

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЖИМОВ РЕДУЦИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛЯБОВ

Выполнена оценка эффективности распределения обжатий в калиброванных вертикальных валках методом математического моделирования по средствам пакета программы «Универсал». Выбраны оптимальные параметры ручья калибра и метод профилирования концов раската в вертикальных валках черновой универсальной клетки широкополосного стана.

Ключевые слова: сляб, многократное обжатие, калиброванные вертикальные валки, редуцирование, проглаживание, профилирование.

На сегодняшний день широко внедряется технология редуцирования непрерывнолитых слябов по ширине в мощных черновых реверсивных универсальных клетях широкополосных станов. Редуцирование позволяет сократить число типоразмеров непрерывнолитых слябов по ширине и получить полосу на 200-300 мм меньше ширины исходного сляба. На металлургических предприятиях Украины горячекатаные широкие полосы производят по устаревшей схеме «слиток – обжимной стан (слябинг) - широкополосный стан». Переход на современную схему производства широких полос «машина непрерывной разливки заготовок – широкополосный стан с редуцирующей черновой клетью» позволит значительно снизить материальные и энергетические затраты.

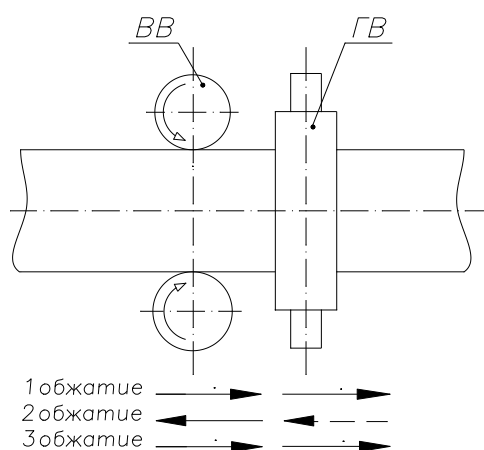
Технология редуцирования слябов может быть реализована путем разового или двух-, трехкратного последовательного обжатия в вертикальных валках (ВВ) с последующим проглаживанием широких граней раската в горизонтальных валках (ГВ) на исходную толщину после каждого обжатия в вертикальных валках или в последнем проходе. На практике применяется схема с промежуточным проглаживанием раската после каждого нечетного прохода в вертикальных валках. Прокатка раскатов в горизонтальных валках после первого прохода в вертикальных валках приводит к снижению эффективности последующего редуцирования раската в калиброванных ВВ до уровня прокатки в гладких ВВ, поэтому обжатие в горизонтальных валках целесообразнее делать в последнем проходе.

Важную роль в разработке эффективной технологии редуцирования слябов в системе ВВ-ГВ имеет характер распределения обжатий по проходам, а также метод профилирования концов раската в вертикальных валках.

В работах [1-2] представлены режимы распределения обжатий в гладких вертикальных валках по клетям черновой группы широкополосных станов, однако данные о характере распределения обжатий в реверсивной универсальной клетке с калиброванными (ящичными) вертикальными валками не найдены.

Исследование эффективности распределения обжатий в вертикальных валках и проглаживания в горизонтальных валках после каждого нечетного прохода в ВВ универсальной реверсивной клетки широкополосного стана выполняли методом математического моделирования с использованием пакета программ «Универсал» [3], разработанного в Дониксе и ДонНТУ с использованием математических моделей полученных в работе [4] для расчета параметров формоизменения концов раскатов в плане при редуцировании слябов в системе ВВ-ГВ. Моделировали процесс редуцирования слябов толщиной $H_0 = 300$ мм, шириной $B_0 = 1200, 1500, 1800$ мм, длиной $L_0 = 10$ м в ящичных калиброванных вертикальных валках с диаметром 1600 мм, глубиной ручья калибра $H_p = 150, 200, 250$ мм, выпуском $tg\varphi_p = 0,2; 0,4$ ($\varphi_p = 11,6; 24,3$ град) и последующим проглаживанием в горизонтальных валках диаметром 1600 мм. Ширина дна всех ручьев принята равной толщине сляба ($B_0 = H_0$). Суммарное обжатие в ВВ принимали равным 225 мм. Обжатия $\Delta B_{\epsilon i}$ по трем проходам в вертикальных валках распределяли по трем режимам: 1 – возрастающий ($\Delta B_{\epsilon 1} = 50$ мм, $\Delta B_{\epsilon 2} = 75$ мм, $\Delta B_{\epsilon 3} = 100$ мм), 2 – равномерный ($\Delta B_{\epsilon 1} = 75$ мм, $\Delta B_{\epsilon 2} = 75$ мм, $\Delta B_{\epsilon 3} = 75$ мм), 3 – убываю-

