

УДК. 621. 771. 01

*М. Н. ШТОДА, С. В. ЕРШОВ, С. Н. МЕЛЬНИК, В. М. САМОХВАЛ, С. Ю. ГАВРИЛИН***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА НАСТРОЙКИ ЧИСТОВОГО БЛОКА ПРИ ПРОКАТКЕ КАТАНКИ ДИАМЕТРОМ 5,5 ММ**

У статті описаний режим налаштування проволочного блоку стану 400/200 ПАТ «Дніпровський меткомбінат» для прокатки катанки діаметром 5,5 мм, що розроблений на підставі результатів розрахунку математичної моделі процесу безперервної прокатки катанки. Модель крім розмірів штаби по модулях дозволяє визначати умови прокатки в просторах між модулями проволочного блоку залежно від його основних налаштувань, що визначають технологічні параметри. Порівняння результатів розрахунку з експериментальними даними підтвердило адекватність запропонованої математичної моделі. Помилка визначення висоти і ширини штаби знаходиться в межах загальноприйнятої інженерної точності розрахунків. Вимірювання готового профілю по довжині бунту показали, що розміри поперечного перерізу катанки стабільні по довжині мотка бунту і входять у межі допуску $\pm 0,2$ мм. Дефектний передній кінець бунту був повністю виключений, довжина заднього дефектного кінця скоротилася з 5 витків (~15 м) до 2,5 витків (~7,5 м). На перших експериментальних бунтах катанки виявлений закат на поверхні штаби, що виник із-за переповнення передчистового круглого калібру (8 модуль). Переповнення передчистового круглого калібру (8 модуль) обумовлено недосконалою формою і розмірами калібрів 6, 7 і 8 модулів блоку, а також неточністю установки зазорів між валками цих модулів. При вимірюванні катанки виявлений ефект висотного утягування профілю в чистовому калібрі при прокатці на робочих швидкостях. Причина утягування потребує подальших досліджень.

Ключові слова: катанка, натяг між модулями, проволочний блок, утягування висоти профілю, точність налаштування, розширення, дефектний кінець бунту

В статье описан режим настройки проволочного блока стана 400/200 ПАО «Днепропетровский меткомбинат» для прокатки катанки диаметром 5,5 мм, разработанный на основании результатов расчета математической модели процесса непрерывной прокатки катанки. Модель помимо размеров полосы по модулям позволяет определять условия прокатки в пространствах между модулями проволочного блока в зависимости от его основных настроек, определяющих технологические параметры. Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными подтвердило адекватность предлагаемой математической модели. Ошибка определения высоты и ширины полосы находится в пределах общепринятой инженерной точности расчетов. Измерение готового профиля по длине бунта показали, что размеры поперечного сечения катанки стабильны по длине мотка бунта и входят в допуск $\pm 0,2$ мм. Дефектный передний конец бунта полностью исключен, длина заднего дефектного конца сократилась с 5 витков (~15 м) до 2,5 витков (~7,5 м). На первых экспериментальных бунтах катанки выявлен закат на поверхности полосы, возникший из-за переполнения предчистового круглого калибра (8 модуль). Переполнение предчистового круглого калибра (8 модуль) обусловлено несовершенной формой и размерами калибров 6, 7 и 8 модулей блока, а также неточностью настройки зазоров между валками этих модулей. При измерении катанки выявлен эффект высотной утяжки профиля в чистовом калибре при прокатке на рабочих скоростях. Причина утяжки требует дальнейших исследований.

Ключевые слова: катанка, натяжение между модулями, проволочный блок, утяжка высоты профиля, точность настройки, уширение, дефектный конец бунта

This article describes the setup mode block of rolling mill PJSC «Dneprovsky Integrated Iron&Steel Works» for rolling wire rod, 5.5 mm diameter, that developed on the basis of results calculation the mathematical model of the process of continuous rolling of wire rod. Model allows to define the size of the bars by the stands, the conditions of rolling in the spaces between the stands of the wire block depending on the basic settings that determine the technological parameters. Comparison of calculation results with experimental data confirmed the adequacy of the proposed mathematical model. Mistake determination of the height and width of the wire rod is within common engineering accuracy calculations. Measurement of the finished profile along the length coil of wire rod showed that the cross-sectional dimensions are stable along the length coil of wire. The sizes of the cross-section are contained in the tolerance of $\pm 0,2$ mm. Defective forward end of the coil wire was fully excluded. Length defective end was reduced from 5 convolutions (~15 m) to 2.5 convolutions (~7.5 m). The fold on the wire surface found on the first experimental coils of rod, caused by the overflow the before finishing round caliber (8 stand). The overflow the before finishing round caliber (8 stand) due to imperfect shape and dimensions of the calibers 6, 7 and 8 stands of the block, as well as inaccuracy by setting of the gap between the rolls of these stands. The effect reduced of height profile in the finishing pass in the rolling at operating speeds was identifying during measurement. Reason for the reduced height requires further research.

