ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.771.23 (03)

А.А. Васильев, В.А. Николаев

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СТАЛИ

В статье представлен сравнительный анализ различных видов станов горячей прокатки с традиционной и предлагаемыми технологиями. Теоретическими расчетами показано, что расположение ППУ на традиционных ШСГП не обеспечивает достаточной эффективности. Кроме того, предложено несколько вариантов конструкций ШСГП (НП), которые позволяют рационально использовать температуру полосы, получать полосы с минусовыми допусками и значительно сокращать расход электроэнергии по сравнению с существующими станами.

Прокатка, полоса, ШСГП, черновая группа, чистовая группа, температура, продольная разнотолщинность.

The article presents the comparative analysis of different types of the hot rolling mills with traditional one and the offered technologies. Theoretical calculations show that the location of IBE on traditional WSMofHR does not provide sufficient efficiency. In addition, a few variants of constructions of WSMofHR (NG) are offered which allow efficient use of the strip temperature, getting bars with minus admittances and considerably abbreviating the expense of electric power as compared to existent mills.

Rolling, strip, WSMofHR, draft group, clean group, temperature, longitudinal thickness variation.

Цель работы. Первый полунепрерывный широкополосный стан горячей прокатки (ШСГП), введенный в эксплуатацию в 1926 г. в США, имел в черновой группе одну нереверсивную и одну реверсивную клети, а в чистовой группе четыре клети кварто [1]. Дальнейшее развитие станов до 1979 г. шло по пути увеличения количества клетей кварто в черновой и чистовой группах клетей и применения универсальных клетей (общее количество рабочих клетей 11 – 13). После 1979 г. с целью снижения финансовых затрат на строительство станов количество клетей в черновой группе сократили до 3-х – 4-х на ¾ непрерывных ШСГП и до 1,2-х на полунепрерывных ШСГП. При этом постоянно совершенствовали технологический процесс и основное оборудование [1], [11] путем:

– применения непрерывной прокатки в 2 – 3-х клетях черновой группы;

– увеличения диаметров рабочих и опорных валков;

– увеличения мощностей главных приводов;

– увеличения толщины слябов до 250…300 мм;

– уменьшения толщины готовых полос до 1,0…1,2 мм;

– применения гидравлических нажимных устройств в клетях чистовой группы;

– установки промежуточного перемоточного устройства (Coilbox – ППУ);

– ускорения вращения валков чистовой группы клетей с увеличением скорости прокатки с v = = 10…12 м/с при заправке полосы в моталку до v = = 15…29 м/с.

На ШСГП полосы прокатывают из слябов, полученных из слитков и из литых слябов машина непрерывного литья и заготовок (МНЛЗ). Применение технологии слиток – сляб сопровождается большими потерями металла в обрезь при коэффициенте расхода металла k_P = 1,09…1,12 для малоуглеродистых сталей.

В 1988 – 1989 гг. появились альтернативные производства тонких горячекатаных полос на литейно-прокатных агрегатах (ЛПА), состоящих из машины непрерывного литья тонкой заготовки и непрерывного полосового стана горячей прокатки (МНЛЗ-НПС) [1], [12]. Первые ЛПА имели в своем составе только чистовую группу из четырех клетей кварто, а последующие 1 – 2 черновые клети и 5 – 6 клетей чистовой группы. При прокатке с ускорением полоса выходит из последней клети ШСГП со скоростью 10…12 м/с, а после захвата полосы моталкой скорость прокатки увеличивают до 20 м/с и более.

Недостатки технологии и оборудования ШСГП подробно рассмотрены в работе [1]. Отметим еще некоторые.

1. Использование Coilbox (ППУ) позволяет увеличить температуру полосы перед чистовыми клетями ШСГП на ~15…30 °С. Однако при отсутствии теплосберегающего экрана имеют место существенные потери температуры внутренних витков рулона (до 40…50 °С) в период смотки промежуточного подката в рулон, при размотке подката и подаче его к чистовой группе клетей ШСГП. При этом время охлаждения внутренних витков оказывается примерно в два раза больше по сравнению со временем охлаждения наружных витков. Вследствие этого температура и толщина по длине раската (полосы) неравномерны, а утолщение заднего конца готовой полосы достигает $\delta h_k \geq 0{,}10$ мм против минимальной толщины полосы [8].

