скорость деформации в клетях: $U_{C1}=0,082$ с⁻¹, $U_{C2}=0,172$ с⁻¹, $U_{C3}=0,297$ с⁻¹, $U_{C4}=0,547$ с⁻¹, $U_{C5}=0,221$ с⁻¹; h_i - толщина полосы на выходе из клетей: $h_1=1,782$ мм, $h_2=1,136$ мм, $h_3=0,773$ мм, $h_4=0,517$ мм (скорость прокатки в клетях: $V_1=4200$ мм/с, $V_2=6600$ мм/с, $V_3=9700$ мм/с, $V_4=14500$ мм/с, $V_5=15000$ мм/с); $e_{\Sigma_i} = 0,06$ мм - суммарное биение

40

рабочих и опорных валков (сумма максимально допустимых технологической инструкцией эксцентриситетов пары рабочего и опорного

45

валков); σ_0 - вынужденный (условный)

предел текучести полосы на входе в клетку: $\sigma_{01} = 22$ кгс/мм², $\sigma_{02} = 47,49$ кгс/мм²,

50

$\sigma_{03} = 59,47$ кгс/мм²; $\sigma_{04} = 65,17$ кгс/мм²,
 $\sigma_{05} = 68,89$ кгс/мм², (коэффициенты

55
60

упрочнения стали 08Ю: $m=3,4$ кгс/мм², $k=0,6$); f_i - коэффициент трения при прокатке в клетях 1...4 (ненасеченные рабочие валки): $f_1=f_2=f_3=f_4=0,05$, в клетке 5 с насеченными рабочими валками $f_5=0,07$; F_i - собственная частота вертикальных колебаний клетей: $F_1=F_2=F_3=F_4=F_5=120$ Гц (Исследование вибраций на пятиклетьевом стане 2030. /С. С. Колпаков, В.А. Пименов, Ю.А. Цуканов, В.П. Рубанов. //Сталь, 1993. - 1. - С.47-52 - на стр. 49, 51). В таблице приведены примеры осуществления способа с различными технологическими параметрами. Значения коэффициента k_i для всех клетей стана принимали равным.

Значения нормированного параметра

$\Pi_i / \sum_{i=1}^n \Pi_i$ округлены до сотых долей

единицы. Как видно из таблицы, нормированный параметр при заданной настройке стана в третьей клетке равен пороговому значению 0,2, а в четвертой клетке превышает его. Поэтому для этих клеток установили регламентированное превышение заднего натяжения над передним. В первом и последнем межклетьевых промежутках задавались удельными межклетьевыми натяжениями из диапазона 0,15...0,4 от вынужденного предела текучести полосы.

В первом примере из-за несоответствия коэффициента k_i оптимальному значению на скорости прокатки свыше 15 м/с зафиксированы вибрации 4-й клетки. С целью недопущения аварийной ситуации скорость прокатки была снижена до 10 м/с, что привело к снижению производительности стана.

В пятом примере значение коэффициента k_i также не соответствовало оптимальному - было завышено. В результате в процессе прокатки удельное межклетьеовое натяжения в первом промежутке оказалось выше технологически допустимого предела, были зафиксированы дефекты поверхности полос, связанные с пробуксовками валков во 2-й клетки, а во втором межклетьевом промежутке - близко к граничному значению (40% от вынужденного предела текучести полосы). Был зафиксирован обрыв полосы, что привело к простоя стана.

В оптимальных примерах II. .IV имеется соответствие между исходными технологическими параметрами и установленным значением коэффициента k_i . Превышение заднего натяжения над передним натяжением в клетях 3 и 4, с одной стороны, обеспечило гарантированный выбор зазоров, за счет этого отсутствие вибраций на скорости прокатки свыше 15 м/с, а с другой стороны, не были нарушены технологически допустимые пределы по установке удельных межклетьевых натяжений. Процесс прокатки проходил стабильно на высокой скорости (выше 15 м/с) без пробуксовок валков, вибраций клетей, обрывов полосы. Таким образом, применение изобретения позволяет повысить качество прокатываемых полос за счет снижения отбраковки по дефектам поверхности на 4-5%, а также повысить стабильность процесса прокатки, чем достигается

возможность повышения часовой производительности стана в среднем на 10%.