щий ($\Delta B_{\delta 1} = 100$ мм, $\Delta B_{\delta 2} = 75$ мм, $\Delta B_{\delta 3} = 50$ мм). Схема редуцирования слябов за три прохода в реверсивной универсальной клети представлена на рис. 1.



→ проходы с рабочим обжатием; ---> холостой проход.

Рис. 1. Схема редуцирования слябов за три прохода в реверсивной универсальной клети широкополосного стана.

Для определения наиболее эффективного режима обжатий по проходам выбирали следующие критерии, суммарные за три реверсивных прохода: суммарный расход металла в концевую обрезать $O_{\text{сум}}$; коэффициент эффективности уменьшения ширины сляба $\eta_{\text{сум}}$ и степень заполнения ручья калибра металлом $K_{\text{зан}}$.

Суммарный расход металла в обрезать $O_{\text{сум}}$ определяли параметрами формоизменения концов раската в плане: стрелы вогнутости f_n , f_z и утяжки ширины δ_n , δ_z переднего и заднего концов раската.

Коэффициент эффективности уменьшения ширины сляба определяли как отношение изменения ширины раската от исходной после обжатия в системе ВВ-ГВ $\delta B_{\delta 2}$ к абсолютному обжатию в вертикальных валках ΔB_{δ} [5]:

$$\eta = \frac{\delta B_{\delta 2}}{\Delta B_{\delta}} = 1 - \frac{\delta B_{\text{вын}}}{\Delta B_{\delta}} \quad (1)$$

где $\delta B_{\text{вын}}$ – вынужденное уширение раската на выходе из горизонтальных валков, мм.

Степень заполнения ручья $K_{\text{зан}}$ определяли как отношение глубины заполнения $H_{\text{зан}}$ к глубине ручья:

$$K_{\text{зан}} = \frac{H_{\text{зан}}}{H_p} = \frac{H_k - H_0}{2 \cdot H_p \cdot \text{tg} \varphi_p} \quad (2)$$

где H_k – толщина раската на контакте металла со стенками ручья, мм.

В качестве переменных редуцирования приняли: B_0/H_0 – отношение ширины к толщине сляба; H_p – глубина ручья калибра; $\text{tg} \varphi_p$ – выпуск ручья калибра.

При выборе оптимального режима редуцирования слябов определяли допустимые обжатия в вертикальных валках, варьируя переменными редуцирования. Для вертикальных валков с гладкой бочкой диаметром $D = 1400-1600$ мм ограничивающим параметром является допустимое обжатие по потери устойчивости раската от сваливания, за один проход составляет 50-100 мм в зависимости от ширины при толщине сляба $H = 250-300$ мм. Суммарное обжатие за три реверсивных прохода составит 150-300 мм, а уменьшение ширины после проглаживания в горизонтальных валках 90-180 мм.

При редуцировании сляба в калиброванных вертикальных валках с катающим диаметром $D_k = 1000-1300$ мм наименьшее допустимое обжатие по потери устойчивости раската от поперечного изгиба за один проход составляет 100-130 мм. Максимально суммарное обжатие за два реверсивных прохода в вертикальных валках должно быть не более 20% (200-300 мм) от ширины

раската. Таким образом, суммарное обжатие за три реверсивных прохода может составить до 400 мм, а уменьшение ширины после проглаживания в горизонтальных валках – до 280мм.

В таблице 1 представлены режимы обжатий слябов в гладких и калиброванных вертикальных валках и проглаживания раскатов в горизонтальных валках реверсивной универсальной клетки по схеме рис.1.

