

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт

Факультет материаловедения и металлургических технологий
Кафедра процессов и машин обработки металлов давлением

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

_____ /Радионова Л.В./

_____ 2020 г.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ
ХОЛОДОКАТАННЫХ ПОЛОС НА СТАНЕ 1700 С ЦЕЛЬЮ
ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА**

ЮУрГУ – 22.03.02 – 2020 – 309-03-084 – 00.00.00 ПЗ

Нормоконтролер

_____ д.т.н., профессор

Чаплыгин Борис Александрович

_____ 2020 г.

Руководитель работы

_____ д.т.н., профессор

Чаплыгин Борис Александрович

_____ 2020 г.

Автор работы
студент группы П-438

Прокофьев Дмитрий Вячеславович

_____ 2020 г.

Челябинск
2020

АННОТАЦИЯ

Прокофьев Д.В. Совершенствование технологии прокатки холоднокатанных полос на стане 1700 с целью повышения его производительности – Челябинск: ЮУрГУ, ПИ, МиМТ, 2020. – 37 с., 7 ил., 7 табл., библиогр. список – 9 наим., 1 приложение.

В работе проанализирован существующий технологический процесс на стане кварто 1700.

Для улучшения эффективности работы реверсивного стана кварто 1700, снижения себестоимости выпускаемой продукции и повышения производительности стана, разработаны новые режимы прокатки, предусматривающие использование различных кинетических параметров рабочих валков. Для проверки работоспособности усовершенствованной схемы прокатки холоднокатанных полос рассчитаны энергосиловые параметры процесса. Приведена схема оборудования, позволяющая осуществлять различные кинематические режимы прокатки.

Работа включает 37 страниц, выполнена с привлечением 9 источников, содержит 7 таблицы, 7 рисунков и 1 приложение.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ НА СТАНЕ КВАРТО 1700	6
2. РАСЧЁТ УСИЛИЙ ПРОКАТКИ	11
3. РАЗРАБОТКА НОВОЙ СХЕМЫ ПРОКАТКИ	Ошибка! Закладка не определена.
4. РАСЧЁТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ.....	Ошибка! Закладка не определена.
5. УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ СТРУКТУРА ГЛАВНОЙ ЛИНИИ СТАНА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗНЫХ ВАРИАНТОВ ПРОКАТКИ	Ошибка! Закладка не определена.
6. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ ПОЛОСЫ	34
7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	36
8. БИБЛОИГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	37

ВВЕДЕНИЕ

Повышение операционной эффективности, расширение ассортимента выпускаемой продукции, совершенствование технологического производства является основной тенденцией в металлургической отрасли.

Отрасль избыточна по мощностям, поэтому предприятия работают над производством высокотехнологических сталей, к которым относятся электротехнические, нержавеющие и высокоуглеродистые стали.

Помимо этого, в сферу интересов металлургических компаний входят последние годы заказы от небольших заводов по производству металлоконструкций. К примеру, строительные комплексы, сервисные металлоцентры и различные предприятия, которые раньше выпадали из поля зрения.

Из-за торговых ограничений в металлургии, каждая страна пытается себя защитить, вводя экспортные пошлины. Так как в России мощности по производству металлопродукции примерно в два раза больше, чем само потребление внутри страны, из-за этого возрастает конкуренция среди российских производителей за рынок сбыта. И одним из критериев в борьбе за лидерство является снижение себестоимости, повышение производимой продукции и увеличения качества выпускаемой продукции.

Без оптимизации производственных мощностей российской металлургии придется бороться за выживаемость на собственном рынке.

Кроме того, значительно увеличились как энергозатраты, так и затраты на персонал, что негативно отражается на себестоимости конечной продукции.

То есть, чтобы остаться конкурентоспособными необходимо повысить производительность и сократить издержки.

Известные процессы ОМД такие как симметричная, асимметричная и прокатка-волочение в различных комбинациях при формировании определенной схемы проката позволяют существенно влиять на производительность и качество. Поэтому совершенствование технологии прокатки является перспективным направлением для повышения производства на реверсивных станах.

1. ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ НА СТАНЕ КВАРТО 1700

Стан кварто 1700 является универсальным, так как он обладает широким спектром возможностей и не может быть зажат в узкие границы своего производства. Он позволяет эффективно по проходам комбинировать режимы симметричной, несимметричной прокатки и процесс прокатки-волочением, обеспечивая высокую точность и качество отделки поверхности металла.

На универсальном реверсивном четырехвалковом стане для холодной прокатки полос можно реализовать следующие варианты процессов прокатки:

- симметричная прокатка
- асимметричная прокатка
- процесс прокатки-волочения

Эти варианты процессов прокатки можно реализовать либо в режиме заданных скоростей, либо в режиме заданных натяжений.

Рассмотрим каждый процесс прокатки отдельно.

Симметричная прокатка является процессом, при котором воздействие каждого из валков на прокатываемую полосу является идентичным.

Условия для симметричной прокатки:

- Валки должны иметь бочки одинакового диаметра с параллельными осями, расположенными в одной плоскости.
- Оба валка должны быть приводными и вращаться в разные стороны с одной окружной скоростью.
- Необходимо, чтобы состояние поверхности обоих валков было одинаковое, т. е. коэффициенты и силы трения, возникающие при прокатке между заготовкой и валками, были одинаковыми

В случае симметричной прокатки, натяжные станции, в режиме заданных натяжений, установленные перед клетью и за ней, не работают, то есть заправка полосы не осуществляется. Заправка полосы идёт напрямую на моталки.

У асимметричной прокатки, в очаге деформации существуют две зоны течения металла. Со стороны входа металла в очаг деформации есть зона отстаивания, со стороны выхода – зона опережения. Эти зоны разделяет нейтральная плоскость, в которой скорость металла равна окружной скорости валков. В зоне отстаивания скорость металла меньше чем окружная скорость валков, зато в зоне опережения эта скорость больше. Со стороны каждого валка, в очаге деформации, появляются – зоны с противоположенными контактными напряжениями. Длины этих зон зависят от величины асимметрии и при граничном варианте могут захватывать целый очаг деформации. Существуют зоны, в которых силы трения на верхнем и нижнем валке противоположены, что является полезным для процесса прокатки, так как это влияет на снижение силы полного давления металла на валки и одновременно на снижение упругого изгиба элементов прокатной клетки. Следует помнить, что кроме положительных свойств, в процессе прокатки асимметричным способом, могут выступать также отрицательные явления, проявляющиеся в изгибе полосы вне очага деформации.

При разработке и конструировании валковых узлов холодной прокатки, в которых применяются асимметричные процессы прокатки с различными окружными скоростями рабочих валков, следует учитывать особенности этих процессов.

Основными из них являются:

- сниженное усилие прокатки
- меньшая упругая деформация валков
- повышенные крутящие моменты на валках

Принципиальной особенностью процесса прокатки-волочения является то, что валки вращаются с разными окружными скоростями, причем соотношение скоростей валков равно вытяжке полосы. На ведущем валке имеется только зона отстаивания, а на ведомом только зона опережения. Силы контактного трения направлены в противоположные стороны благодаря этому исключается подпирающее действие сил трения на деформируемый объем и значительно снижается давление металла на валки.

