

УДК 621. 771.23

Руденко Е. А.
Курдюкова Л. А.
Голованова А. Е.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НОВОГО МЕТАЛЛОСБЕРЕГАЮЩЕГО СПОСОБА ПРОКАТКИ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ

В последнее время широкое применение получили способы прокатки толстых листов с профилированием широких граней слябов (раскатов) в последних проходах протяжки и разбивки ширины при черновой прокатке с целью получения готовых листов с формой в плане близкой к прямоугольной, которые значительно снижают расход металла в обрезь (выход годного до 95 %), например [1–3]. Схема прокатки по этому способу показана на рис. 1.

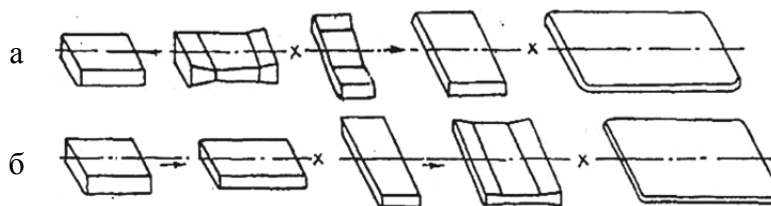


Рис. 1. Схема формирования боковых (а) и торцевых (б) кромок раската по МАС – процессу

Поскольку профилирование раскатов переменным обжатием толщины по их длине оказывает влияние на форму раската в плане лишь после его кантовки на 90° , то основным технологическим ограничением осуществления прохода с учетом удлинения от профилирующего обжатия является длина бочки рабочих валков, которая должна быть на 200–400 мм больше длины спрофилированного раската. Из этого ограничения следует, что профилирование может быть осуществлено только на этапе черновой прокатки.

С учетом главного ограничения профилирование можно осуществить в любом проходе как совместно с рабочим обжатием, так и в специальном (дополнительном) проходе, при условии наличия после него кантовки раската на 90° . Однако для сокращения времени прокатки целесообразно совместить профилирующее и рабочее обжатия в одном проходе, обеспечивая постоянство рабочей вытяжки.

Ширина сляба при прокатке по чисто продольной схеме и длина сляба при прокатке по чисто поперечной схеме должны быть больше ширины готового листового раската на величину припуска (120–160 мм) и меньше длины бочки валков (на 200–400 мм). Готовые листовые раскаты, прокатанные по этим схемам, характеризуются большими выпуклыми торцами в виде «язычков», достигающими на тонких раскатах до 1000 мм и более. При этом продольная разноширинность готовых раскатов в виде расширенных концов длиной от 0,2 до 1,5 м и величиной до 100 мм обуславливает относительно малую боковую обрезь, значительно меньшую, чем концевую. Поэтому в этих схемах прокатки профилированием целесообразно уменьшить концевую обрезь.

Так как чисто продольные и чисто поперечные схемы прокатки не имеют кантовок между проходами, то осуществить управляющее профилирование невозможно. Однако в условиях прокатного стана можно дополнительно организовать специальную кантовку раската и осуществить профилирование широких граней раската. Эту операцию можно сделать перед первым проходом (по известному способу) или в любом проходе при условии, что длина раската после профилирования не будет больше длины бочки валка.

Целью данной работы является определение эффективности прокатки толстых листов по чисто продольной и чисто поперечной схемам с дополнительными кантовками и профилированием широких граней раската.

Следует заметить, что величина профилирующего обжатия совмещенного с рабочим обжатием в дополнительном проходе значительно меньше, чем при профилировании исходного сляба. Так, профилирующее обжатие сляба толщиной 300 мм достигает 70 мм и более, а при совмещении с рабочим обжатием 40–50 мм составляет 35–40 мм. Такое обжатие соответствует дополнительной вытяжке (300/255), равной 1,18. Следовательно, исходная ширина (длина) сляба после профилирования увеличится в соответствии с вытяжкой. Это обстоятельство следует учитывать при выборе исходной величины ширины (длины) сляба. Она должна быть равна или несколько меньше, чем ширина готового листа. В противном случае эффект снижения концевой обрезки компенсируется увеличением боковой обрезки, причем не только на концах, но и по всей длине готового раската.

Более прост в реализации способ профилирования путем переназначения продольного направления прокатки в поперечное в одном промежуточном проходе с учетом ограничения по длине раската. Значение профилирующего обжатия в этом случае будет составлять лишь 40–60 мм.