Keywords: wire rod, the tension between the stands, wire rod block, reduced of height profile, precision setting, a spreading, defective end in the coil of wire rod

Введение. Большинство современных сортовых станов в своем составе имеют одну или несколько непрерывных групп клетей. В зависимости от настройки клетей прокатка в них может протекать с тремя режимами в межклетевых пространствах: с петлеобразованием, подпором или натяжением. Режим прокатки, как отмечено в работе [1], существенно влияет на точность прокатываемого профиля по длине.

Если при прокатке в непрерывных группах клетей с индивидуальным приводом существует возможность регулирования натяжения за счет изменения частоты вращения валков соседних клетей,

то при прокатке катанки в проволочных блоках с общим приводом модулей режим натяжений между модулями блока определяется заданными конструкцией блока передаточными числами от электродвигателя к валкам [2]. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что на практике при эксплуатации станов между модулями блока могут возникать довольно значительные силы натяжения и подпора, что снижает точность катанки, приводит к повышенному износу деталей привода отдельных модулей, а также к изгибу раската в межклетевых пространствах и аварийной остановке блока [2].

Анализ состояния вопроса. Одни из первых исследований влияния натяжения на утяжку профиля были описаны в работе [3]. В этой работе показано, что между клетями могут возникать условия, при которых прокатываемая полоса подвергается пластической деформации, рассмотрены вопросы, связанные со скоростным режимом прокатки в непрерывных группах клетей с натяжением между клетями, выведены зависимости для определения напряжения натяжения полосы между клетями.

В работе Выдрин В.Н. [4] описана математическая модель непрерывного сортового стана, основанная на законе постоянства секундных объемов. Модель учитывает влияние рассогласования скорости отдельных клетей, перемещения нажимных винтов клетей (обжатия по клетям), сил трения и жесткости механических характеристик двигателей клетей.

Этот подход получил развитие в работах [5] и [6]. Модели, описанные в этих работах, учитывают диаметры валков, передаточные отношения, заложенные в конструкцию блоков. Экспериментальные исследования и расчетные данные, приведенные в работах [5, 6] показывают возможность регулирования величины натяжения полосы между модулями проволочного блока за счет изменения зазоров между валками по проходам.

Основной недостаток существующих разработок – отсутствие общих рекомендаций к использованию результатов исследований, использование в моделях формул для расчета уширения полосы при прокатке в овальных и круглых калибрах, которые в условиях проволочного блока не позволяют определить ширину полосы в каждом проходе с необходимой точностью до 5%, использование закона постоянства секундных объемов, несмотря на замечание авторов в работе [3] о том, что этот закон при натяжении между клетями не выполняется.

Цель работы – разработка режима настройки чистового блока при прокатке катанки $\varnothing 5,5$ мм, обеспечивающая уменьшение размеров дефектного переднего и заднего концов бунта в условиях ПАТ «Днепропетровский меткомбинат».

Постановка задачи. Технологический процесс производства катанки, осуществленный в настоящее время на ПАО «Днепропетровский меткомбинат» и на большинстве металлургических предприятиях мира, предполагает разделение всего периода прокатки в проволочном блоке на три стадии, различающихся между собой условиями процесса. Первая стадия – прокатка переднего конца бунта, характеризующаяся прокаткой не охлажденного в установках водяного охлаждения переднего конца подката, изменением частоты вращения валков чистового блока во время захвата полосы валками первого модуля блока, изменяющимися условиями процесса прокатки по калибрам проволочного блока в связи с их заполнением. Вторая стадия процесса, самая продолжительная по времени – прокатка средней

части бунта. Эта стадия характеризуется в основном стабильными показателями работы стана: температура металла, частота вращения валков, размеры профиля полосы. Третья стадия – прокатка заднего конца бунта, которая начинается в момент выхода полосы из валков клетки предыдущей проволочному блоку. Опыт показывает, что размеры профиля, соответствующие каждой из указанных стадий, отличаются друг от друга. В результате, чаще всего, получают бунт с большей шириной катанки на переднем и заднем концах. Для устранения этого дефекта отрезают не менее 5 витков заднего и, если это предусмотрено технологией, переднего концов бунта. Основная задача этой работы – разработка режима обжатия и настройки блока, позволяющего уменьшить длину дефектного переднего и заднего концов бунта.

Для разработки оптимального режима настройки проволочного блока на основании методики расчета поперечной деформации при прокатке в овальных и круглых калибрах в условиях проволочного блока [7] была разработана математическая модель процесса непрерывной прокатки катанки. Модель помимо размеров полосы по модулям позволяет определять условия прокатки в межклетевых пространствах проволочного блока в зависимости от его основных настроек, определяющих технологические параметры (зазоры между валками модулей, частота вращения двигателя проволочного блока, температура полосы перед блоком, диаметры твердосплавных валков блока и размеры подката).

При разработке режима настройки проволочного блока стана 400/200 для прокатки катанки диаметром 5,5 мм было принято, что подкат имеет диаметр 17,2 мм; диаметр твердосплавных валков по буртам составляет 210 мм; температура металла перед чистовым блоком 900°C; линейная скорость вращения валков чистового модуля 97 м/с.

Основной критерий выбора оптимального варианта настройки блока являлась безаварийная работа стана, которую проверяли по двум параметрам: отсутствие петлеобразования между модулями блока; кинематическая вытяжка, хотя бы последних 5 модулей должна быть больше физической вытяжки в рассматриваемом очаге деформации.