2. При переходе прокатки со скорости 10…12 м/с на максимальную скорость 20 м/с чистовой группы ШСГП затрачивается дополнительная мощность на ускорение вращения рабочих и опор-

ных валков всех 6 – 7 клетей, возникает необходимость регулирования межвалковых зазоров, что также требует дополнительного расхода электроэнергии и обусловливает повышение себестоимости продукции.

3. Для получения ферритной структуры металла перед чистовой группой клетей устанавливают устройство промежуточного охлаждения полосы для получения температуры конца прокатки t_k = 750…800 °С. При этом в процессе прокатки охлажденной полосы участвуют все 6 – 7 клетей стана, что приводит к повышенному расходу электроэнергии и износу поверхности валков.

Основная часть исследований. В значительной степени указанные недостатки устраняются при использовании широкополосного стана горячей прокатки по расположению оборудования, который, очевидно, можно отнести к станам иного (нового) поколения [3] – [7], [9], [10] по сравнению с известными [1], [11]. Принципиальным отличием этого типа ШСГП является сосредоточение основной доли пластической деформации на клети черновой группы при более высокой температуре металла, до промежуточного рольганга и ППУ, применения в чистовой группе 3-х клетей с необходимым набором оборудования, в том числе применением индукционной подогревательной печи перед чистовой группой. Схема предлагаемого типа широкополосного стана для прокатки полос из толстых слябов показана на рис. 1.

В составе ШСГП (НП) в черновой группе расположено 5 – 7 клетей, причем 4 – 6 клетей в непрерывной группе, а в чистовой группе установлено три клети (рис. 1). В непрерывной черновой группе первые клети универсального типа, в которых производят деформацию раската по высоте и ширине. Деформационный режим в клетях черновой группы определяется размерами исходного сляба (H = = 165…300 мм) и конечного раската на выходе из черновой группы толщиной $h_{пр}$ = 3…10 мм, а также параметрами валков (диаметр рабочих валков 600…1000 мм). Скорости прокатки по клетям черновой группы составляют: в клети № 1 – v = 0,45…0,5 м/с, а в последней клети № 6 – v = 6…12 м/с.

Количество клетей в черновой группе, диаметры валков и толщина слябов определяются заданной годовой производственной программой стана и могут быть установлены предварительно известными расчетными методами [4], [7], [8]. В представленной статье выполнены расчеты для 9 и 10-клетевых ШСГП (НП), предусматривая использование при реконструкции освобождающиеся три клети чистовой группы.

После черновой группы полосу сматывают на ППУ (Coilbox) или на барабанные моталки [9], имеющие теплосберегающие экраны. Между ППУ и первой клетью чистовой группы установлено тянущее устройство, подогревательная проходная индукционная печь, ножницы, душирующее устройство и чистовой окалиноломатель.

С ППУ раскат задают в первую клеть чистовой группы со скоростью равной, меньшей или большей скорости выхода его из черновой группы. Скорость переднего конца полосы на выходе из чистовой группы составляет 10…12 м/с, а после захвата его моталкой скорость валков чистовой группы клетей увеличивают до максимально возможной ($v_ч$ ≥ 20 м/с). Благодаря наличия ППУ и проходной печи раскат входит в первую клеть чистовой группы с контролируемой температурой $t_н$ ≥ 900 °С без предварительного упрочнения, что позволяет выполнять прокатку с высокими степенями обжатия.