С уменьшением толщины и ширины прокатываемых полос нарушение плоской формы при процессе прокатки-волочения меньше, чем при обычном симметричном способе прокатки, то есть процесс прокатки-волочения наиболее эффективен при прокатке тонких полос с повышенным обжатием. Следует отметить, что при обычном процессе холодной прокатки с одинаковыми окружными скоростями рабочих валков при увеличении обжатия полосы и ширины прокатываемых полос нарушение плоскостности значительно увеличивается ввиду повышения давления прокатки и упругого прогиба валков.

Процесс прокатки-волочения обретает свойство саморегулирования, благодаря наличию резерва сил трения на дугах охвата и отсутствию проскальзывания полосы относительно поверхности валков.

Есть опытные данные о влиянии рассогласования окружных скоростей рабочих валков на плоскостность для различных значений коэффициента вытяжки и ширины полосы, которые проводились при прокатке полос из малоуглеродистых сталей с прямоугольным поперечным профилем на цилиндрических валках. При прокатке удельное напряжение по ширине полосы заднего и переднего концов было равно среднему номинальному значению. В этом случае нарушение плоскостности полосы могло

происходить только за счет изменения давления металла на валки и упругого прогиба валков в поперечном направлении.

Существование процесса прокатки-волочения между двумя предельными случаями определяется диапазоном изменения натяжений от $\sigma_{1\min} = \sigma_{sc} \ln \lambda, \sigma_0 = 0$ до $\sigma_{1\max} = \sigma_s \cdot \sigma_{0\max} = \sigma_{sc} (1 - \ln \lambda)$, то есть существуют пределы в которых устойчивость процесса не нарушается.[1]

Рассмотренные кинематические варианты процесса прокатки обладают своими преимуществами и недостатками.

Каждый кинематический вариант процесса прокатки позволяет решать ту или иную проблему прокатки в определенном диапазоне конкретных условий процесса, но при выходе за границы этого диапазона оказывается менее эффективным и не может претендовать на роль оптимального во всей широкой области изменения условий процесса прокатки.

Чтобы удостовериться в сформулированных выводах, проанализируем прокатку на реверсивном стане, когда условия деформации меняются от прохода к проходу, а возможность процесса деформации ограничивается такими величинами и факторами как моменты на валках, давление, натяжение концов полосы, качество геометрии и форма полосы. В такой ситуации осуществление всех проходов в одном каком-либо кинематическом варианте процесса не будет оптимальным. Например, при симметричном процессе прокатки при достижении допустимого давления приходится ограничивать обжатие в последних проходах, что приведет к увеличению числа проходов либо к необходимости промежуточной термообработки. Использование во всех проходах предельный случай асимметричного процесса прокатки может значительно ограничивать величину обжатия в первых проходах, например, из-за большего переднего натяжения полосы или значительных крутящихся моментов на валках.

Опыт теоретического и экспериментального исследования симметричных и несимметричных процессов прокатки свидетельствует о том, что управление схемой действий сил трения в очаге деформации путем изменения отношения окружной скорости валков к скорости концов полосы является эффективным средством для регулирования параметров процесса и деформируемой полосы, позволяющим более полно реализовать резервы оборудования и самого технологического процесса прокатки [1].

Поэтому является целесообразным выполнить расчет усилий прокатки при разных процессах, в частности при симметричном, асимметричном и прокатки-волочения. Выполнить и сравнить анализ усилия по прокатам для наиболее часто используемой схемы производства холоднокатанных полос на стане кварто 1700.

2. РАСЧЕТ УСИЛИЙ ПРОКАТКИ

Выполним расчет усилий прокатки для существующего режима обжатия, наиболее часто применяемого на стане 1700, с 2,2мм – 0,5мм при разных скоростных параметрах

Таблица 1 - Существующая схема прокатки 2,2мм – 0,5мм [2]

№ прохода	Толщина полосы , мм		Относительная деформация, %	Скорость прокатки, м/с
	h_0	h_1	ε_i	v
1	2,2	1,75	20,5	1,5
2	1,75	1,5	14,3	3,0
3	1,5	1,3	13,3	5,0
4	1,3	1,13	13,1	5,0
5	1,13	0,98	13,3	5,0
6	0,98	0,86	12,3	5,0
7	0,86	0,75	12,8	5,0
8	0,75	0,66	12,0	5,0
9	0,66	0,59	10,6	5,0
10	0,59	0,53	10,2	5,0
11	0,53	0,5	9,4	5,0

Определим коэффициент вытяжки по формуле [3]:

$$\lambda_i = \frac{h_{0i}}{h_{1i}} \quad (2.1)$$

Для первого прохода коэффициент вытяжки равен:

$$\lambda_i = \frac{h_{0i}}{h_{1i}} = \frac{2,2}{1,75} = 1,257 .$$

Определим коэффициент вытяжки по формуле:

$$\lambda_i = \frac{h_0}{h_{1i}} . \quad (2.2)$$

Для первого прохода суммарный коэффициент вытяжки равен

$$\lambda_i = \frac{h_0}{h_{1i}} = \frac{2,2}{1,75} = 1,257 .$$

Также, аналогичен для последующих проходов, расчет коэффициента вытяжки и суммарного коэффициента.

Сопротивление металла пластической деформации может определено по формуле:

$$\sigma_{sci} = \sigma_{0.2} + a \times \left(\frac{\lambda_{0-1}}{\lambda_0} \times 100 \right)^b , \quad (2.3)$$

Где для стали 12X18M10T: $\sigma_{sci} = 410$ Мпа, $a = 24$, $b = 0,91$.

Расчет для первого прохода по формуле (3):

$$\sigma_{sci} = 410 + 24 \times \left(\frac{1,257 - 1}{1,257} \times 100 \right)^{0,91} = 783,9 \text{ Мпа.}$$

Для остальных проходов расчет сопротивления металла пластической деформации аналогичен. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты вытяжки полосы и сопротивление металла пластической деформации.

Проход, №	λ_i	λ_{0i}	σ_{sc} , МПа
1	1,257	1,257	783,9
2	1,167	1,467	969,6
3	1,154	1,693	1113,4
4	1,150	1,947	1232,9
5	1,153	2,245	1337,3
6	1,140	3,559	1420,1
7	1,147	2,935	1495,3
8	1,136	3,334	1556,3
9	1,119	3,731	1603,7
10	1,113	4,153	1644,1
11	1,060	4,402	1664,2

Расчет при симметричной прокатке ($K_v = 1$)

Среднее удельное давление рассчитывается по формуле (2.4):

$$p_c = \frac{\sigma_{sc} \cdot h_\gamma \cdot \ln \lambda - \sigma_0 \cdot (h_0 \times h_\gamma) - \sigma_1 \cdot (h_\gamma - h_1)}{\Delta h - 2fR \cdot [\alpha_0 - (\gamma_1 + \gamma_2)] + 2f \cdot h_\gamma \sqrt{\frac{R}{h_1}} (\arctg \sqrt{\lambda - 1} - 2\arctg \gamma \sqrt{\frac{R}{h_1}})}, \quad (2.4)$$

где:

R – радиус рабочего вала (R=250мм),

f – коэффициент трения (f = 0,1),

b – ширина полосы (b = 1000мм),

λ – коэффициент вытяжки полосы в рассматриваемом проходе,

h_0 - начальная высота полосы (мм),

h_1 - высота полосы после прохода (мм)

Угол захвата:

$$\alpha_0 = \sqrt{\frac{h_0 - h_1}{R}} \quad (2.5)$$

Для первого прохода:

$$\alpha_0 = \sqrt{\frac{2,2 - 1,75}{250}} = 0,042 \text{ рад.}$$

Критический угол:

$$\gamma = \frac{\alpha_0}{2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha_0}{2f}\right) \quad (2.6)$$

Для первого прохода:

$$\gamma = \frac{0,042}{2} \cdot \left(1 - \frac{0,042}{2 \cdot 0,1}\right) = 0,017 \text{ рад.}$$

Высота полосы в критическом сечении:

$$h_\gamma = h_1. \quad (2.7)$$

Для первого прохода:

$$h_\gamma = 2,2 + 250 \cdot 0,017^2 = 1,82 \text{ мм}$$

Напряжение заднего и переднего натяжения для всех проходов рассчитываем в двух случаях, когда $\sigma_0 = \sigma_1 = 0,3 \cdot \sigma_{sc}$ и при $\sigma_0 = \sigma_1 = 0$.

Произведем расчет при $\sigma_0 = \sigma_1 = 0,3 \cdot 720,5 = 216,5 \text{ МПа}$

Среднее нормальное контактное напряжение при симметричной прокатке будет равно:

$$p_c = \frac{784,9 \cdot 1,82 \cdot \ln 1,257 - 235,5 \cdot (2,2 \cdot 1,82) - 235,5 \cdot (1,82 - 1,75)}{0,45 - 2 \cdot 0,1 \cdot 250 \cdot (0,042 - 2 \cdot 0,017) + 2 \cdot 0,1 \cdot 1,82 \cdot \sqrt{\frac{250}{1,75}} (\arctg \sqrt{1,257 - 1} - 2 \arctg 0,017 \sqrt{\frac{250}{1,75}})} = 677,32 \text{ МПа}$$

Усилия прокатки вычисляются по формуле (2.8):

$$P = p_c \cdot b \cdot l. \quad (2.8)$$

Длина очага деформации с учетом упругого сплющивания валков рассчитывается по формуле (2.9):

$$l = \sqrt{R \cdot \Delta h + (1,5m \cdot R \cdot p_c)^2} + 1,5m \cdot R \cdot p_c, \quad (2.9)$$

Где $m = 1,12 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{МПа}}$.

Для первого прохода:

$$l = \sqrt{250 \cdot 0,45 + (1,5 \cdot 1,12 \cdot 10^{-5} \cdot 250 \cdot 677,32)^2} + 1,5 \cdot 1,12 \cdot 10^{-5} \cdot 250 \cdot 677,32 = 13,83 \text{ мм.}$$

Усилие прокатки будет равно:

$$P = 677,32 \cdot 1000 \cdot 13,83 = 9,365 \text{ МН.}$$

Для остальных проходов расчеты представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты расчетов усилий прокатки при симметричном процессе.

Проход №	α_0 , рад	γ , рад	h_γ , рад	$\sigma_0 = \sigma_1 = 0,3 \cdot \sigma_{sc}$		$\sigma_0 = \sigma_1 = 0$	
				P_c , МПа	P, МН	P_c , МПа	P, МН
1	0,042	0,017	1,820	677,32	9,37	1002,20	15,65
2	0,032	0,013	1,540	839,12	10,22	1225,90	17,86
3	0,028	0,012	1,337	981,36	12,08	1429,79	21,85
4	0,026	0,011	1,162	1112,26	14,12	1619,33	26,77
5	0,024	0,011	1,009	1242,90	16,49	1809,80	31,42
6	0,022	0,0097	0,084	1342,04	18,11	1950,22	35,19

7	0,021	0,0093	0,772	1468,67	20,95	2135,71	41,35
8	0,019	0,0085	0,678	1560,08	22,84	2265,333	45,64
9	0,017	0,0077	0,605	1614,51	23,81	2339,01	47,95
10	0,015	0,0071	0,543	1686,71	25,57	2441,77	51,81
11	0,11	0,0052	0,507	1564,59	21,42	2250,65	34,42

Произведем расчет усилия при асимметричной прокатке ($1 \leq K_v \leq K_{vkp}$):

$$p_c = \frac{\sigma_{sc} \cdot h_{\gamma_1} \cdot \ln \lambda - \sigma_0 \cdot (h_0 \cdot h_{\gamma_1}) - \sigma_1 \cdot (h_{\gamma_1} - h_1)}{\Delta h - 2fR \cdot [\alpha_0 - (\gamma_1 + \gamma_2)] + 2f \cdot h_{\gamma_1} \sqrt{\frac{R}{h_1}} (\arctg \sqrt{\lambda - 1} - \arctg \gamma_1 \sqrt{\frac{R}{h_1}} - \arctg \gamma_2 \sqrt{\frac{R}{h_1}})} \quad (2.10)$$

Критическое соотношение окружных скоростей валков равно:

$$K_{vkp} = 1 + \frac{4 \cdot \gamma^2 \cdot R}{h_1}, \quad (2.11)$$

Для первого прохода:

$$K_{vkp} = 1 + \frac{4 \cdot 0,017^2 \cdot 250}{1,75} = 1,16,$$

Критический угол на контакте с ведущим валком:

$$\gamma_1 = \gamma - \frac{K_v - 1}{4 \cdot \gamma} \cdot \frac{h_1}{R}. \quad (2.12)$$

Для первого прохода:

$$\gamma_1 = 0,017 - \frac{1,16 - 1}{4 \cdot 0,017} \cdot \frac{1,75}{250} = 0 \text{ рад.}$$

Высота полосы в критическом сечении:

$$h_{\gamma_1} = h_1 + R_{\gamma_1}^2. \quad (2.13)$$

Для первого прохода:

$$h_{\gamma_1} = 1,75 + 250 \cdot 0 = 1,75 \text{ мм}$$

Критический угол на контакте с ведомым валком:

$$\gamma_2 = \frac{1}{2K_v} \cdot \left(2\gamma - \frac{K_v - 1}{2\gamma} \cdot \frac{h_1}{R} \right). \quad (2.14)$$

Для первого прохода:

$$\gamma_2 = \frac{1}{2 \cdot 1,16} \cdot \left(2 \cdot 0,017 - \frac{1,16 - 1}{2 \cdot 0,017} \cdot \frac{1,75}{250} \right) = 0,029 \text{ рад.}$$

Высота полосы в критическом сечении:

$$h_{\gamma_2} = h_1 + R\gamma_2^2. \quad (2.15)$$

Для первого прохода:

$$h_{\gamma_2} = 1,75 + 250 \cdot 0,029^2 = 2,581 \text{ мм.}$$

Напряжение заднего и переднего натяжения принимаем $\sigma_0 = \sigma_1 = 0,3 \cdot \sigma_{sc}$.