В соответствии с приведенными критериями для эксперимента был выбран режим настройки блока из подката 17,2 мм, приведенный в табл. 1.

Методы исследований. Сложность проверки работоспособности математической модели процесса непрерывной прокатки катанки в проволочном блоке состоит в том, что высокая скорость прокатки в чистовом блоке исключает возможность измерения размеров профиля по модулям, поэтому чаще всего приходится ограничиваться сравнением размеров катанки, производимой по известному режиму настройки блока, с результатами расчетов, выполненных для этих условий.

Так как существует множество вариантов настройки проволочного блока с различным

распределением режима натяжений по проходам, то было решено каждый из известных режимов обжатий, реализованных на проволочном блоке, сравнить с

результатами расчетов математической модели с целью проверки ее работоспособности.

Таблица 1 – Экспериментальная таблица настройки блока (на основании расчета)

№ клетки	тип	Размеры калибра				Размеры полосы			Обжатие	Диаметр		Обороты		Передаточное отношение	Скорость прокатки	Вытяжка
		Ширина	Глубина вреза	Зазор		Высота	Ширина	Площадь		по буртам	катающий	валков	двигателя			
				по мет.	по щупу											
		мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм ²		мм	мм	мм	об/мин			
20V	-	-	-	-	-	17,2	17,2	232,35	-	-	-	-	-	-	10,4	-
1	овал	23,65	4,6	1,63	1,05	10,83	20,97	178,37	6,37	210	200,4	1157,7	1287,4	1,112	13,6	1,303
2	круг	13,83	6,14	1,57	1,1	13,85	13,2	144,24	7,12	210	197,7	1443,3	1271,6	0,881	17,0	1,237
3	овал	18,89	3,5	1,63	1,1	8,63	16,77	115,77	4,63	210	202,35	1786,2	1296,8	0,726	20,7	1,246
4	круг	11,45	4,95	1,22	0,8	11,12	10,03	92,58	5,96	210	200,08	2258,2	1284,9	0,569	26,9	1,250
5	овал	16,85	2,7	1,28	0,8	6,68	13,13	74,03	3,92	210	204,08	2838,4	1305,7	0,460	33,0	1,251
6	круг	8,97	3,7	1,3	0,95	8,7	8,1	59,04	5,41	210	202,27	3604,2	1293,9	0,359	43,2	1,254
7	овал	13,56	2,1	1,07	0,65	5,27	10,56	47,14	3,37	210	205,32	4478,2	1307,6	0,292	53,5	1,252
8	круг	7,27	2,92	0,93	0,65	6,77	6,35	37,59	4,62	210	203,99	5705,0	1306,5	0,229	67,87	1,254
9	овал	10,24	1,6	0,96	0,6	4,16	8,43	30,03	2,91	210	206,3	7159,2	1317,3	0,184	84,6	1,252
10	круг	5,76	2,18	1,3	1,3	5,66	4,94	24,89	3,53	210	204,93	8852,7	1301,3	0,147	105,6	1,207

Перед началом эксперимента на стане прокатывали катанку номинальным \varnothing 5,5 мм. По данными ОТК цеха усредненные размеры катанки по длине прокатываемых бунтов составляли \varnothing 5,6 мм. Размеры используемого подката составили \varnothing 17,3 мм.

Для проверки адекватности разработанной модели измерили фактические зазоры между валками по модулям проволочного блока (см. табл. 2). Из результатов расчетов видно, что при температуре металла перед блоком 900 °С и линейной скорости вращения валков чистового модуля блока 97 м/с режим натяжений в между модулями блока будет в табл. 2.

обеспечивать безаварийный процесс прокатки, так как в большинстве межклетевых промежутках блока возникает натяжение, а в остальных - подпор, не вызывающий петлеобразования. Кроме того, расчетные размеры готовой катанки 5,49x5,47 мм, что меньше фактических размеров – \varnothing 5,6 мм, но в пределах ошибки 2,5 %. Таким образом, модель адекватно описывает процесс прокатки катанки диаметром 5,5 мм на проволочном блоке ПАО «Днепропетровский меткомбинат» при зазорах, приведенных

Таблица 2 – Результаты измерений зазоров при помощи щупов и при прокатке по буртам валка стальной проволоки \varnothing 3 мм перед экспериментом

№ модуля	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
зазор по щупу $g_{щуп.}$, мм	1,6	1,25	1,55	0,75	0,6	1,05	0,6	0,95	1	1,35
зазор по проволоке $g_{пров.}$, мм	1,9	1,9	1,85	1,27	1,21	1,49	1,12	1,18	1,07	1,57
разница зазоров $\square g_{пров.}$, мм	0,3	0,65	0,3	0,52	0,61	0,44	0,52	0,23	0,07	0,22

Далее перешли к первому этапу

эксперимента – настройка проволочного блока в соответствии с табл. 1 и проверка точности

определения размеров поперечного сечения полосы по проходам в условиях свободной прокатки в калибрах