Аналогично можно назначить и рассчитать профилирующее обжатие сляба при прокатке по чисто поперечной схеме. Первый, а лучше промежуточный проход, в котором длина раската меньше длины бочки валков, необходимо назначить продольным с профилирующим обжатием. При этом профилирующее обжатие в дополнительном промежуточном проходе может быть в несколько раз меньше, чем по известному способу, когда профилирование осуществляется в первом проходе при большой толщине сляба. Осуществление профилирования в дополнительном проходе является основным преимуществом этого способа по сравнению с известными, например [2, 3].

Для оценки эффективности нового способа прокатки толстых листов с профилированием широких граней раскатов переменным обжатием толщины по их длине по отношению к известному способу прокатки рассмотрим возможности профилирования широких граней раската по управлению формой раскатов в плане на примере прокатки толстых листов толщиной 22 мм и шириной 2000 мм по поперечной схеме их слябов размерами $H \times B \times L = 300 \times 1100 \times 2100$ мм на стане 3600 «Азовсталь».

Характеристики стана необходимые для расчета параметров формы и профилирования: число клетей 2 (черновая и чистовая); длина бочки валков 3600 мм; диаметр рабочих валков черновой клетки – 1000 мм; диаметр рабочих валков чистовой клетки – 900 мм.

Расчеты выполнены с использованием программного пакета «Толстяк», разработанного НПО «Доникс» и ДонНТУ [4].

Динамика изменения параметров формы раскатов без профилирования и с профилированием по известному [3] и новым способам прокатки толстых листов по продольной и поперечной схемам приведена в табл. 1–3.

Как видно из табл. 1, при обычной прокатке без профилирования широких граней раската готовый листовой раскат имеет выпуклые торцы (языки) на переднем и заднем концах равные 344 мм и 365 мм соответственно. Такие значения параметров формы готового раската в плане характеризуют значительное его отклонение от прямоугольной формы.

В табл. 2 в динамике по проходам приведены параметры формы в плане после профилирующего обжатия широкой грани в первом дополнительном поперечном проходе по продольной схеме прокатки (профилирующее обжатие – 89 мм). Это обжатие после кантовки раската на 90^0 обусловило значительное уменьшение параметров формы торцов раската после последнего продольного прохода, что позволило сократить концевую обрезку за счет уменьшения, главным образом, значений стрел выпуклости торцов раската до 7 мм на переднем конце и до 71 мм на заднем конце.

Аналогичен эффект по воздействию на форму концов раската от профилирования в первом дополнительном проходе (профилирующее обжатие – 54 мм) по поперечной схеме прокатки, табл. 2. Данное профилирование также обусловило снижение параметров формы торцов на концах готового раската. Причем форма торца на переднем конце поменяла знак: выпуклый «знак» стал вогнутым «рыбьим хвостом» (минус перед числом). Торцы на заднем конце остались выпуклыми, но со значительно меньшей стрелой (табл. 2).

Таблица 1

Изменение параметров формы раската в плане при обычной прокатке по чисто поперечной схеме без профилирования (БП)

Клеть	Проход	Напр. прох.	Толщина, мм	Ширина, мм			Профилир. обжатие	Параметры формы концов раската после прохода						Прод. разноширин. мм, вып (+) вогн (-)
				п.к.	середина	з.к.		Форма торца, мм вып. (+), вогн (-)		Форма конца, мм ушир. (+), утяжка (-)		Длина конца с переменной шириной, м		
								п.к.	з.к.	п.к.	з.к.	п.к.	з.к.	
Чер	1	Прод.	295	1117	1115	1117		1	2	1	1	0,02	0,02	-1,3
Чер	2	Попер	265	2175	2174	2177		4	8	1	3	0,08	0,08	-1,8
Чер	3	Попер	235	2190	2174	2187		14	15	16	13	0,10	0,10	-14,4
Чер	4	Попер	210	2200	2174	2201		20	24	25	27	0,10	0,10	-26,0
Чер	5	Попер	185	2214	2174	2211		30	31	40	37	0,11	0,11	-38,2
Чер	6	Попер	165	2222	2174	2224		36	39	48	50	0,12	0,12	-48,8
Чер	7	Попер	145	2236	2174	2233		45	46	62	58	0,14	0,14	-60,0
Чер	8	Попер	130	2242	2174	2244		52	53	68	70	0,16	0,15	-68,9
Чер	9	Попер	105	2261	2174	2257		63	68	86	82	0,19	0,19	-84,3
Чер	10	Попер	85	2271	2174	2273		83	82	96	99	0,24	0,24	-97,6
Чер	11	Попер	65	2288	2174	2283		109	116	114	109	0,31	0,31	-111,2
Чис	12	Попер	55	2290	2174	2284		133	143	116	110	0,36	0,37	-112,6
Чис	13	Попер	45	2284	2174	2290		178	167	110	116	0,45	0,45	-112,6
Чис	14	Попер	35	2290	2174	2284		216	229	116	110	0,57	0,58	-112,6
Чис	15	Попер	30	2284	2174	2290		268	252	110	116	0,68	0,67	-112,6
Чис	16	Попер	27	2290	2174	2284		281	297	116	110	0,74	0,75	-112,6
Чис	17	Попер	24	2284	2174	2290		334	316	110	116	0,85	0,84	-112,6
Чис	18	Попер	22	2290	2174	2284		344	365	116	110	0,91	0,92	-112,6