Среднее нормальное контактное напряжение при асимметричной прокатке будет равно:

$$P_c = \frac{784,9 \cdot 1,8 \cdot \ln 1,257 - 235,5 \cdot (2,2 - 1,8) - 235,5 \cdot (1,8 - 1,75)}{0,45 - 2 \cdot 0,1 \cdot 250 \cdot [0,042 - (0 + 0,029)] + 2 \cdot 0,1 \cdot 1,8 \cdot \sqrt{\frac{250}{1,75}} (\arctg \sqrt{1,257 - 1} - \arctg 0, \sqrt{\frac{250}{1,75}} - \arctg 0,029 \sqrt{\frac{250}{1,75}})} \times$$

$$= 603,4 \text{ МПа}$$

Длина очагов деформации с учетом упругого сплющивания валков рассчитывается по формуле (2.9).

Для первого прохода:

$$l = \sqrt{250 \cdot 0,45 + (1,5 \cdot 1,12 \cdot 10^{-5} \cdot 250 \cdot 603,4)^2} + 1,5 \cdot 1,12 \cdot 10^{-5} \cdot 250 \cdot 603,4 = 13,44 \text{ мм.}$$

Усилия прокатки вычисляется по формуле (2.8):

$$P = 603,4 \cdot 1000 \cdot 13,44 = 8,113 \text{ МН.}$$

Для остальных проходов геометрические параметры и усилия прокатки представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 - Результаты расчетов асимметричного процесса.

Проход №	$K_{vkr}, \text{мм}$	$\gamma_1, \text{мм}$	$h_{\gamma_1}, \text{мм}$	$\gamma_2, \text{мм}$	$h_{\gamma_2}, \text{мм}$
1	1,16	0	1,8	0,029	2,581
2	1,118	0	1,5	0,024	2,069
3	1,113	0	1,3	0,022	1,776
4	1,114	0	1,1	0,02	1,545
5	1,118	0	0,98	0,019	1,442
6	1,111	0	0,86	0,018	1,169
7	1,118	0	0,75	0,017	1,032
8	1,112	0	0,66	0,015	0,889
9	1,1	0	0,59	0,014	0,784
10	1,096	0	0,53	0,013	0,700
11	1,054	0	0,50	0,001	0,597

Таблица 5 - Результаты расчетов среднего удельного давления и усилия прокатки асимметричного процесса.

Проход №	$\sigma_0 = \sigma_1 = 0,3 \cdot \sigma_{sc}$		$\sigma_0 = \sigma_1 = 0$	
	$P_c, \text{МПа}$	$P, \text{МН}$	$P_c, \text{МПа}$	$P, \text{МН}$
1	603,4	8,11	910,5	13,75
2	736,6	8,53	1090,2	14,95
3	849,8	9,76	12,54,3	17,67
4	948,7	11,03	1399,4	20,51
5	1041,8	12,4	1537,6	23,61
6	1107,4	13,11	1629,7	25,44

7	1186,2	14,49	1748,3	28,61
8	1236,8	15,13	1818,9	30,25
9	1262,9	15,32	1850,2	30,71
10	1296,8	15,37	1897,8	31,95
11	1254,9	13,88	1802,9	28,17

Расчет усилия при прокатке-волочения ($K_p = \lambda$)

Процесс прокатки-волочения может быть реализован в области изменения натяжений в границах:

- первый предельный случай (прокатка-волочение1) $\sigma_{1\min} = \sigma_{sc} \ln \lambda, \sigma_0 = 0$;
- второй предельный случай (прокатка-волочение2) при $\sigma_{1\max} = \sigma_s, \sigma_{0\max} = \sigma_{sc}(1 - \ln \lambda)$.
- Первый предельный случай (прокатка-волочение1) рассчитывается по формуле:

$$P_{nbl} = \sigma_{sc} \cdot \left(1 - \frac{\ln 2}{2}\right). \quad (2.16)$$

Первый предельный случай (прокатка-волочение2) при $\sigma_1 = \sigma_{sc}$, рассчитывается по формуле:

$$P_{nbl} = \sigma_{sc} \cdot \left(\frac{\ln 2}{2}\right). \quad (2.17)$$

Произведем расчет процесса прокатки-волочение при $\sigma_{1\max} = 0.3 \cdot \sigma_{sc}, \sigma_0 = \sigma_{1\max} - \sigma_{sc} \ln \lambda$.

$$P_{nbl} = \sigma_{sc} \cdot \left(0,7 - \frac{\ln 2}{2}\right). \quad (2.18)$$

Для первого прохода:

$$P_{nbl} = 784,9 \cdot \left(1 - \frac{\ln 1,257}{2}\right) = 695,1 \text{ МПа.}$$

Длина очагов деформации с учетом упругого сплющивания валков рассчитывается по формуле (2.9):

$$l = \sqrt{250 \cdot 0,45 + (1,5 \cdot 1,12 \cdot 10^{-5} \cdot 250 \cdot 695,1)^2} + 1,5 \cdot 1,12 \cdot 10^{-5} \cdot 250 \cdot 695,1 = 13,92 \text{ мм.}$$

Усилия прокатки вычисляются по формуле (2.8):

$$P_1 = 695,1 \cdot 1000 \cdot 13,92 = 9,696 \text{ МН}$$

Для остальных проходов расчеты представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Расчеты усилия прокатки при прокатке-волочении.

Проход №	$\sigma_{1\min} = \sigma_{sc} \ln \lambda, \sigma_0 = 0$		$\sigma_{1\max} = 0,3 \cdot \sigma_{sc}, \sigma_0 = \sigma_{1\max} - \sigma_{sc} \ln \lambda$	
	$P_c, \text{ МПа}$	$P, \text{ МН}$	$P_c, \text{ МПа}$	$P, \text{ МН}$
1	695,09	9,68	459,62	5,84
2	894,82	11,19	603,96	6,54
3	1033,73	13,07	699,72	7,41
4	1146,54	14,80	776,67	8,19
5	1241,25	16,45	840,33	8,91
6	1327,03	17,77	901,10	9,41
7	1393,02	19,09	944,42	9,96
8	1456,71	20,19	989,86	10,36
9	1513,82	21,15	1032,70	10,70
10	1555,62	21,98	1062,49	11,02
11	1615,72	22,79	1116,46	11,30

По полученным данным построим график зависимостей усилий прокатки от толщины полосы при разных процессах прокатки. (Рисунок 1)