проволочного блока на настроечной частоте вращения валков модулей блока. Для этого установили зазоры между валками модулей блока в соответствии с табл. 1, проверяя значение зазоров при помощи щупов (точность настройки $\pm 0,05$ мм). В каждом модуле блока прокатывали стальной образец длиной не менее

300 мм, нагретый до 900°C с формой и размерами поперечного сечения, соответствующими настройкам предыдущего калибра. Размеры полосы по проходам проволочного блока, полученные во время настройки блока, сведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты измерений зазоров при помощи щупов и размеры пробного образца перед экспериментом

№ модуля	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
зазор по щупу $g_{щуп.}$, мм	-	1,05	1,1	1,1	0,8	0,8	0,95	0,65	0,65	0,6	1
Размеры образца по проходам (результаты эксперимента)											
высота h , мм	17,3	11	13,9	8,3	11,25	7	9,05	5,2	7,1	4,1	5,7
ширина b , мм	17,4	21,3	13,7	17,7	11,2	14,1	9,3	12,5	8,1	10,25	6
Размеры образца по проходам (предварительный расчет)											
высота h , мм	17,3	10,85	13,88	8,65	11,15	6,7	8,75	5,3	6,84	4,2	5,61
ширина b , мм	17,4	21,21	13,4	17,14	10,68	13,79	8,35	10,39	6,31	8,3	5,19
Анализ точности настройки											
ошибка высоты δh , мм	0,0	0,15	0,02	-0,35	0,1	0,3	0,3	-0,1	0,26	-0,1	0,09

Как видно из табл. 3, настройку высоты калибров можно считать удовлетворительной. так как в абсолютных величинах ошибка не превышает 0,4 мм в подготовительных проходах находится в пределах $\pm 5\%$ (рис. 1).

блока, а в чистовом – 0,09 мм, что меньше допуска на диаметр катанки. Относительная ошибка настройки

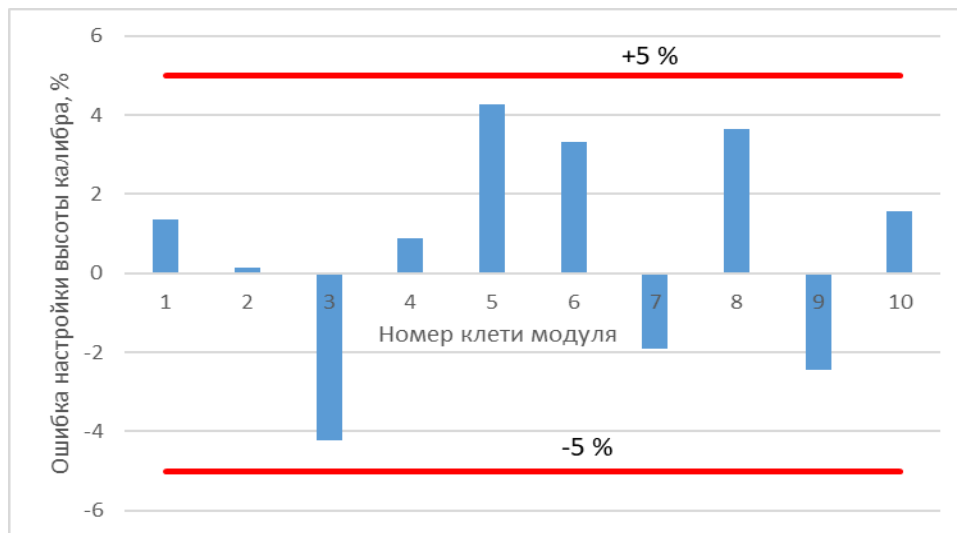


Рис. 1 – Относительная ошибка настройки зазоров между валками чистового блока по щупам

Расчетная ширина полосы по проходам, приведенная в табл. 3, несет справочный характер. Сравнить ее значения с размерами профиля по проходам проволочного блока, полученными во время настройки блока (табл. 3), нельзя, так как во время эксперимента в каждом калибре выполняли свободную прокатку, а расчеты проводили для условий непрерывной прокатки катанки в

проволочном блоке с учетом утяжки размеров профиля в проходах с задним натяжением полосы.

Для проверки точности методики определения уширения [7] при прокатке в исследуемых круглых и овальных калибрах рассчитали размеры поперечного сечения полосы после каждого прохода без учета влияния натяжения между модулями блока для размеров образца и настройки зазоров между валками

модулей блока, приведенных в табл. 3. Результаты расчета сведены в табл. 4. Как видно, максимальная ошибка определения ширины полосы после прокатки составляет 13,58 %. При этом, минимальная и средняя ошибки находятся в пределах, рекомендуемых для инженерных расчетов. Цветом в табл. 4 и 5 выделены проходы с наибольшими ошибками определения ширины после прокатки. Таким образом, формулы для расчета уширения [7] при прокатке в круглых и овальных калибрах адекватно описывают деформированное состояние полосы при прокатке катанки $\varnothing 5,5$ мм в условиях проволочного блока ПАО «Днепропетровский меткомбинат».