Таблица 1. Режимы обжатий в системе гладкие и калиброванные ВВ-ГВ ($B=1520\text{мм}$, $H=300\text{мм}$, $D_{a,z}=1600\text{мм}$)																
Параметры калибра		Режим обжатий в ВВ	№ прохода в ВВ	Режим обжатий												
$tg\varphi_p$	H_p , мм			ΔB_s , мм	B_s , мм	B_z , мм	δB_{sz} , мм	$\delta B_{сум}$, мм	$H_{кк}$, мм	ΔH , мм	$\eta_{сум}$	$O_{сум}$, кг/т	$K_{зан}$	P_s , МН	P_z , МН	P_3 , кВтч/т
0		I	1	50	1470	1490	20	30	314	14				4,2	6,9	
			2	75	1415				316					5,5		
			3	100	1315	1366	51	154	340	40	68	36,0	-	6,1	12,1	1,17
		II	1	75	1445	1475	30	45	320	20				4,9	8,2	
			2	75	1400				316					5,4		
			3	75	1325	1371	46	149	334	34	66	58,2	-	5,6	11,1	1,17
		III	1	100	1420	1460	40	60	325	25				5,3	9,3	
			2	75	1385				316					5,4		
			3	50	1335	1377	42	143	328	28	64	73,4	-	5	10,2	1,13
0,2	150	I	1	50	1470	1485	15	35	314	14				4,8	6,9	
			2	75	1410				316					6,1		
			3	100	1310	1348	38	172	338	38	76	4,8	0,63	7	11,7	1,36
		II	1	75	1445	1467	22	53	320	20				5,5	8,1	
			2	75	1392				316					6,1		
			3	75	1317	1351	34	169	333	33	75	12,9	0,55	6,5	10,8	1,36
		III	1	100	1420	1449	29	71	325	25				6	9,1	
			2	75	1374				316					6,1		
			3	50	1324	1355	31	165	327	27	73	22,5	0,45	5,8	9,9	1,33
	200	I	1	50	1470	1484	14	36	314	14				4,9	6,9	
			2	75	1409				316					6,4		
			3	100	1309	1345	36	175	338	38	78	4,6	0,48	7,3	11,7	1,44
		II	1	75	1445	1466	21	54	320	20				5,7	8,1	
			2	75	1391				316					6,4		
			3	75	1316	1349	33	171	333	33	76	10,6	0,41	6,8	10,8	1,44
		III	1	100	1420	1448	28	72	325	25				6,3	9,1	
			2	75	1373				316					6,4		
			3	50	1323	1352	29	168	327	27	75	20,5	0,34	6,1	9,9	1,42
250	I	1	50	1470	1484	14	36	314	14				5,2	6,9		
		2	75	1409				316					6,7			
		3	100	1309	1344	35	176	338	38	78	4,4	0,38	7,7	11,7	1,5	
	II	1	75	1445	1465	20	55	320	20				6	8,1		
		2	75	1390				316					6,7			
		3	75	1315	1346	31	174	333	33	77	7,8	0,33	7,2	10,8	1,5	
	III	1	100	1420	1447	27	73	325	25				6,6	9,1		
		2	75	1372				316					6,7			
		3	50	1322	1350	28	170	327	27	76	18,1	0,27	6,4	9,9	1,47	
0,4	150	I	1	50	1470	1485	15	35	314	14				4,5	6,9	
			2	75	1410				316					5,8		
			3	100	1310	1350	40	170	338	38	76	5,1	0,32	6,6	11,7	1,28
		II	1	75	1445	1468	23	52	320	20				5,2	8,1	
			2	75	1393				316					5,8		
			3	75	1318	1354	36	166	333	33	74	16,2	0,28	6,1	10,8	1,28
	III	1	100	1420	1451	31	69	325	25				5,7	9,1		
		2	75	1376				316					5,8			
		3	50	1326	1358	32	162	327	27	72	25,0	0,23	5,4	9,9	1,25	
200	I	1	50	1470	1485	15	35	314	14				4,7	6,9		
		2	75	1410				316					6,1			
		3	100	1310	1348	38	172	338	38	76	4,9	0,24	6,9	11,7	1,33	