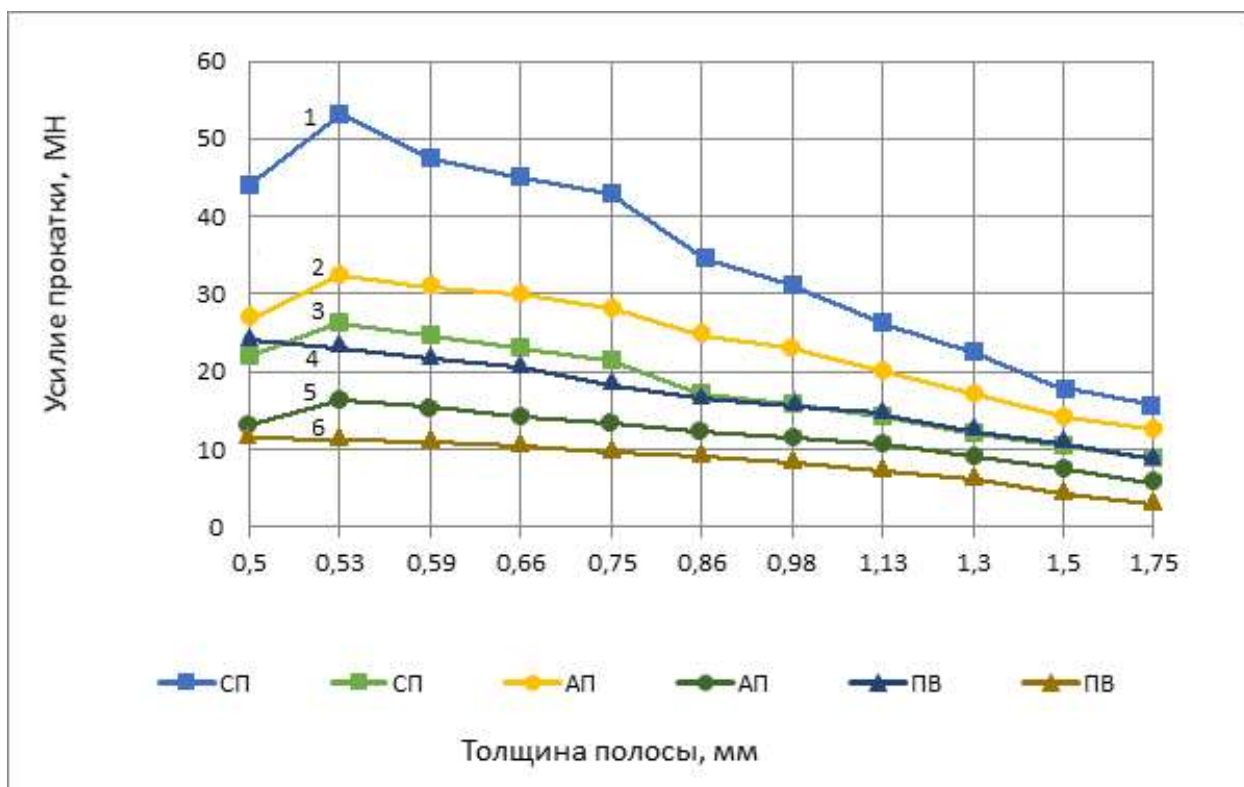


Рисунок 1 – Зависимость усилий прокатки от толщины полосы.

- 1) СП при $\sigma_0 = \sigma_1 = 0$;
- 2) АП при $\sigma_0 = \sigma_1 = 0$;
- 3) СП при $\sigma_0 = \sigma_1 = 0,3 * \sigma_{sc}$;
- 4) ПВ при $\sigma_{1min} = \sigma_{sc} \ln \lambda, \sigma_0 = 0$;
- 5) АП при $\sigma_0 = \sigma_1 = 0,3 * \sigma_{sc}$;
- 6) ПВ при $\sigma_{1max} = 0,3 * \sigma_{sc}, \sigma_0 = \sigma_{1max} - \sigma_{sc} \ln \lambda$.

Из графика следует, что уровень усилия прокатки и область изменения усилия во всех трех процессах сильно отличаются друг от друга. Из этого следует, что, используя разные кинематические режимы прокатки можно существенно влиять на давление прокатки, которое является определяющим фактором при сплющивании и прогибе валков во время прокатки.

3. РАЗРАБОТКА НОВОЙ СХЕМЫ ПРОКАТКИ

Известно из технической литературы, что на усилия и натяжение прокатки существенно влияют кинематические параметры рабочих валков.

На универсальном стане кварто 1700 холодной прокатки предлагается строить схему прокатки, не только задавая вытяжки или обжатия, но и в каждом проходе реализовывать свой кинематический вариант процесса прокатки. На сегодняшний день изучен диапазон процессов холодной прокатки от СП процесса, когда соотношение окружных скоростей валков равно 1, до процесса прокатки-волочения, когда соотношение окружных скоростей равно коэффициенту вытяжки. В промежутке между симметричным процессом и процессом прокатка-волочение лежит большая гамма асимметричных процессов ($1 < K_v < \lambda$), которыми можно варьировать.

Задача состоит в том, чтобы сохранить относительный профиль холоднокатаного подката т.е. относительно поперечную разнотолщинность полосы до получения конечной толщины. Целесообразно построить схему прокатки так, чтобы по проходам деформация валкового узла без других воздействий, следовала в относительных величинах за изменениями относительной поперечной разнотолщинности по проходам.

При асимметричном процессе и при процессе прокатки-волочение усилия снижаются, что позволяет в последних проходах получить увеличенное обжатие полосы, без перегрузок клетки по давлению.

Предлагаемая схема прокатки полос с 2,2мм – 0,5мм с применением различных процессов прокатки приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Предлагаемая схема прокатки, с применением различных процессов прокатки полос с 2,2мм – 0,5мм.

Проход №	Толщина полосы, мм		Варианты процесса прокатки	K_v	σ_{sc} , МПа	σ_0 , МПа	σ_1 , МПа	P, МН
	h_0	h_1						
1	2,2	1,55	СП	1	932,6	186,51	186,51	17,22
2	1,55	1,39	СП	1	1048,3	83,86	83,86	15,50
3	1,39	1,119	АП	1,124	1190,5	258,33	258,33	13,27
4	1,19	1,05	АП	1,104	1288,3	360,72	360,72	11,77
5	1,05	0,96	АП	1,077	1350,9	405,26	405,26	10,73
6	0,96	0,84	ПВ	1,143	1433,4	238,61	430,0	9,37
7	0,84	0,73	ПВ	1,151	1508,6	361,51	573,25	8,14
8	0,73	0,62	ПВ	1,177	1583,1	445,91	704,47	6,94
9	0,62	0,5	ПВ	1,24	1663,9	474,03	831,95	5,59

Как следует из расчетов, усилия прокатки в последних проходах, осуществляемых способом прокатка-волочение, значительно меньше, нежели при симметричном процессе прокатки.

На рисунке 2 графически показано, как варьирование соотношения окружных скоростей валков влияет на усилия прокатки.

На рисунке 3 графически показано варьирование передним и задним натяжением полосы при заданном усилии прокатки.

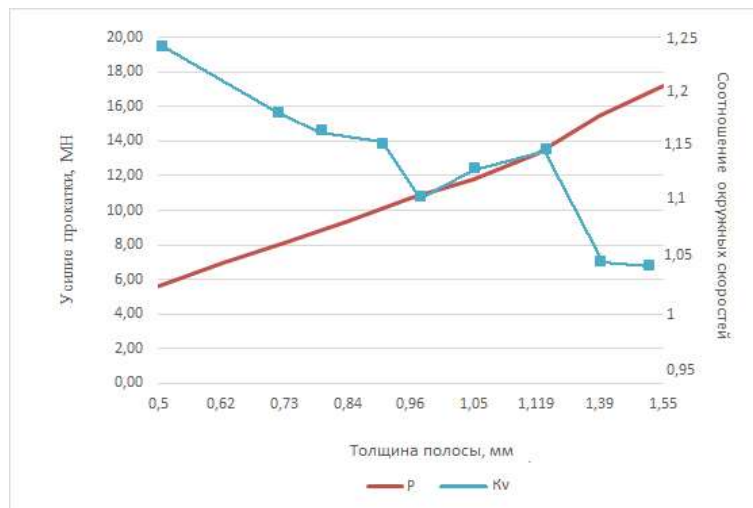


Рисунок 2 - Усилие прокатки и соотношения окружных скоростей в зависимости от толщины полосы.