Далее перешли к прокатке катанки в промышленных условиях. При этом проволочный блок для первых двух заготовок был настроен как указано в табл. 3, чистовая группа стана была настроена на подкат для блока с размерами

17,3x17,4 мм, линейная скорость вращения валков 10-го модуля проволочного блока составила 97 м/с. Температура металла перед чистовым блоком 900 °С. После прокатки от каждого бунта отобрали 50 витков переднего и заднего конца катанки для измерения формы поперечного сечения. Результаты измерений показали, что обе полосы были прокатаны с переполнением чистового круга. Поэтому перед прокаткой третьего образца увеличили зазор между валками чистового модуля на 0,16 мм. Настройку остальных модулей не изменяли. Результаты измерений катанки по длине мотка каждого из трех прокатанных бунтов приведены на рис. 2. Горизонтальные линии на графиках рис. 2 показывают предельные значения размеров при допусках $\pm 0,15$ мм и $\pm 0,2$ мм.

Таблица 4 – Сравнение точности расчета уширения с экспериментальными данными (в качестве исходных данных используем реальные размеры полосы)

№ кл.	Размеры полосы (эксперимент)		Расчетная ширина полосы	Ширина калибра	Факторы для расчета уширения			Расчетное уширение	Фактическое уширение	Ошибка расчета уширения
	h	b			b_1^P	V_k	h_0/h_1			
	мм	мм	мм	мм						%
0	17,3	17,4	-	-	-	-	-	-	-	-
1	11	21,3	21	23,65	1,58	18,18	1,36	1,213	1,231	-1,41
2	13,9	13,7	13,6	13,83	1,53	14,39	1,26	1,238	1,245	-0,73
3	8,3	17,7	17,3	18,89	1,65	24,1	1,38	1,245	1,273	-2,26
4	11,25	11,2	10	11,45	1,57	17,78	1,38	1,207	1,349	-10,71
5	7	14,1	14,2	16,85	1,6	28,57	1,5	1,259	1,253	0,71
6	9,05	9,3	9	8,97	1,56	22,1	1,28	1,287	1,329	-3,23
7	5,2	12,5	11,9	13,56	1,79	38,46	1,46	1,32	1,381	-4,8
8	7,1	8,1	7	7,27	1,76	28,17	1,4	1,352	1,558	-13,58
9	4,1	10,25	9,8	10,24	1,98	48,78	1,26	1,38	1,444	-4,39
10	5,7	6	5,8	5,75	1,8	35,09	1,4	1,413	1,463	-3,33

Измерение готового профиля по длине бунта показали, что размеры поперечного сечения катанки стабильны по длине мотка бунта и входят в допуск $\pm 0,2$ мм. Дефектный передний конец бунта полностью исключен, длина заднего дефектного конца сократилась с 5 витков (~15 м) до 2,5 витков (~7,5 м).

Однако тщательный осмотр готовых профилей показал, что на поверхности первых двух бунтов

катанки из-за переполнения предчистового круглого калибра (8 модуль) возник закат. Переполнение предчистового круглого калибра (8 модуль) обусловлено несовершенной формой и размерами калибров 6, 7 и 8 модулей блока, а также неточностью настройки зазоров между валками этих модулей.

ПЕРВАЯ ЗАГОТОВКА (настройка по табл. 3)																																			
передний конец полосы															задний конец полосы																				
H	мм	5,25	5,2	5,25	5,15	5,2	5,2	5,2	5,15	5,1	5,3	5,25	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,25	5,2	5,25	5,2	5,25	5,2	5,2	5,25	5,02	5,25	5,4	5,3	5,25				
B	мм	5,9	6,1	5,8	5,8	5,75	5,8	5,8	5,75	6	5,7	5,5	5,8	5,8	5,6	5,65	6	6,2	6,25	6,2	6,2	6,2	6,3	6,1	6,2	6,1	5,8	6,15	6,4	7,2	6,8	5,4	6,5		
L	м	0,3	1,3	2,3	3,8	6,8	9,8	12,8	15,8	18,8	21,8	24,8	27,8	30,8	33,8	36,8	75	171	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	4,5	3	1,3	0,3		
ВТОРАЯ ЗАГОТОВКА (настройка по табл. 3)																																			
передний конец полосы															задний конец полосы																				
H	мм	5,2	5,25	5,3	5,3	5,2	5,2	5,2	5,25	5,2	5,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,2	5,3	5,2	5,25	5,3	5,2	5,3	5,2	5,2	
B	мм	5,5	6,4	6,2	6,1	6,1	6,2	6	6,2	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6	6,1	6,5	6,4	6,5
L	м	0,3	0,6	3,6	6,6	9,6	12,6	15,6	18,6	21,6	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150	23	20	17	14	11	8	5	2	0,3
ТРЕТЬЯ ЗАГОТОВКА (раскрыли чистовой калибр на 0,16 мм)																																			
передний конец полосы															задний конец полосы																				
H	мм	5,3	5,35	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,25	5,3	5,4	5,3	5,3	5,3	5,4	5,25	5,2	5,3	5,25	5,25	5,4	5,4	5,25	5,25	5,3	5,35	5,3	5,4	5,25	5,25	5,25	5,25	5,4	5,3	
B	мм	5,65	5,7	5,7	5,5	5,3	5,7	5,4	5,7	5,4	5,6	5,7	5,7	5,7	5,6	5,7	5,6	5,3	5,3	5,55	5,55	5,7	5,6	5,5	5,5	5,55	5,5	5,6	5,8	6	6,2	5,6	5,3		
L	м	0,3	1,3	2,3	3,3	4,8	6,8	9,8	12,8	15,8	18,8	21,8	24,8	27,8	30,8	33,8	75	150	37,5	34,5	31,5	28,5	25,5	22,5	19,5	16,5	13,5	10,5	7,5	4,5	3	1,3	0,3		