0,4	250	II	1	75	1445	1467	22	53	320	20				5,4	8,1		
			2	75	1392					316					6,1		
			3	75	1317	1351	34	169	333	33	75	14,1	0,21	6,4	10,8	1,33	
		III	1	100	1420	1449	29	71	325	25				5,9	9,1		
			2	75	1374				316					6,1			
			3	50	1324	1355	31	165	327	27	73	23,3	0,17	5,7	9,9	1,31	
	I	1	50	1470	1484	14	36	314	14				4,9	6,9			
		2	75	1409				316					6,4				
		3	100	1309	1345	36	175	338	38	78	4,7	0,19	7,2	11,7	1,42		
		II	1	75	1445	1466	21	54	320	20				5,7	8,1		
			2	75	1391				316					6,4			
			3	75	1316	1349	33	171	333	33	76	11,7	0,17	6,7	10,8	1,42	
		III	1	100	1420	1448	28	72	325	25				6,2	9,1		
			2	75	1373				316					6,4			
			3	50	1323	1353	30	167	327	27	74	21,1	0,14	6	9,9	1,39	

Результаты, полученные в табл. 1, показывают, что при трехкратном реверсивном обжатию раската в калиброванных вертикальных – горизонтальных валках эффективность уменьшения ширины раската возрастает с увеличением глубины ручья и уменьшением выпуска калибра по всем трем режимам распределения обжатий в вертикальных валках.

Наибольшая эффективность уменьшения ширины раската наблюдается при обжатию в калиброванных ВВ с возрастающим распределением обжатий по проходам в глубоких узких калибрах ($H_p = 250$ мм, $tg\varphi_p = 0,2$), в следствии смещения вершины прикромочных наплывов ближе к середине ширины и увеличения ширины наплывов за счет защемления металла что подтверждается результатами исследований в работе [6].

Самая низкая эффективность отмечена при редуцировании слябов в вертикальных валках с гладкой бочкой, что обусловлено минимальным расстоянием от кромки раската до вершины наплыва, а также их малой шириной (глубиной проникновения деформации). Наименьшая эффективность в калиброванных ВВ наблюдается в ручьях глубиной $H_p = 150$ мм и выпуском $tg\varphi_p = 0,4$ с убывающим режимом распределения обжатий.

Величина суммарной концевой обреза $O_{сум}$, при трехкратном реверсивном обжатию слябов в калиброванных вертикальных валках с проглаживанием в горизонтальных валках после каждого нечетного прохода в ВВ увеличиваются с уменьшением глубины ручья и увеличением выпуска калибра по всем трем режимам распределения обжатий в вертикальных валках. Наименьшие значения суммарной концевой обреза $O_{сум}$ наблюдаются при реверсивном обжатию слябов в глубоких узких калибрах с возрастающим распределением обжатий по проходам в ВВ ($\Delta B_{e1} = 50$ мм, $\Delta B_{e2} = 75$ мм, $\Delta B_{e3} = 100$ мм); а наибольшие значения отмечены при редуцировании слябов в гладких ВВ, а также в мелких калибрах с большим выпуском ручья по третьему убывающему режиму распределения обжатий ($\Delta B_{e1} = 100$ мм, $\Delta B_{e2} = 75$ мм, $\Delta B_{e3} = 50$ мм). Количество обреза в гладких ВВ валках больше в 3-9 раз, чем при редуцировании в калибрах.

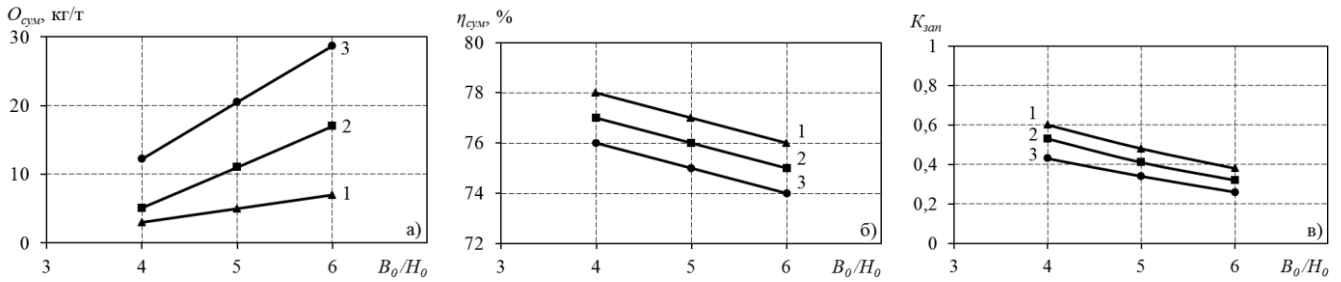
Степень заполнения ручья калибра металлом $K_{зан}$ возрастает с уменьшением глубины ручья и выпуска калибра. Оптимальная степень заполнения ручья калибра металлом наблюдается при редуцировании слябов в калибрах размерами $H_p = 150-200$ мм, $tg\varphi_p = 0,2$.