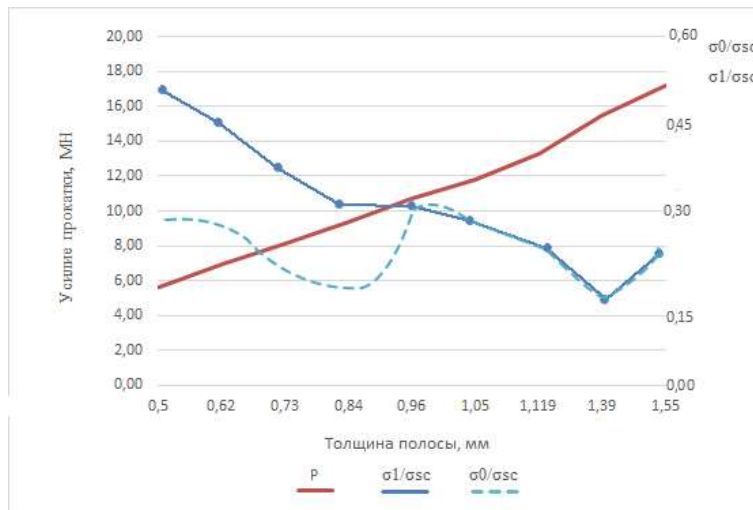


Рисунок 3 - Усилия прокатки в зависимости от толщины полосы при разных заданных натяжениях прокатки.

Исходя из графиков и таблиц следует вывод, что данная схема прокатки из девяти проходов вместо одиннадцати, может реализовываться на стане кварто 1700. Для того чтобы удостовериться в отсутствии перегрузок клетки по моментам и мощностям, перейдем к расчету энергосиловых параметров.

4. РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПО ПРЕДЛАГАЕМОЙ СХЕМЕ ПРОКАТКИ

Расчет энергосиловых параметров при прокатке полос 2,2мм-0,5 мм

Момент на валке при симметрично процессе прокатки равен [7]:

$$M_{\epsilon} = P_{cn} \cdot f \cdot R \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{\gamma}{\alpha_0} \right). \quad (4.1)$$

Для первого прохода:

$$M_{\epsilon} = 1,722 \cdot 10^7 \cdot 0,1 \cdot 0,25 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{0,019}{0,051} \right) = 109,7 \text{кН} \cdot \text{м}.$$

Мощность прокатки при симметричном процессе прокатки равна:

$$N_{\epsilon} = M_{\epsilon} \cdot \frac{V_{np}}{R}. \quad (4.2)$$

Для первого прохода:

$$N_{\epsilon} = 109,7 \cdot \frac{1,5}{0,25} = 658,4 \text{кВт}.$$

Суммарная мощность в очаге деформации:

$$N_{\Sigma} = 2 \cdot N_{\epsilon}. \quad (4.3)$$

Для первого прохода:

$$N_{\Sigma} = 2 \cdot 658,4 = 1316,8 \text{кВт}.$$

Второй проход рассчитывается аналогично.

Асимметричный процесс прокатки рассчитывается при $K_v = K_{vкр}$.

Момент на ведущем валке при асимметричном процессе равен:

$$M_{\epsilon 1} = P_{an} \cdot f \cdot R \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{\gamma}{\alpha_0} \right) \quad (4.4)$$

Критический угол на ведущем валке равен $\gamma_1 = 0$.

Для третьего прохода:

$$M_{\epsilon 1} = 1.327 \cdot 10^7 \cdot 0.1 \cdot 0.25 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{0}{0.028} \right) = 331.8 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Мощность на ведущем валке равна:

$$N_{\epsilon 1} = M_{\epsilon 1} \cdot \frac{V_{np}}{R} \quad (4.5)$$

Для третьего прохода:

$$N_{\epsilon} = 331,8 \cdot \frac{5.0}{0,250} = 6635,0 \text{ кВт}$$

Момент на ведомом валке при асимметричном процессе равен:

$$M_{\epsilon 0} = P_{an} \cdot f \cdot R \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{\gamma}{\alpha_0} \right) \quad (4.6)$$

Критический угол на ведомом валке равен $\gamma_0 = 2\gamma$.

Для третьего прохода момент на ведомом валке:

$$M_{\epsilon 0} = 1.327 \cdot 10^7 \cdot 0.1 \cdot 0.250 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{0.024}{0.028} \right) = -236.9 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Мощность на ведомом валке равна:

$$N_{\epsilon 0} = M_{\epsilon 0} \cdot \frac{V_{np}}{\lambda \cdot R} \quad (4.7)$$

Для третьего прохода:

$$N_{\varepsilon 0} = -236,9 \cdot \frac{5,0}{1,168 \cdot 0,250} = -4057,0 \text{ кВт}.$$

Суммарная мощность в очаге деформации:

$$N_{\Sigma} = N_{\varepsilon 1} + N_{\varepsilon 0}. \quad (4.8)$$

Для третьего прохода:

$$N_{\Sigma} = 6635,0 - 4057,6 = 2577,4 \text{ кВт}.$$

Четвертый и пятый проход рассчитывается аналогично.

Момент на ведущем валке при прокатки-волочении равен:

$$M_{\varepsilon 1} = P_{нв} \cdot f \cdot R \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{\gamma}{\alpha_0} \right). \quad (4.9)$$

Критический угол на ведущем валке равен $\gamma_1 = 0$.

Для шестого прохода:

$$M_{\varepsilon 1} = 9,37 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 0,250 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{0}{0,022} \right) = 234,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Мощность на ведущем валке для шестого прохода рассчитывается по формуле (23):

$$N_{\varepsilon 1} = 234,2 \cdot \frac{5,0}{0,250} = 4684,4 \text{ кВт}.$$

Момент на ведомом валке при прокатки-волочении равен:

$$M_{\varepsilon 2} = P_{нв} \cdot f \cdot R \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{\gamma}{\alpha_0} \right). \quad (4.10)$$

Критический угол на ведомом валке равен $\gamma_0 = \alpha_0$.

Для шестого прохода:

$$M_{\epsilon_2} = 9,37 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 0,250 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{0,022}{0,022} \right) = -234,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Мощность на ведомом валке для шестого прохода рассчитывается по формуле (4.7):

$$N_{\epsilon_0} = -234,2 \cdot \frac{5,0}{1,143 \cdot 0,250} = -4098,4 \text{ кВт}$$

Суммарная мощность в очаге деформации для шестого прохода рассчитывается по формуле (4.8):

$$N_{\Sigma} = 4684,5 - 4098,4 = 586,1 \text{ кВт}$$

Для остальных проходов расчет энергосиловых параметров аналогичен.