← направление прокатки

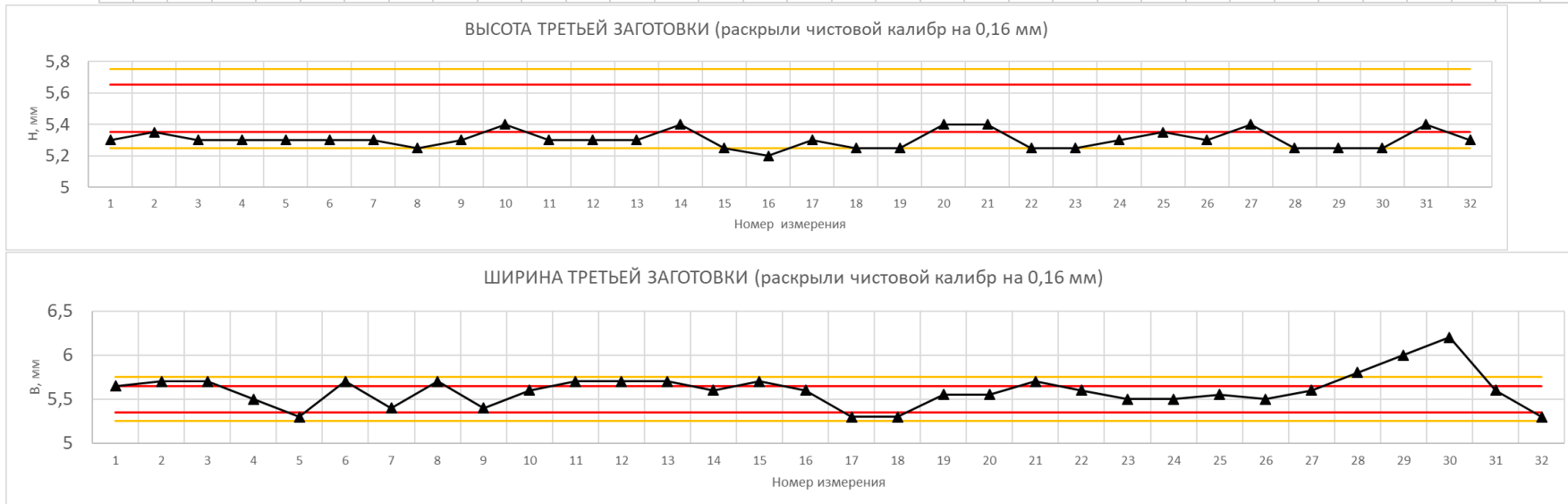


Рис. 2 – Результаты измерений катанки по длине мотка бунта

Также обнаружен эффект высотной утяжки катанки в чистовом калибре при прокатке на рабочих скоростях. В связи с тем, что до этого момента в литературе факт такого явления не описывался может потребовать разъяснения термин – «высотная утяжка катанки». Дело в том, что при проведении описываемых статье экспериментов глубина вреза ручья чистового калибра для прокатки катанки $\varnothing 5,5$ мм составляла 2,18 мм (см. табл. 1). Легко посчитать, что при зазоре 1 мм (см. табл. 3), установленном по щупу во время настройки блока, должны получить минимальную высоту полосы по дну ручья калибра 5,36 мм, однако при прокатке первых двух бунтов получили высоту катанки 5,2 мм (см. рис. 2). Причем ошибки здесь быть не может, так как расположение зазора было отчетливо видно из-за переполнения чистового калибра. Вот этот эффект, когда высота готового профиля меньше высоты калибра перед прокаткой, и назван в статье «высотной утяжкой катанки».

Причина утяжки требует дальнейших объяснений и исследований. На данном этапе, можно предположить, что она связана с режимом натяжений, который возникает в проволочном блоке при непрерывной прокатке, и высокой скоростью прокатки. Так как при прокатке без натяжения на настроечной скорости высота полосы после чистового прохода составила 5,7 мм (см. табл. 3).

Выводы. 1. Разработана математическая модель процесса непрерывной прокатки катанки в условиях чистового проволочного блока, позволяющая помимо размеров полосы по модулям определять условия прокатки в пространствах между модулями проволочного блока в зависимости от его основных настроек, определяющих технологические параметры (зазоры между валками модулей, частота вращения двигателя проволочного блока, температура полосы перед блоком, диаметры твердосплавных валков блока и размеры подката).