Ниже представлено теоретическое исследование изменения параметров прокатки полос на ШСГП 1700 с 10-ю клетями [1], [11] и ШСГП (НП) 1700 с 9 и 10-ю клетями (рис. 1) [3] – [7], [9], [10]. При этом режим деформации в 10-клетевых станах принимали одинаковыми, а в 9-клетевом стане сохранили постоянным режим деформации в последних (чистовых) клетях. Исследовали изменение по клетям станов следующих параметров: температуры прокатки, продольную разнотолщинность, силовые параметры и мощность прокатки в интервале скоростей 10… 20 м/с. Расчеты выполнили по известным методам [4], [7], [8], но без учета упрочнения полосы вследствие неполной рекристаллизации. Все параметры прокатки полосы определяли: на переднем конце (участок 1), на расстоянии 30 м от переднего конца полосы (участок 2 – базовый), на расстоянии ~30 м от заднего конца (участок 3) и на заднем конце (участок 4). На участке 2 разнотолщинность полосы принимали равной нулю ($\delta h_п$ = 0) при базовой толщине полосы h = 2,5 мм. Все параметры прокатки рассчитывали для всех участков, сравнение для всех станов выполняли в основном по базовому участку 2.

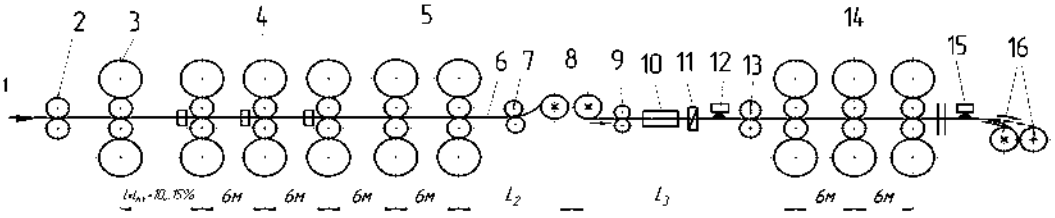


Рис. 1. Схема ШСГП (НП):

1 – сляб; 2 – окалиноломатель; 3 – черновая клеть кварто; 4 – универсальные черновые клети кварто с вертикальными валками; 5 – черновые клети кварто; 6 – промежуточный раскат; 7 – направляющие ролики; 8 – ППУ с теплосберегающим экраном (барабанные моталки); 9 – тянущие ролики; 10 – проходная индукционная печь; 11 – ножницы; 12 – душирующее устройство; 13 – чистовой окалиноломатель; 14 – непрерывная чистовая группа клетей; 15 – душирующее устройство готовой полосы; 16 – моталки готовой полосы

Расчеты выполняли для полосы 2,5×1250 мм из сляба толщиной $H_{СЛ}$ = 165 мм, длиной 9 м. Среднюю температуру раската перед клетью № 1 во всех случаях принимали равной $t_н$ = 1180 °С. Диаметры рабочих валков по клетям равны, мм: № 1 – 940 мм; № 2 – 850 мм; № 3 – 10(9) – 600 мм. В клетях № 1, 2 рабочие валки из стали 9Х2, а в клетях № 3 – 10(9) чугунные с отбеленной поверхностью и твердостью HSD > 70 ед. Расчетные данные представлены на рис. 2 – 4 и в табл. 1 – 3. Из рис. 2а следует, что в первых четырех клетях температура раскатов (участок 2) для всех типов станов ШСГП практически одинаковы. Для серийного ШСГП (кривая 1) после клети № 4 имеет место падение температуры переднего конца полосы в рулоне (с учетом прохождений по промежуточному рольгангу, перемотки на ППУ и транспортировку к чистовой группе) на ~104 °С перед клетью № 5, а затем имеет место практически линейное снижение температуры до t_{10} ≈ 832 °С (табл. 1) на выходе из чистовой клети № 10, что соответствует реальным условиям прокатки полос на ШСГП 1680 [2] (общая длина промежуточного рольганга равна ~65 м).

Температура полосы на входе в чистовую группу клетей ШСГП (НП) составляет (участок 2) для десятиклетевого стана $t_н$ ≈ 937 °С, а для девяти клетевого стана [ШСГП (НП) – 9] – $t_н$ ≈ 933 °С (табл. 2, 3), что несколько выше значений температур для клети № 8 ШСГП – $t_н$ ≈ 924 °С (табл. 1).