Таблица 8 - Результаты расчётов энергосиловых параметров при прокатке полосы 2,2мм – 0,5мм

Проход №	Вариант процесса прокатки	$M_{B1}, \text{кН} \cdot \text{м}$	$M_{B0}, \text{кН} \cdot \text{м}$	$N_{B1}, \text{кВт}$	$N_{B0}, \text{кВт}$	$N_{\Sigma}, \text{кВт}$
1	СП	109,7	109,7	658,4	658,4	1316,8
2	СП	46,5	46,5	558,0	558,0	1116,0
3	АП	331,8	-236,9	6635,0	-4057,6	2577,4
4	АП	294,3	-196,2	5885,0	-3411,6	2473,4
5	АП	268,3	-216,9	5365,0	-3761,7	1603,3
6	ПВ	234,2	-234,2	4684,5	-4098,4	586,1
7	ПВ	203,5	-203,5	4070,5	-3536,5	534,0
8	ПВ	173,5	-173,5	3470,5	-2948,6	521,9
9	ПВ	139,8	-139,8	2795,5	-2254,4	541,1

По полученным данным построим графики зависимостей моментов прокатки от номера прохода (рисунок 4)

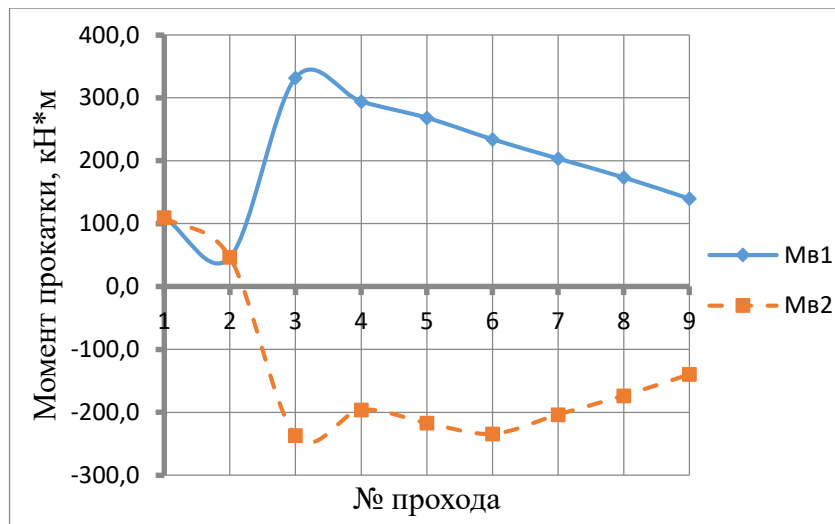


Рисунок 4 – Зависимость моментов прокатки от номера прохода.

По полученным данным построим график зависимости мощности прокатки от номера прохода (рисунок 5).

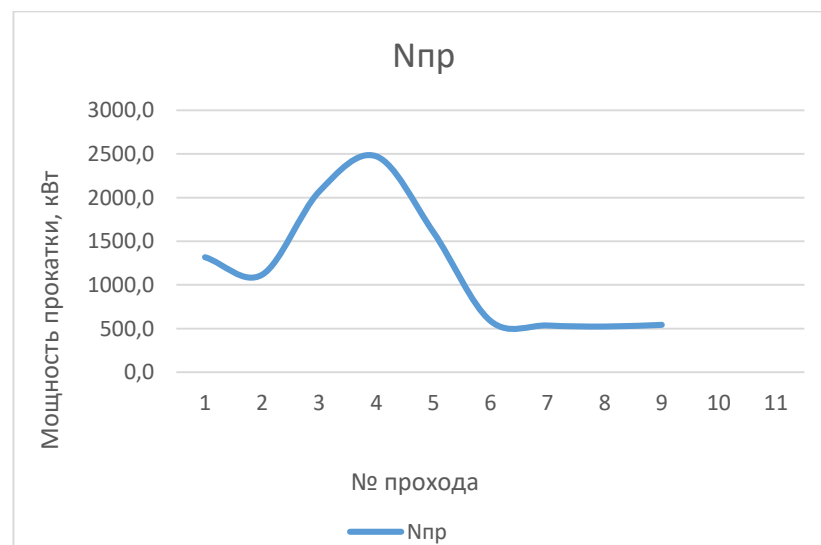


Рисунок 5 - Зависимость мощности прокатки от номера прохода.

Расчитанные значения моментов и мощностей по проходам с применением различных процессов не превышают допустимых параметров стана 1700.

Основываясь на проделанных расчетах и выводах, смоделируем усовершенствованную главную линию стана для реализации всех вариантов процессов прокатки.

Структура универсального реверсивного стана кварто 1700 для реализации процессов симметричной прокатки, асимметричной прокатки и прокатки-волочения изображена на рисунке 6. Штриховкой выделено существующее оборудование.

Для усовершенствования существующего оборудования, необходима установка двух натяжных станций. У каждой станции имеется своя шестерная клеть и двигатель привода.

Натяжные станции позволяют осуществлять на стане симметричный процесс (СП), асимметричный процесс (АП) и процесс прокатки-волочения (ПВ) в режиме заданных скоростей концов полосы (РЗС).

Различие состоит в том, что при симметричном процессе (СП) скорости валков одинаковые, при асимметричном процессе (АП) процессе они не равны, а при процессе прокатки-волочения (ПВ) соотношение окружных скоростей валков равно вытяжке. Скорости концов полосы при РЗС задаются при любом процессе, за счет скорости роликов натяжных станций, а натяжения возникают автоматически, и как следствие связаны с усилием прокатки, т.е. положением валков.

В режиме заданных натяжений (РЗН), скорости концов полосы являются производными от величины заданных натяжений.

В режиме заданных скоростей (РЗС), наоборот, натяжения являются следствием принудительно устанавливаемых скоростей концов полосой

При РЗС натяжные станции несут такую же функцию, что и охват, полосой рабочих валков, обеспечивая саморегулирование процессов.

Заправка полосы осуществляется в РЗН, напрямую, то есть на моталку, а РЗС через натяжные станции.

В том же самом режиме заданных скоростей нужно контролировать отсутствие проскальзывания полосы относительно натяжных роликов.

Таким образом, независимо можно задавать различные процессы между валками и осуществлять их либо в режиме заданных скоростей, либо в режиме заданных натяжений уже с точки зрения воздействия на полосу вне очага деформации.

В результате получаем универсальный реверсивный четырехвалковый стан холодной прокатки, с применением на нем гибкой технологии прокатки.

6. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОЛЩИНЫ ПОЛОСЫ

В четырехвалковой клети регулирование толщины полосы осуществляется за счет изменения натяжений переднего и заднего конца полосы.

Блок схема автоматического регулирования толщины полосы представлена на рисунке 7.