2. Сравнение результатов расчета размеров прокатываемого профиля с фактическими размерами катанки, получаемыми при настройке проволочного блока в условиях стана 400/200 ПАО «Днепропетровский меткомбинат», показывает, что в рассматриваемом случае модель позволяет определить готовый размер полосы с точностью до 2,5 %. То есть для этих условий, модель адекватно описывает процесс прокатки катанки диаметром 5,5 мм на десятиклетевом проволочном блоке ПАО «Днепропетровский меткомбинат».

3. Методику настройки высоты калибров для десятиклетьевого проволочного блока ПАО «Днепропетровский меткомбинат» можно считать удовлетворительной, так как в абсолютных величинах разница между расчетными и фактическими значениями высоты полосы (зазора между валками) не

превышает 0,4 мм в подготовительных проходах блока, а в чистовом – 0,09 мм, что меньше допуска на диаметр катанки. Относительная ошибка настройки находится в пределах ± 5 %.

4. Проверка точности методики определения уширения [7] при прокатке в исследуемых круглых и овальных калибрах без учета влияния натяжения между модулями блока показали, что максимальная ошибка определения ширины полосы после прокатки составляет 13,58 %. При этом, минимальная и средняя ошибки находятся в пределах, рекомендуемых для инженерных расчетов. Таким образом, формулы для расчета уширения [7] при прокатке в круглых и овальных калибрах адекватно описывают деформированное состояние полосы при прокатке катанки $\varnothing 5,5$ мм в условиях проволочного блока ПАО «Днепропетровский меткомбинат».

5. Результаты измерения готового профиля по длине бунта, полученного в результате экспериментальной прокатки, показали, что размеры поперечного сечения катанки стабильны по длине мотка бунта и входят в допуск $\pm 0,2$ мм. Дефектный передний конец бунта полностью исключен, длина заднего дефектного конца сократилась с 5 витков (~15 м) до 2,5 витков (~7,5 м).

6. На первых экспериментальных бунтах катанки выявлен закат на поверхности полосы, возникший из-за переполнения предчистового круглого калибра (8 модуль). Переполнение предчистового круглого калибра (8 модуль) обусловлено несовершенной формой и размерами калибров 6, 7 и 8 модулей блока, а также неточностью настройки зазоров между валками этих модулей.

7. Обнаружен эффект высотной утяжки катанки в чистовом калибре при прокатке на рабочих скоростях. Эффект высотной утяжки состоит в том, что высота катанки меньше высоты калибра перед прокаткой. Причина утяжки требует дальнейших объяснений и исследований.

Список литературы

1. Безнос М.П. Настройка сортовых станов. / М.П. Безнос. – М.: Металлургия, 1974. – 151 с.
2. Тимошпольский В.И. Производство высокоуглеродистой катанки на металлургических агрегатах высшего технического уровня. / В.И. Тимошпольский, Н.В. Андрианов, С.М. Жучков и др. – Мн.: Бел. наука, 2004. – 237 с. ISBN 985-08-0617-6
3. Чекмарев А.П. Прокатка на мелкосортных станах. / А.П. Чекмарев, В.П. Гречко, В.В. Гетманец, Б.В. Ховрин. – М.: Металлургия, 1967. – 364 с.
4. Выдрин В.Н. Процесс непрерывной прокатки / В.Н. Выдрин, А.С. Федосиенко, В.И. Крайнов. – М.: Металлургия, 1970. – 456 с.
5. Иводитов А.Н. Разработка и освоение технологии производства высококачественной катанки. / А.Н. Иводитов, А.А. Горбанев. – М.: Металлургия, 1989. – 256 с.
6. Горбанев А.А. Теоретические и технологические основы высокоскоростной прокатки катанки. / А.А. Горбанев, С.М. Жучков, В.В. Филиппов и др. – Мн.: Выш. шк., 2003. – 287 с. ISBN 985-06-0793-9

7. *Штода М.Н.* Уширение при прокатке в калибрах вытяжной системы «овал – круг» / *М.Н. Штода, С.В. Ершов, К.Г. Гејмур, В.М. Самохвал и др.* // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 30(1202). – С. 79–87. – ISSN 2519-2671

References (transliterated)

1. *Beznos M.P.* Nastrojka sortovyh stanov. / *M.P. Beznos.* – Moscow: Metallurgiya, 1974. – 151 p.
2. *Timoshpol'skij V.I.* Proizvodstvo vysokouglerodistoj katanki na metallurgicheskikh agregatah vysshego tekhnicheskogo urovnya. / *V.I. Timoshpol'skij, N.V. Andrianov, S.M. Zhuchkov i dr.* – Minsk: Bel. navuka, 2004. – 237 p. ISBN 985-08-0617-6
3. *Chekmarev A.P.* Prokatka na melkosortnyh stanah. / *A.P. Chekmarev, V.P. Grechko, V.V. Getmanec, B.V. Hovrin.* – Moscow: Metallurgiya, 1967. – 364 p.