Формула изобретения:

Способ холодной прокатки полос в многоклетьевом стане, включающий пропуск 5 полос через клетки кварто, в которых вертикальная плоскость осей рабочих валков смещена относительно вертикальной 10 плоскости осей опорных валков, и уменьшение полных межклетьевых натяжений по ходу прокатки, отличающийся тем, что превышение полного межклетьеового заднего 15 натяжения над передним натяжением устанавливаются по зависимости

$$\Delta T^i = T_3^i - T_n^i = k_i \cdot \frac{2a_i P_i}{R_{оп} + R_p} \text{ ,}$$

в клетях, для которых выполняется условие

$$\frac{\Pi_i}{\sum_{i=1}^n \Pi_i} \geq \frac{1}{n} \text{ ,}$$

где a_i - величина смещения рабочих валков относительно опорных, мм;

P_i - усилие прокатки, тс;

$R_{оп}, R_p$ - радиусы опорного и рабочего валков, мм;

k_i - эмпирический безразмерный коэффициент, равный 1,05... 1,25;

i - номер клетки;

n - число клетей стана;

Π_i - безразмерный параметр, характеризующий вероятность возникновения 20 вибраций, определяемый по эмпирической зависимости

$$\Pi_i = \frac{E \cdot U_{c_i} \cdot \epsilon_{\Sigma_i}}{h_i \cdot \sigma_{0_i} \cdot f_i \cdot F_i} \text{ ,}$$

где E - модуль упругости материала 25 полосы, кгс/мм²;

U_{c_i} - скорость деформации, с⁻¹;

ϵ_{Σ_i} - суммарное биение рабочих и опорных валков, мм;

h_i - толщина полосы на входе в клетку, мм;

σ_{0_i} - вынужденный (условный) предел 30 текучести полосы на входе в клетку, кгс/мм²;

f_i - коэффициент трения при прокатке;

F_i - собственная частота вертикальных колебаний клетки, Гц (с⁻¹).

50

55

60

Технологические параметры	Варианты реализации																				Нет/да										
	I					II					III					IV						V									
	Номер клетки					Номер клетки					Номер клетки					Номер клетки						Номер клетки									
Нормированный параметр L_i *	0,07	0,10	0,20	0,50	0,14	0,07	0,10	0,20	0,50	0,14	0,07	0,10	0,20	0,50	0,14	0,07	0,10	0,20	0,50	0,14	0,07	0,10	0,20	0,50	0,14	0,07	0,10	0,20	0,50	0,14	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Коэффициент k_i	1,02					1,05					1,15					1,25					1,4										
Превышение полного заднего натяжения над передним, ΔT_i , тс	-	-	11,6	13,4	-	12,0	13,8	-	-	-	13,1	15,1	-	-	-	-	45,0	40,0	14,3	16,4	-	-	45,0	23,5	22,1	16,8	45,0	43,7	16,1	-	-
Полное заднее натяжение(межклетьеовое), T_i^j , тс	45,0	45,0	34,3	22,7	9,3	45,0	35,1	23,1	9,3	12,0	16,8	16,8	22,0	24,4	9,3	16,8	16,8	40,0	25,7	25,7	16,8	16,8	23,5	22,1	22,1	16,8	45,0	43,7	16,1	-	12,0
Удельное заднее натяжение (межклетьеовое), кгс/мм ²	16,8	20,1	19,5	12,0	17,4	16,8	20,6	19,9	12,0	17,4	35,4	35,4	22,0	21,0	12,0	35,4	35,4	23,5	22,1	22,1	35,4	35,4	23,5	22,1	22,1	35,4	45,0	43,7	16,1	-	12,0
У д. заднее натяжение (межкл. в % от вын.предела текущести	35,4	33,9	30,0	17,4	30,5	35,4	34,6	30,5	17,4	17,4	35,4	35,4	22,0	21,0	12,0	35,4	35,4	23,5	22,1	22,1	35,4	35,4	23,5	22,1	22,1	35,4	45,0	43,7	16,1	-	12,0
Вибрации / обрывы при прокатке	Да/нет	Да/нет	Да/нет	Да/нет	Да/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/нет	Нет/да	Нет/да	

* Рассчитанные значения нормированного параметра округлены до сотых долей единицы.