Наименьшие значения силы редуцирования в ВВ P_e , а также величины расхода энергии P_e наблюдаются при редуцировании раскатов в гладких вертикальных валках и в мелких калибрах $H_p=150$ мм с выпуском $tg\varphi_p = 0,4$ по убывающему режиму распределения обжатий.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что наиболее эффективным режимом распределения обжатий в вертикальных валках универсальной реверсивной клетки по наименьшему искажению формы раската в плане, наибольшей эффективности уменьшения ширины раската и заполнения ручья калибра металлом является режим с возрастающим распределением обжатий ($\Delta B_{e1} = 50$ мм, $\Delta B_{e2} = 75$ мм, $\Delta B_{e3} = 100$ мм) по проходам в калиброванных вертикальных валках с выпуском ручья $tg\varphi_p = 0,2$ ($\varphi_p = 15$ град) и глубиной ручья калибра $H_p = 150-200$ мм.

На рис. 2 представлены графики зависимостей выбранных критериев для оценки эффективности распределения обжатий по проходам в вертикальных валках с оптимальными размерами ручья калибра ($H_p = 200$ мм, $tg\varphi_p = 0,2$) от отношения B_0/H_0 .

Из графиков 2 (а, б, в) можно сделать вывод, что при реверсивном обжати слябов за три прохода в калиброванных вертикальных валках с проглаживанием в горизонтальных валках после каждого нечетного прохода в ВВ с ростом ширины сляба (отношения B_0/H_0) величина суммарной концевой обрезки $O_{сум}$ (2, а) увеличивается, а эффективность уменьшения ширины сляба (2, б) и степень заполнения ручья калибра металлом $K_{зан}$ (2, в) уменьшаются по всем трем режимам распределения обжатий в вертикальных валках.



1 – возрастающий режим; 2 – равномерный режим; 3 – убывающий режим.

Рис. 2. Зависимость суммарной концевой обрезки $O_{сум}$ (а), эффективности уменьшения ширины $\eta_{сум}$ (б) и степень заполнения ручья калибра $K_{кан}$ (в) после многократного обжатия в калиброванных вертикальных валках и последующего проглаживания в горизонтальных валках от отношения B_0/H_0 .

Наибольшая эффективность редуцирования по всем выбранным параметрам наблюдается при обжати узких слябов с возрастающим распределением обжатий по проходам в ВВ; наименьшая эффективность отмечена при обжати широких слябов в калиброванных ВВ по убывающему режиму распределения обжатий.

Для реализации эффективной технологии редуцирования слябов с минимальным искажением формы концов раскатов в плане от прямоугольной, а, следовательно, и с наименьшим количеством концевой обрезки, редуцирование в вертикальных валках осуществляется с применением профилирования узких граней сляба, а именно с переменным обжатием концов раската с помощью ГНУ вертикальных валков.

Профилирование концов при редуцировании сляба может быть реализовано двумя методами.

Первый метод [3] профилирования осуществляется путем переменного обжатия переднего и заднего концов раската. При входе сляба в вертикальные валки передний конец деформируется с переменным возрастающим обжатием от минимального начального до заданного, затем осуществляют постоянное редуцирование на средней части длины раската, и далее задний конец деформируют с переменным уменьшающимся от заданного обжатием. Переменные обжатия в ВВ устанавливают в функции прогнозируемых величин утяжек ширины и длины утянутых участков переднего и заднего концов раската после проглаживания раската в ГВ, обжатого в ВВ без профилирования. Профилирование по этому методу осуществляется непрерывно и может быть реализовано во всех проходах.