В результате изменения деформационно-скоростного режима прокатки в черновой и чистовой группах клетей оказывается возможным повысить температуру полосы в клетях чистовой группы и на входе из нее до $t_к$ ≈ 859…871 °С (табл. 2, 3), что заметно выше, чем на серийном ШСГП ($t_н$ ≈ 832 °С) (табл. 1). Предлагаемая схема ШСГП (НП) обеспечивает увеличение скорости прокатки раската в клетях № 5 – 7 (рис. 3а) и снижение коэффициента трения на 10…25 % (рис. 2б) в клетях черновых групп при $l_d / h_{ср}$ = const.

Увеличение температуры деформации и снижение коэффициента трения обеспечивают в клетях № 4 – 6 (7) ШСГП (НП) заметное снижение сопротивления металла деформации (рис. 2в) и среднего нормального контактного напряжения (СНКН) (рис. 2г) (фактор формы $l_d / h_{ср}$ ≈ 2…4,3). Сила прокатки уменьшается с 16…19 МН до 8…9 МН от клети № 1 к клети № 4 (ШСГП) и клетям № 6(7) ШСГП (НП). После уменьшения температуры при перемотке на ППУ сила прокатки возрастает на всех станах с последующем уменьшением силы до 4…4,5 МН в последней чистовой клети (рис. 2г). При этом в клетях № 5 – 7 (4 – 6) сила прокатки на ШСГП (НП) существенно меньше, чем на ШСГП (в клетях №5 – 7), особенно при использовании 9-клетевого ШСГП (НП). Снижение силы прокатки в клетях № 5 – 7 позволяет заметно уменьшить продольную разнотолщинность готовой полосы (рис. 3б).

Мощность прокатки неравномерно распределена по клетям, и максимальная ее величина наблюдается в клети № 6 ШСГП (НП)-9 (рис. 3в). При прокатке одного и того же профиля полосы (v = 10 м/с в последней клети) суммарная мощность прокатки в чистовых клетях почти в два раза меньше, а суммарная мощность во всех клетях ШСГП (НП) на ~3…5,5 % меньше, чем на серийном ШСГП (см. табл. 4, 5).

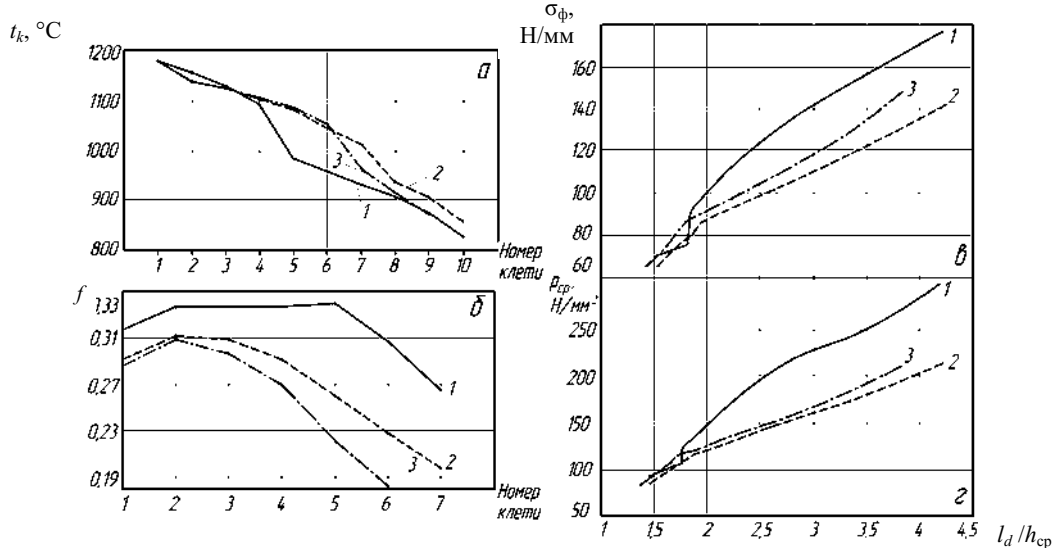


Рис. 2. Изменение начальной температуры раската по клетям станов (а), коэффициента трения (б) по клетям станов, среднего сопротивления металла деформации (в) и среднего нормального контактного напряжения (г) в зависимости от фактора формы очага деформации. 1 – ШСГП; 2 – ШСГП (НП) – 10 клетей; 3 – ШСГП (НП) – 9 клетей. Клети № 1 – 7(6) участок 2