Таблица 2

Изменение параметров формы раската в плане при прокатке по чисто поперечной схеме с профилированием по известному способу (И)

Клеть	Проход	Напр. прох.	Толщина, мм	Ширина, мм			Профилир. обжатие	Параметры формы концов раската после прохода						Прод. разноширин. мм, вып (+) вогн (-)
				п.к.	середина	з.к.		Форма торца, мм вып. (+), вогн (-)		Форма конца, мм ушир. (+), утяжка (-)		Длина конца с переменной шириной, м		
								п.к.	з.к.	п.к.	з.к.	п.к.	з.к.	
Чер	1	Прод.	268	1117	1115	1117	54,0	1	2	1	1	0,02	0,02	-1,3
Чер	2	Попер	265	2150	2174	2143		-72	-97	-25	-31	0,62	0,62	28,0
Чер	3	Попер	235	2147	2174	2156		-97	-61	-27	-19	0,70	0,70	22,9
Чер	4	Попер	210	2160	2174	2153		-55	-92	-15	-22	0,78	0,78	18,1
Чер	5	Попер	185	2157	2174	2166		-92	-44	-17	-8	0,89	0,89	12,7
Чер	6	Попер	165	2170	2174	2163		-38	-89	-4	-11	1,00	1,00	7,7
Чер	7	Попер	145	2168	2174	2177		-90	-26	-7	2	1,13	0,14	2,1
Чер	8	Попер	130	2181	2174	2173		-20	-89	7	-1	0,16	1,27	-2,8
Чер	9	Попер	105	2180	2174	2190		-87	-1	6	16	0,19	0,19	-10,9
Чер	10	Попер	85	2197	2174	2190		11	-78	23	15	0,24	0,24	-19,0
Чер	11	Попер	65	2198	2174	2219		-73	35	23	44	0,31	0,31	-33,8
Чис	12	Попер	55	2203	2174	2230		-76	47	29	55	0,36	0,37	-42,1
Чис	13	Попер	45	2243	2174	2213		60	-73	68	38	0,45	0,45	-53,1
Чис	14	Попер	35	2220	2174	2253		-78	89	46	79	0,57	0,58	-62,2
Чис	15	Попер	30	2253	2174	2227		107	-75	79	53	0,68	0,67	-66,0
Чис	16	Попер	27	2232	2174	2253		-77	118	57	79	0,74	0,75	-68,1
Чис	17	Попер	24	2253	2174	2238		133	-74	79	63	0,85	0,84	-71,1
Чис	18	Попер	22	2241	2174	2253		-75	145	67	79	0,91	0,92	-73,0

Рассматривая варианты профилирования по новому способу как по продольной, так и по поперечной схемам прокатки, следует заметить, что эффект от профилирования, которое назначено на более поздних стадиях прокатки по условию возможности кантовки раската,

практически одинаковый (или немного выше). Однако значения профилирующих обжатий на порядок меньше, чем по известному способу, что обуславливает снижение требований к гидронажимным устройствам, необходимым для реализации профилирующих обжатий в процессе прокатки. Так, по поперечной схеме профилирующее обжатие составило – 5,61 мм (табл. 3), что более чем в 9 раз меньше, чем по известному способу. Причем снижение профилирующего обжатия по поперечной схеме обусловлено большим коэффициентом вытяжки раската до достижения им максимальной длины из начального узкого сляба по условию возможности кантовки перед профилирующим проходом.