Траектория профилирования имеет параболический вид и определяется по формуле:

$$\Delta B_n^l = \Delta B - \left| \delta_n^{62} \right| \cdot \left\{ 1 + \left[A_n \cdot \left(l/l_n^{62} \right) + C_n \cdot \left(l/l_n^{62} \right)^2 \right] \right\}, \quad (3)$$

$$\Delta B_3^l = \Delta B - \left| \delta_3^{62} \right| \cdot \left\{ A_3 \cdot \left[\frac{l - (L - l_3^{62})}{l_3^{62}} \right] + C_3 \cdot \left[\frac{l - (L - l_3^{62})}{l_3^{62}} \right]^2 \right\}, \quad (4)$$

где $\Delta B_n^l, \Delta B_3^l, \Delta B$ - текущее обжатие в вертикальных валках по длине переднего, заднего концов сляба и заданное обжатие на основной части длины сляба;

l - текущая длина сляба на переднем и заднем концах;

L - длина сляба;

l_n^{62}, l_3^{62} - прогнозируемая длина утянутого переднего и заднего концов раската после горизонтальных валков при прокатке в вертикальных валках без профилирования;

q_n^{62}, q_3^{62} - прогнозируемая величина утяжки ширины на переднем и заднем концах раската после горизонтальных валков при прокатке в вертикальных валках без профилирования;

A_n, A_3, C_n, C_3 - коэффициенты, определяющие кривизну траектории профилирования переднего и заднего концов сляба, причем $A_n + C_n = A_3 + C_3 = -1$. Для условий прокатки в мощных черновых универсальных клетях широкополосных станков при $B/H = 4-10$; $\Delta B/B = 0,03-0,15$; $\Delta B/\Delta H = 1-4,5$ значения коэффициентов равны: $A_n = -2,5$; $C_n = 1,5$; $A_3 = -1,55$; $C_3 = 0,55$.

Второй метод профилирования или метод промежуточного недоката [8] более эффективен по снижению концевой обрезки, так как основан на прерывании процесса редуцирования на участке заднего конца сляба с последующим редуцированием в обратном направлении. Осуществляется профилирование только входящего в валки конца раската (переднего), задний же конец не докатывают путем разведения валков на раствор больший, чем ширина полосы. Раскат пропускается за клеть, клеть реверсируют, ВВ перестраивают на величину начально обжатия и задают задний конец раската в валки как передний. После профилирования докатывают основную часть длины раската до заданной ширины. В следующем проходе операции могут быть повторены. Таким образом, профилирование концов раската описанным методом позволяет уменьшить количество обрезки путем исключения образования концевой накаты на заднем конце. Недостатком данного метода является большая затрата времени, частая перестройка вертикальных валков, поэтому этот метод целесообразно использовать при однократном обжатии слябов в калиброванных вертикальных валках, либо двукратном.

Закон изменения обжатия можно описать уравнением:

$$\Delta B_l / \Delta B = a + (1 - a) \cdot (l/k \cdot B)^x, \quad (5)$$

где $\Delta B_l, \Delta B$ - текущее и заданное обжатие по ширине сляба;

l - текущая длина сляба от переднего торца;

$kB = l_3$ - длина переднего конца сляба с переменной шириной;

a, k, x - коэффициенты, зависящие от отклонений $\Delta B/B, B/H, D_0/B, a = \Delta B_n / \Delta B$ (где ΔB_n - начальное обжатие на конце), $x = 0,35-0,85, k = 0,50-0,65$.

$$\Delta B_l = \Delta B_n + (\Delta B - \Delta B_n) \cdot (l/l_3)^x. \quad (6)$$

В таблице 2 представлены режимы профилирования концов раскатов в вертикальных валках за один, два и три прохода по двум методам.

Из таблицы 2 видно, что наименьшее значение величины суммарной концевой обрезки $O_{\text{сум}}$ при профилировании слябов методом переменного обжатия наблюдается при возрастающем режиме распределения обжатий с профилированием концов за один и три прохода, наибольшее значение – по возрастающему режиму с двукратным профилированием в первом и втором проходах (больше в 6-9 раз).

Наименьшее значение величины суммарной концевой обрезки $O_{\text{сум}}$ с профилированием слябов методом промежуточного недоката наблюдается при возрастающем режиме распределения обжатий с профилированием концов за три прохода, наибольшее значение – по убывающему режиму с однократным профилированием в первом проходе, однако величина концевой обрезки при профилировании этим методом за один, два и три прохода отличается незначительно.