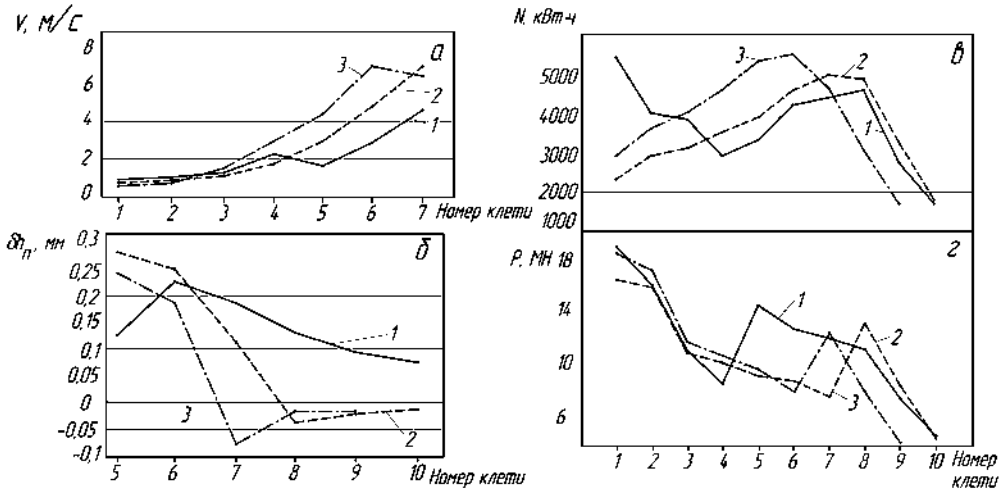


Рис. 3. Изменение скорости прокатки (а) (клети № 1 – 7(6), участок 2) (а), утолщения заднего конца на участке 4 (б), мощности (в) и силы прокатки (г) по клетям станов. 1 – ШСГП; 2 – ШСГП (НП) 10; 3 – ШСГП (НП) 9

Таблица 1

Параметры прокатки на ШСГП 1700 полос стали 08пс с размерами сечения 2,5×1250 мм. Толщина сляба 165 мм (после окалиноломателя $H_{ОК}$ = 140 мм). Время прокатки 182 с ($\delta h_П$ = 0, базовый вариант участок 2)

№ клети	h, мм	v, м/с	ε	$l_c/h_{ср}$	f	$\sigma_Ф$, Н/мм^2	$p_{ср}$, Н/мм^2	P, МН	M, МН·м	N, кВт	$M_{Пi}$, МН·мм	$t_Н$, °С	$t_К$, °С
1	83	0,90	0,408	1,47	0,315	69	91,5	18,76	3,02	5552	0,281	1180	
2	50	1,01	0,398	1,78	0,330	76	107,0	15,84	1,81	4129	0,412	1158	
3	32	1,58	0,360	1,79	0,330	86	120,1	11,01	0,78	3946	0,512	1130	
4	23	2,20	0,281	1,89	0,330	96	132,9	8,62	0,43	3023	0,763	1096	
Перемотка на ППУ													
5	14	1,79	0,393	2,81	0,331	137	217,1	14,44	0,60	3436	1,38	992	981
6	8,8	2,84	0,371	3,46	0,303	155	248,1	12,65	0,48	4358	2,15	969	957
7	5,7	4,39	0,352	4,21	0,265	177	298,2	11,94	0,32	4508	3,44	946	934
8	3,8	6,58	0,333	5,03	0,225	203	347,1	11,13	0,22	4712	5,31	924	911
9	2,9	8,62	0,237	4,90	0,205	209	330,0	7,50	0,10	2794	7,19	901	875
10	2,5	10,00	0,138	4,06	0,204	198	289,0	4,56	0,05	1738	9,23	866	832