Таблица 3

Изменение параметров формы раската в плане при прокатке по чисто поперечной схеме с профилированием по новому способу (Н)

Клеть	Проход	Напр. прох.	Толщина, мм	Ширина, мм			Профилир. обжатие	Параметры формы концов раската после прохода						Прод. разноширин. мм, вып (+) вогн (-)
				п.к.	середина	з.к.		Форма торца, мм вып. (+), вогн (-)		Форма конца, мм ушир. (+), утяжка (-)		Длина конца с переменной шириной, м		
								п.к.	з.к.	п.к.	з.к.	п.к.	з.к.	
Чер	1	Попер	270	2134	2130	2135		6	10	4	6	0,07	0,08	-5,0
Чер	2	Попер	240	2148	2130	2145		16	16	19	15	0,10	0,10	-17,2
Чер	3	Попер	215	2157	2130	2159		21	25	27	29	0,10	0,10	-28,3
Чер	4	Попер	190	2171	2130	2168		31	32	42	38	0,11	0,11	-40,1
Чер	5	Попер	170	2179	2130	2181		37	40	50	51	0,12	0,12	-50,3
Чер	6	Попер	150	2192	2130	2189		46	47	63	59	0,13	0,14	-61,0
Чер	7	Попер	135	2198	2130	2200		51	54	69	70	0,15	0,15	-69,6
Чер	8	Попер	110	2216	2130	2212		63	67	86	82	0,18	0,18	-84,3
Чер	9	Прод.	105	2927	3055	2928	5,61	-85	-83	-127	-126	1,12	1,12	126,8
Чер	10	Попер	85	2395	2231	2394		-68	-76	164	163	0,24	0,24	-163,5
Чер	11	Попер	65	2402	2231	2407		-70	-43	171	176	0,31	0,31	-173,4
Чис	12	Попер	55	2408	2231	2414		-73	-28	177	183	0,37	0,36	-180,1
Чис	13	Попер	45	2421	2231	2417		-17	-68	190	186	0,45	0,45	-187,8
Чис	14	Попер	35	2424	2231	2432		-72	6	193	201	0,58	0,57	-197,0
Чис	15	Попер	30	2449	2231	2432		14	-69	218	201	0,67	0,68	-209,4
Чис	16	Попер	27	2436	2231	2458		-69	23	205	227	0,75	0,74	-216,0
Чис	17	Попер	24	2468	2231	2442		29	-66	237	211	0,84	0,85	-224,2
Чис	18	Попер	22	2446	2231	2473		-66	36	215	242	0,92	0,91	-228,4

Технический эффект от профилирующих обжатий как на первых стадиях прокатки, так и на промежуточных в дополнительных проходах по условию возможности кантовки перед профилированием представлен в табл. 4.

Как видно из табл. 4 общая масса обрезки при прокатке листов без профилирования широких граней раската по чисто продольной схеме составляет 246,9 кг (6,1 %). Она состоит в основном из примерно одинаковой обрезки на переднем и заднем концах раската, а также технологической обрезки, обеспечивающей устойчивую работу дисковых ножниц и боковой обрезки. Эффекты по снижению общей обрезки от профилирования по известному (И) и новому (Н) способам примерно одинаковы и составляют 78,52 и 80,78 кг или 1,47 и 1,51 %. Соответственно относительное снижение обрезки составляет 14,7 и 15,1 кг/т.

Общая масса обрезки при прокатке листов без профилирования широких граней раската по чисто поперечной схеме составляет 296,58 кг (5,56 %). Она также состоит в основном из примерно равной обрезки на переднем и заднем концах раската, а также технологической обрезки, обеспечивающей устойчивую работу дисковых ножниц и значительно меньшей боковой обрезки. Эффекты по снижению общей обрезки от профилирования по известному и новому способам примерно одинаковы и составляют 125,14 и 142,66 кг или 2,34 и 2,67 %. Соответственно относительное снижение обрезки составляет 23,4 кг/т для известного способа и 26,7 кг/т для нового способа прокатки толстых листов.