Сравнивая вышеописанные методы профилирования концов раската можно сделать вывод, что при профилировании методом промежуточного недоката за один, два или три прохода иска-

жение формы раската в плане меньше, чем при профилировании методом с переменным обжатием за один или три прохода, однако разница очень мала.

Таблица 2. Режимы профилирования концов раскатов в вертикальных валках
($B=1520\text{мм}$, $H=300\text{мм}$, $D_{6,2} = 1600\text{мм}$, $H_p=200\text{мм}$, $tg\varphi_p=0,2$)

Метод профилирования	Режим обжатий в ВВ	Номер управляемого прохода в ВВ	Обжатие в ВВ по проходам $\Delta B_{6,2}$, мм	Суммарная концевая обрезь $O_{сум}$, кг/т
Переменного обжатия	I	У1	50/75/100	3,1
	II		75/75/75	4,2
	III		100/75/50	5,4
	I	У1-У2	50/75/100	17,1
	II		75/75/75	13,3
	III		100/75/50	7,6
	I	У1-У2-У3	50/75/100	2,0
	II		75/75/75	3,0
	III		100/75/50	4,0
Промежуточного недоката	I	У1	50/75/100	2,0
	II		75/75/75	2,8
	III		100/75/50	3,6
	I	У1-У2	50/75/100	1,3
	II		75/75/75	2,1
	III		100/75/50	2,9
	I	У1-У2-У3	50/75/100	0,2
	II		75/75/75	0,9
	III		100/75/50	1,6

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, исходя из наименьшего количества обрезки и затраты времени, наиболее рациональным методом профилирования концов раскатов является однократное профилирование в первом проходе методом переменного обжатия с возрастающим распределением обжатий по проходам в вертикальных валках.

Заключение

В результате математического моделирования процесса редуцирования непрерывнолитых слябов в системе калиброванные вертикальные – горизонтальные валки реверсивной универсальной клетки определены оптимальные размеры ящичных калибров вертикальных валков с выпуском ручья $\varphi = 15$ град и глубиной ручья калибра $H_p = 150-200$ мм при ширине дна раной толщине исходного сляба. Выбран наиболее рациональный возрастающий режим распределения обжатий по проходам в вертикальных валках при реверсивном обжатии сляба в системе ВВ-ГВ. Получены графические зависимости суммарной концевой обрезки, эффективности уменьшения ширины и коэффициента заполнения ручья калибра металлом при редуцировании слябов по трем режимам распределения обжатий. Выполнена оценка эффективности исследованных методов гидропрофилирования концов раската, выбран наиболее рациональный метод - однократное профилирование в первом проходе методом непрерывного обжатия узких граней с возрастающим распределением обжатий по проходам в системе калиброванные ВВ-ГВ.

Библиографический список

1. **Оробцев В.В., Перельман Р.О., Таллер О.Е.** и др. Оценка эффективности совмещения процессов прокатки и редуцирования слябов на ШСГП 2500 // Сталь. –1991. – №10. – С. 36-40.
2. **Еремин Ю.А., Набатов Г.И., Тишков В.Я., Гордеева И.Ж.** Совершенствование режимов деформации в клетях с вертикальными валками // Совершенствование технологии прокатки, термообработки и отделки толстолистового проката: Темат. сб. научн. трудов (МЧМ СССР) – М.: Металлурги. - 1986. – С. 59-62.

3. **Остапенко А. Л., Бейгельзимер Э. Е., Миненко Н. В.** и др. Программное обеспечение проектирования технологии прокатки листов и полос // Сталь. –2006. – №8. – С. 56-59.
4. **Руденко Е. А., Коновалов Ю. В., Фролова М. О.** Исследование параметров формоизменения слябов после многократного обжатия в системе вертикальные-горизонтальные валки // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях. - Харьков: НТУ «ХПИ». - 2012. - №46 (952). - С. 164-168.
5. **Бровман М.Я, Зеличенко Б.Ю., Герцев А.И.** Усовершенствование технологии прокатки толстых листов. – М.: Metallurgy. - 1969. – С.256.
6. **Оробцев В.В.** Исследование влияния формы калибров вертикальных валков на изменение ширины раската в универсальных клетях // Металлы и литье Украины. –1997. – №5. – С. 10-12.
7. А.с. №1665596 СССР, МКИ В21В1/26. 1992.
8. А.с. №1565550 СССР, кл. В21В1/02. 1990.