Таблица 2

Параметры прокатки на ШСГП (НП)-10 1700 полос стали 08пс с размерами сечения 2,5×1250 мм. Толщина сляба 165 мм (после окалиноломателя $H_{ОК}$ = 140 мм). Время прокатки 176 с (участок 2)

№ клети	h, мм	v, м/с	ε	$l_c/h_{ср}$	f	$\sigma_Ф$, Н/мм^2	$p_{ср}$, Н/мм^2	P, МН	M, МН·м	N, кВт	$M_{Пi}$, МН·мм	$t_Н$, ^{0}С	$t_К$, ^{0}С
1	87	0,46	0,380	1,39	0,288	65	82,5	16,29	2,54	2368	0,26	1180	
2	54	0,73	0,379	1,68	0,310	79	106,6	15,78	1,81	3001	0,40	1135	
3	34	1,17	0,370	1,76	0,303	86	112,0	10,83	0,85	3188	0,46	1125	
4	21,5	1,84	0,368	2,20	0,288	97	132,6	10,14	0,61	3596	0,69	1114	1104
5	13,8	2,87	0,358	2,72	0,261	110	152,4	9,15	0,43	3998	1,02	1092	1075
6	8,9	4,46	0,355	3,38	0,233	130	182,2	8,73	0,33	4704	1,56	1064	1047
7	6,1	6,50	0,315	3,86	0,205	148	209,8	7,60	0,24	5082	2,35	1037	1018
Перемотка на ППУ													
8	4	6,25	0,357	5,39	0,277	195	379,4	13,06	0,25	4993	5,40	937	942
9	2,95	8,47	0,263	5,61	0,231	200	341,7	8,33	0,12	3301	6,97	931	906
10	2,5	10,00	0,153	4,84	0,202	191	268,7	4,43	0,06	1798	8,06	896	859

Таблица 3

Параметры прокатки на ШСГП (НП) – 9 1700 полос стали 08пс с размерами сечения 2,5×1250 мм. Толщина сляба 165 мм (после окалиноломателя $H_{ОК}$ = 140 мм). Время прокатки 171с (участок 2)

№ клети	h, мм	v, м/с	ε	$l_c/h_{ср}$	f	$\sigma_Ф$, Н/мм^2	$p_{ср}$, Н/мм^2	P, МН	M, МН·м	N, кВт	$M_{Пi}$, МН·мм	$t_Н$, °С	$t_К$, °С
1	80	0,50	0,430	1,53	0,286	67	87,4	18,39	3,03	3063	0,27	1180	
2	46,5	0,85	0,419	1,89	0,306	82	114,4	17,06	1,95	3753	0,44	1135	
3	27,2	1,46	0,415	2,06	0,294	90	123,1	11,69	0,89	4147	0,53	1125	
4	16	2,48	0,412	2,68	0,269	102	148,6	10,75	0,60	4741	0,85	1114	1106
5	9,5	4,17	0,406	3,46	0,228	121	177,1	9,77	0,41	5518	1,36	1094	1081
6	6,1	6,50	0,358	4,09	0,195	140	205,7	8,05	0,28	5802	2,12	1070	1053
Перемотка на ППУ													
7	4	6,25	0,363	5,41	0,272	185	357,8	12,42	0,24	4822	5,02	965	957
8	2,95	8,47	0,263	5,59	0,229	193	327,6	7,96	0,12	3171	6,66	946	919
9	2,5	10,00	0,153	4,82	0,201	185	259,6	4,26	0,05	1755	7,76	909	871

Таблица 4

Мощность прокатки в чистовых клетях станов, кВт

Скорость, м/с	ШСГП	ШСГП (НП)-10	ШСГП (НП)-9
10	21548	10091	9823
15	31249	13915	13572
20	42874	16453	16011

Таблица 5

Суммарная мощность в черновых и чистовых клетях при прокатке полосы 2,5×1250 мм, кВт