4. *Vydrin V.N.* Process nepreryvnoj prokatki / *V.N. Vydrin, A.S. Fedosienko, V.I. Krajnov.* – Moscow: Metallurgiya, 1970. – 456 p.
5. *Ivoditov A.N.* Razrabotka i osvoenie tekhnologii proizvodstva vysokokachestvennoj katanki. / *A.N. Ivoditov, A.A. Gorbanev.* – Moscow: Metallurgiya, 1989. – 256 p.
6. *Gorbanev A.A.* Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy vysokoskorostnoj prokatki katanki. / *A.A. Gorbanev, S.M. Zhuchkov, V.V. Filippov i dr.* – Minsk: Vysh. shk., 2003. – 287 p. ISBN 985-06-0793-9
7. *Shtoda M.N.* Ushirenje pri prokatke v kalibrah vytyazhnoj sistemy «oval – krug» / *M.N. Shtoda, S.V. Ershov, K.G. Geјmur, V.M. Samohval i dr.* // Visnik NTU «HPI». Seriya: Innovacijni tekhnologii ta obladnannya obrobki materialiv u mashinobuduvanni ta metalurgii. – Kharkiv: NTU «HPI», 2016. – No 30(1202). – P. 79–87. – ISSN 2519-2671

Поступила (received) 10.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Експериментальне дослідження режиму налагодження чистового блоку при прокатці катанки діаметром 5,5 мм / М.М. Штода, С.В. Ершов, С.М. Мельник, В.М. Самохвал, С.Ю. Гаврилін // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – №36(1258). – С. 81–89 – Библиогр.: 7 назв.– ISSN 2519-2671

Экспериментальное исследование режима настройки чистового блока при прокатке катанки диаметром 5,5 мм / М.Н. Штода, С.В. Ершов, С.Н. Мельник, В.М. Самохвал, С.Ю. Гаврилин // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – №36(1258). – С. 81–89 – Библиогр.: 7 назв.– ISSN 2519-2671

Experimental study of the mode setting of the finishing unit for rolling of wire rod with a diameter 5.5 mm / M.N. Shtoda, S.V. Ershov, S.N. Melnik, V.M. Samokhval, S.Yu. Havrylin // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment of materials processing in engineering and metallurgy. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2017. – No 36(1258). – P. 81–89. – Bibl.:7. – ISSN 2519-2671

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Штода Максим Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, Дніпровський державний технічний університет, доцент кафедри ОМТ ім. Б.М. Ілюковича, м. Кам'янське; тел.: (099) 779-56-26; e-mail: maksshtoda@gmail.com.

Штода Максим Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Днепропетровский государственный технический университет, доцент кафедры ОМД им. Б.М. Илюковича, г. Каменское; тел.: (099) 779-56-26; e-mail: maksshtoda@gmail.com.

Shtoda Maksim Nikolayevych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Dniprovsk State Technical University, Associate Professor at the Department of Metal Forming, Kamianske; tel.: (099) 779-56-26; e-mail: maksshtoda@gmail.com.

Ершов Сергій Володимирович – доктор технічних наук, професор, Міжнародний дослідницький інститут технології сталі Вуханського університету науки та технологій, заслужений професор, м. Вухань; e-mail: sv.yershov@gmail.com.

Ершов Сергей Владимирович – доктор технических наук, профессор, Международный исследовательский институт технологии стали Уханьского университета науки и технологий, заслуженный профессор, г. Ухань; e-mail: sv.yershov@gmail.com.

Yershov Sergey Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, International Research Institute for Steel Technology Wuhan University of Science and Technology, Distinguished Professor, Wuhan;; e-mail: maksshtoda@gmail.com.

Мельник Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, головний калібрувальник, ПАТ «Дніпровський меткомбінат», м. Кам'янське; тел.: (098) 030-89-92

Мельник Сергей Николаевич – кандидат технических наук, главный калибровщик, ПАО «Днепропетровский меткомбинат», г. Каменское; тел.: (098) 030-89-92

Melnik Sergey Nikolayevych – Main Calibrator, PJSC «Dneprovsky Integrated Iron&Steel Works», Kamianske; tel.: (098) 030-89-92

Самохвал Володимир Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, Дніпровський державний технічний університет, доцент кафедри ОМТ ім. Б.М. Ілюковича, м. Кам'янське; тел.: (063) 292-31-42; e-mail: volsamokhval@gmail.com.

Самохвал Владимир Михайлович – кандидат технических наук, доцент, Днепропетровский государственный технический университет, доцент кафедры ОМД им. Б.М. Илюковича, г. Каменское; тел.: (063) 292-31-42; e-mail: volsamokhval@gmail.com.

Samokhval Vladimir Mikhailovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Dniprovsk State Technical University, Associate Professor at the Department of Metal Forming, Kamianske; tel.: (063) 292-31-42; e-mail: volsamokhval@gmail.com.

Гаврилін Сергій Юрійович – Дніпровський державний технічний університет, асистент кафедри ОМТ ім. Б.М. Ілюковича, м. Кам'янське; тел.: (067) 603-91-93; e-mail: sgavrilyn@gmail.com.

Гаврилин Сергей Юрьевич – Днепропетровский государственный технический университет, ассистент кафедры ОМД им. Б.М. Илюковича, г. Каменское; тел.: (067) 603-91-93; e-mail: sgavrilyn@gmail.com.

Havrylin Sergej Yurievich – Dniprovsk State Technical University, Lecturer at the Department of Metal Forming, Kamianske; tel.: (067) 603-91-93; e-mail: sgavrilyn@gmail.com.