Таблица 4

Составляющие обреза без профилирования и с профилированием по известному и новому способам прокатки для чисто продольной и чисто поперечной схем прокатки, а также эффект профилирования

Составляющие обреза	Теоретическая масса обреза, кг (эффекты, кг)			Расход металла, кг/т (эффект, кг/т)			Расход металла, % (эффект, %)		
	БП	И	Н	БП	И	Н	БП	И	Н
Чисто продольная схема									
Передний конец	30,19	0,86 (29,33)	1,91 (28,28)	5,7	0,2 (5,5)	0,4 (5,3)	0,57	0,02 (0,55)	0,04 (0,53)
Задний конец	31,96	8,92 (23,04)	4,71 (27,25)	6	1,7 (4,3)	0,9 (5,1)	0,6	0,17 (0,43)	0,09 (0,51)
Боковая обрезь	30,53	2,24 (28,29)	4,07 (26,46)	5,7	0,4 (5,3)	0,8 (4,9)	0,57	0,04 (0,53)	0,08 (0,49)
Суммарная обрезь	92,69	12,02 (80,67)	10,69 (82,0)	17,4	2,3 (15,1)	2 (15,4)	1,74	0,23 (1,51)	0,2 (1,54)
Технолог. 50 мм для ножниц	232,73	234,88 (-2,15)	233,95 (-1,22)	43,6	44 (-0,4)	43,9 (-0,3)	4,36	4,4 (-0,04)	4,39 (-0,03)
Общая обрезь	325,42	246,9 (78,52)	244,64 (80,78)	61	46,3 (14,7)	45,9 (15,1)	6,1	4,63 (1,47)	4,59 (1,51)
Чисто поперечная схема									
Передний конец	82,05	8,96 (73,09)	8,13 (73,92)	15,4	1,7 (13,7)	1,5 (13,9)	1,54	0,17 (1,37)	0,15 (1,39)
Задний конец	86,96	34,62 (52,34)	8,91 (78,05)	16,3	6,5 (9,8)	1,7 (14,6)	1,63	0,65 (0,98)	0,17 (1,46)
Боковая обрезь	8,49	5,5 (2,99)	17,24 (-8,75)	1,6	1 (0,6)	3,2 (-1,6)	0,16	0,1 (0,06)	0,32 (-0,16)
Суммарная обрезь	177,5	49,08 (128,42)	34,29 (143,21)	33,3	9,2 (24,1)	6,4 (26,9)	3,33	0,92 (2,41)	0,64 (2,69)
Технолог. 50 мм для ножниц	119,08	122,36 (-3,28)	119,64 (-0,56)	22,3	22,9 (-0,6)	22,4 (-0,1)	2,23	2,29 (-0,06)	2,24 (-0,01)
Общая обрезь	296,58	171,44 (125,14)	153,92 (142,66)	55,6	32,2 (23,4)	28,9 (26,7)	5,56	3,22 (2,34)	2,89 (2,67)

ВЫВОДЫ

Таким образом, для чисто продольных и поперечных схем прокатки предложен новый способ профилирования раската. Профилирование предложено выполнять совместно с рабочим обжатием, например, в первом или последующем. Профилирование рекомендуется выполнять в проходах, приближенных к концу черновой прокатки с учетом ограничения по длине бочки рабочего вала. Преимущества нового способа: небольшое значение профилирующего обжатия, уменьшения силы и обжатия в первых проходах. Экономия металла для чисто продольных и чисто поперечных схем прокатки составляет около 1,5–2,7 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тосаки С. Прогресс в области регулирования формы в плане при прокатке толстых листов : пер. с япон. / С. Тосаки. // Нихон Киндзоку Гаккай. – 1980. – № 2. – С. 79–84.
2. Пат. 86476, Украина, МПК В21В 1/38. Спосіб прокатки товстих листів / А.Л. Остапенко, Є. О. Руденко, О. М. Юр'єв, Ю. В. Коновалов (Україна). – № а200706740 ; заявл. 15.06.2007; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 8.
3. Руденко Е. А. Исследование нового металлосберегающего способа прокатки толстых листов с профилированием угловых участков сляба / Е. А. Руденко, О. М. Юрьев, Л. А. Забира // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 167–169.
4. Остапенко А. Л. Программное обеспечение проектирования технологии прокатки листов и полос / А. Л. Остапенко, Э. Е. Бейгельзимер, Н. В. Миненко, А. В. Кузьмин // Сталь. – 2006. – № 8. – С. 56–59.

Руденко Е. А. – д-р техн. наук, проф. ДонНТУ;

Курдюкова Л. А. – аспирант ДонНТУ;

Голованова А. Е. – студент ДонНТУ.

ДонНТУ – Донецкий национальный технический университет, г. Донецк.

E-mail: zabiralina@ukr.net

Статья поступила в редакцию 05.03.2012 г.