Скорость, м/с	ШСГП	ШСГП (НП)-10	ШСГП (НП)-9
10	38196	36029	36772
15	47897	39853	40521
20	59522	42391	42960

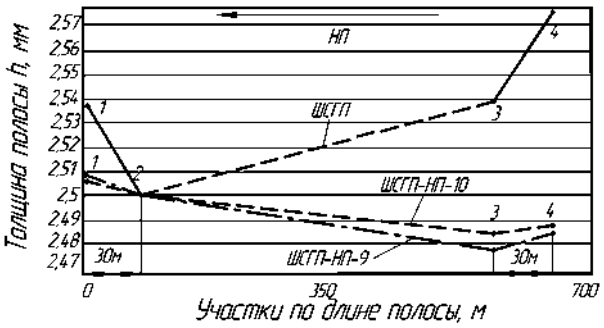


Рис. 4. Схемы изменения толщины полосы на участках 1 – 4 полосы на станах различного типа. Скорость прокатки в чистовой клети $v_ч$ = 10 м/с

Суммарная мощность прокатки во всех клетях стана снижается на ШСГП (НП) по сравнению ШСГП при v = 15 м/с – на 15…16,5 %, а при v = = 20 м/с – на 26…27 % в основном за счет снижения мощности прокатки в первых трех клетях станов при меньшей скорости прокатки. Кроме того, более чем в 2 раза уменьшается мощность, затрачиваемая на ускорение трех чистовых клетей ШСГП (НП) против ускорения 6 – 7 клетей ШСГП. На рис. 4 представлен количественный и качественный характер изменения толщины полосы после прокатки в чистовой клети на участках 1 – 4. Во всех случаях заданная толщина по-

лосы для всех станов соответствовала участку 2 и равна 2,5 мм. Участок 1 соответствует переднему концу полосы, прокатываемому во всех клетях без переднего натяжения, а участок 4 соответствует заднему концу полосы, прокатываемому без заднего натяжения и при меньшей температуре, чем участок 2. Во всех случаях принимали расстояние между участками 1 – 2 и 3 – 4 равным 30 м. Изменение толщины полосы на участке 2 – 3 обусловлено градиентом температур по длине полосы и соответствующим изменением отношения $P_i/M_{\Pi i}$ (P_i и $M_{\Pi i}$ – сила прокатки и модуль жесткости полосы на участках) по сравнению с фиксированным участком 2 полосы. В соответствии с принятыми параметрами прокатки градиент температур по длине полосы между участками 2 и 4 для серийного ШСГП оказался равным $\Delta t_\Gamma = 20$ °С, а для ШСГП (НП) – $\Delta t_\Gamma = 10$ °С (меньшая температура на участке 4). Приращение толщины на участках 1, 3, 4 по сравнению с участком 2 определяли по формуле [6], [8]:

$$\delta h_{\Pi} = \frac{P_i - P_2}{M_{кл} + (M_{\Pi i} - M_{\Pi 2})},$$

где P_i и P_2 – сила прокатки соответственно на i-х участках и на участке 2 длины полосы; $M_{\Pi i}$ и $M_{\Pi 2}$ – модуль жесткости полосы соответственно для i-х участков и участка 2 длины полосы; $M_{кл}$ – модуль жесткости клети.

Как следует из расчетов (рис. 4), при прокатке на серийном стане ШСГП максимальное утолщение $\delta h_{\Pi} = 0{,}074$ мм соответствует участку 4 заднего конца, где толщина полосы оказалась равной $h_4 = 2{,}574$ мм. При прокатке в чистовых клетях ШСГП (НП) для заданной толщины полосы (участок 2) приращение ее наблюдается лишь на участке 1 переднего конца, а на участках 3 и 4 полоса прокатана в клети № 10 (9) на минус ($\delta h_{\text{п}} = -(0{,}01\ldots0{,}02)$ мм), вследствие того, что в клетях чистовой группы ШСГП (НП) полосу прокатывают с большей температурой в клетях № 8 (табл. 3, 4), чем на ШСГП ($t_8 = 924$ °С) (табл. 2). Так, например, температура на входе в клеть № 8 для ШСГП (НП) – 10 составляет – $t = 937$ °С (больше на 13 °С).