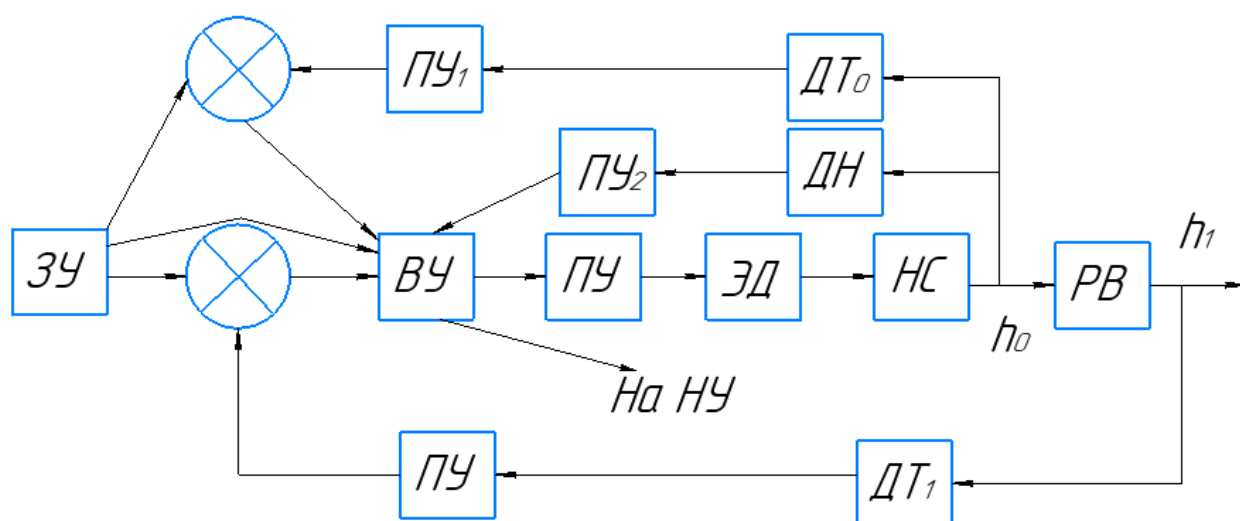


Рисунок 7 - Блок схема системы автоматического регулирования толщины полосы.

ЗУ- задающее устройство,

ВУ- вычислительное устройство,

ПУ, ПУ1, ПУ2- преобразовательное устройство,

РВ- рабочие валки,

ЭД- электродвигатель привода натяжных станций,

НС- натяжная станция,

ДТ- датчик толщины полосы,

ДН- датчик натяжения полосы,

НУ- нажимное устройство.

Система автоматического регулирования работает следующим образом: до начала прокатки настройка клетки осуществляется нажимным устройством (НУ).

После начала прокатки толщина полосы до и после клетки измеряется датчиками толщины (ДТ), сигнал которых передается через преобразовательное устройство (ПУ) на сравнительный блок, где значение действительной толщины подката и полосы после прокатки сравнивается с требуемым значением. Если значения не совпадают, то результат сравнения передается на вычислительное устройство (ВУ). Также измеряется натяжение заднего конца полосы датчиком натяжения (ДН), сигнал которого передается через преобразовательное устройство (ПУ₂) на вычислительное устройство. Вычислительное устройство с учетом характеристик полосы выполняет расчет величины подстройки натяжения и если требуемое значение натяжения находится в необходимом диапазоне натяжений, то вычислительное устройство подает сигнал через преобразовательное устройство, (ПУ) электродвигателю (ЭД) на изменение частоты вращения. При изменении частоты вращения вала электродвигателя изменяется частота вращения роликов натяжной станции (НС) и тем самым изменяется натяжение полосы, а при изменении натяжения изменяется толщина полосы. Если требуемое значение натяжения находится за пределами необходимого диапазона натяжений, то вычислительное устройство подает сигнал на нажимное устройство клетки (НУ) для регулирования толщины полосы.

На стане применяются следующие приборы технологического контроля.

Устройство измерения усилий на валки (месдоза) типа УИУ-3000-Б.К.01.

Предназначено для измерения и преобразования в пропорциональный электрический сигнал суммарного и разностного давления металла на нажимные винты клетки в процессе прокатки.

Преобразователь, которым является магнитоупругий чувствительный элемент. Чувствительный элемент представляет собой магнитопровод, изготовленный из пластин электротехнической стали. Перпендикулярно набору магнитопровода выполнены группы цилиндрических пазов. В пазах взаимно-перпендикулярно расположены две обмотки так, что их плоскость составляет угол 45° с направлением измеряемого усилия.

Автоматическое регулирование полосы, прокатываемой на стане, происходит перемещением нажимных винтов и изменением натяжений.

Основные датчики системы — это рентгеновские измерители толщины, установленные по обе стороны прокатной клетки.

Бесконтактный рентгеновский измеритель толщины ИТХ-5736 служит для автоматического непрерывного измерения и записи толщины движущейся полосы и выдачи информации о величине отклонения толщины полосы от заданного размера.

Система автоматического регулирования толщины полосы позволяет обеспечить более высокие показатели качества выпускаемой продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучено влияние разных кинематических параметров на усилие прокатки и проведены сравнительные расчеты усилия давления при прокатке холоднокатаных полос с 2,2мм – 0,5мм при различных процессах прокатки.
2. Выполнен анализ влияния разных процессов прокатки (СП, АП, ПВ) на давление и установлено, что целесообразным является использовать схему прокатки с применением в первых проходах СП и АП, а в последних – ПВ. При этом, существенно снижается давление прокатки и достигается сокращение числа проходов с 11 до 9. Таким образом применение разных кинематических режимов позволяет повысить производство холоднокатаных полос.
3. Выполнены расчёты по предложенной схеме прокатки, приведены расчеты энергосиловых параметров, которые позволяют судить о возможности их осуществления на данном стане, т.е. не превышают допустимые параметры стана.
4. Предложена усовершенствованная структура главной линии стана, позволяющая реализовать на нем разные варианты процессов прокатки.
5. Приведена схема САРТ учитывающая влияние скоростей валков на вытяжку полосы при реализации ПВ с натяжением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технологическая инструкция. Холодная прокатка и дрессировка полос на реверсивных станах кварто 1700 в прокатном цехе №5. – Челябинск: ПМЦ ЧМК, 2004. – 43с.
2. Дубинский Ф.С., В.И. Крайнов. Расчет энергосиловых параметров процесса прокатки с применением ЭВМ: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Челябинск: Изд ЧГТУ, 1994- 56с.
3. Агеев, Л.М. Теория процессов прокатки: курс лекций / Л.М. Агеев, - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. – 94с.
4. Целиков, А.И. Теория прокатки. Справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин и др. – М.: Metallurgy, 1982. – 335с.
5. Гарбер, Э.А. Станы холодной прокатки (теория, оборудование, технология) / Э.А. Гарбер. – М.: ОАО «Черметинформация»; Череповец: ГОУ ВПО ЧГУ, 2004. - 416с.
6. Пименов, А.С. Высокоточная прокатка тонких листов / А.С. Пименов, В.П. Полухин, Ю.В. Липухин и др. – М.: Metallurgy, 1988. – 176с.
7. Железнов, Ю.Д. Совершенствование производства холоднокатаной листовой стали / Ю.Д. Железнов, В.А. Чёрный, А.П. Кошка и др. – М.: Metallurgy, 1982. – 230с.
8. Королев, А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов: Учебное пособие для вузов / А.А. Королев. – М.: Metallurgy, 1969. – 464с.
9. Горбасов, Н.И. Достижения в области холодной прокатки листового металла за рубежом / Н.И. Горбасов – М.: Metallurgy, 1983.