Представленные выше теоретические исследования для традиционных ШСГП в полной мере относятся и к современным ЛПА, имеющим в своем составе 5 – 7 клетей кварто. Очевидно, и для непрерывных полосовых станов (НПС) в составе ЛПА может быть целесообразным установка после ППУ (или черновых клетей) всего лишь трех чистовых клетей. Наличие перед чистовой группой клетей системы охлаждения и индукционного подогрева полосы позволяет регулировать температурно-деформационный режим прокатки, получать необходимые механические свойства и точность полосы.

Выводы. Выполнен теоретический анализ изменения основных параметров прокатки полосовой стали на широкополосных станах различного типа: на традиционном ШСГП с ППУ перед чистовой группой и на ШСГП (НП). На ШСГП (НП) основная деформация раската предусматривается в клетях черновой группы (6 – 7 клетей), а заключительный деформационный этап выполняется в чистовой группе из трех клетей, перед которой установлено ППУ и проходная индукционная печь. Такая схема расположения рабочих клетей обеспечивает (без использования индукционной печи):

– повышение температуры раската (полосы) по всей линии стана на 25…39 °С после чистовой клети;

– повышение точности прокатки полосы за счет уменьшения толщины заднего концевого участка и температурного клина;

– показана возможность при реконструкции работающих ШСГП в станы типа ШСГП(НП) сократить общее количество клетей на одну;

– снижение суммарной мощности прокатки по стану на 15…25 % за счет повышения температуры прокатки и уменьшение количества клетей с 6 – 7 клетей до 3-х клетей.

Литература

1. *Коновалов, Ю.В.* Справочник прокатчика. Производство горячекатаных листов и полос. Кн. 1 / Ю.В. Коновалов. – М., 2008.

2. *Молчанов, А.И.* Условия производства особо тонкой горячекатаной полосовой стали на комбинате «Запорожсталь» / [А.И. Молчанов и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. – № 8 – 9. – С. 11 – 14.

3. *Николаев, В.А.* Варианты реконструкции непрерывных станов для прокатки полос / В.А. Николаев, А.А. Васильев // Производство проката. – 2012. – № 6. – С. 2 – 8.

4. *Николаев, В.А.* Исследование параметров, способы и устройства прокатки полос / В.А. Николаев. – Запорожье, 2012.

5. *Николаев, В.А.* Новые технологии производства широкополосной стали. Сообщение 2 / В.А. Николаев // Металл и литье Украины. – 2012. – № 7. – С. 23 – 26.

6. *Николаев, В.А.* О рациональном размещении Coilbox в линии широкополосного стана / В.А. Николаев, А.А. Васильев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – № 6. – С. 28 – 33.

7. *Николаев, В.А.* Особенности прокатки на комбинированном полосовом стане / В.А. Николаев, А.А. Васильев // Металл и литье Украины. – 2011. – № 8. – С. 3 – 7.

8. *Николаев, В.А.* Формирование толщины полосы при прокатке на широкополосных станах / В.А. Николаев, А.Ю. Путноки. – Запорожье; Дикое поле, 2011.

9. Патент Украины № 70367. Спосіб гарячої прокатки штаб в чистової групі на широкоштабовому стані гарячої прокатки / В.О. Ніколаєв, В.Л. Мазур, А.О. Васильєв. Опубл. Бюл. №11, 11.06.2012.

10. Патент Украины № 77200. Широкоштабовий стан гарячої прокатки / В.О. Ніколаєв, А.О. Васильєв. Опубл. Бюл. №3, 11.02.2013.

11. *Сафьян, М.М.* Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство / [М.М. Сафьян и др.]. – К., 1988.

12. *Флеминг, Р.* Агрегаты для производства горячекатаных полос из тонкой непрерывно-литой заготовки / [Р. Флеминг и др.] // Черные металлы. – 1988. – № 3. – С. 3 – 13.