

## Особенности прокатки на комбинированном полосовом стане

Предложен новый способ горячей прокатки на широкополосном стане с разделением чистовой группы на две подгруппы. Моделированием процесса показана возможность прокатки с уменьшением толщины полосы к заднему концевому участку при допустимых температурах окончания процесса.

**Ключевые слова:** прокатка, широкополосный стан, чистовая группа, подгруппа, толщина, полоса, температура

**В**ведение. Широкополосную сталь в настоящее время производят на широкополосных станах горячей прокатки (ШСГП) с традиционной технологией и на ШСГП в составе литейно-прокатных модулей (ЛПМ) [1-6]. Традиционные ШСГП имеют годовое производство в пределах 3..5 млн. т проката, но их технология, даже при использовании толстых (200...300 мм) литых слябов, не обеспечивает получение полос с точным профилем и требуемыми качеством и механическими свойствами. Не всегда температурные параметры прокатки позволяют получать полосы с толщиной меньше  $h < 1,8$  мм. Наличие утолщенных концевых участков полос, из-за отсутствия переднего и заднего натяжений, приводит к дополнительному расходу металла в обрезь перед стыковой сваркой и холодной прокаткой. Увеличение толщины полосы от переднего конца к заднему происходит вследствие наличия температурного градиента по длине промежуточного раската.

**Анализ практических данных и достижений.** Непрерывным ШСГП характерна также недостаточная маневренность при регулировании деформационно-скоростного и температурного режимов прокатки для получения полос с заданными механическими свойствами. При этом 6-7 клетей связаны единым для стана параметром секундного объема металла и скорость валков последней (чистовой) клетки определяет величину скорости валков первой клетки непрерывной группы ШСГП (при заданном деформационном режиме прокатки). В процессе непрерывной горячей прокатки в 6-7-ми клетях металл получает определенное упрочнение, причем в последних кле-

тях в результате упрочнения напряжение течения металла и среднее нормальное контактное напряжение возрастают в 1,12...1,15 раза [7, 8], что приводит к увеличению мощности прокатки и расходу электроэнергии. Последние замечания относятся не только к непрерывным чистовым группам традиционных ШСГП, но и непрерывным широкополосным станам, расположенным в составе ЛПМ.

В работе [9] предложен способ горячей прокатки полос, в котором, по мнению авторов, устраняются указанные выше недостатки ШСГП. В этом способе предусматривается разделение чистовой группы ШСГП на две самостоятельные подгруппы, имеющие свои собственные деформационно-скоростные режимы прокатки и регулирующие системы (рис. 1).

В предлагаемом агрегате комбинированный полосовой стан (КПС) после первой подгруппы 4 установлены промежуточные перемоточные устройства 5 (ППУ), проходная подогревательная индукционная печь 14, ножницы 8 и окалиноломатель 9 и самостоятельно работающая вторая подгруппа клетей 10. Промежуточный раскат 1 после черновой группы клетей (А) сматывают в ППУ (Б, В) и подают (после ножниц 2 и окалиноломателя 3) в первую подгруппу 4 чистовой группы клетей (клетки а-в). Выходящая из клетки 3, в полоса сматывается в ППУ со скоростью  $v_{п} = 5...12$  м/с, а после окончания смотки полоса из рулона 6 направляется во вторую подгруппу клетей 10 (клетки г-е), в которой полосу прокатывают со скоростью 10...25 м/с. Деформационно-скоростной режим прокатки полосы рассчитывают таким образом, чтобы время прокатки

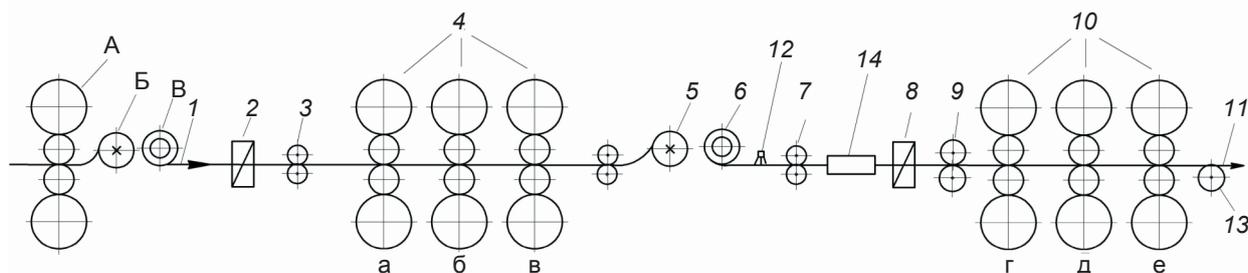


Рис. 1.

Фрагмент ШСГП с разделенной чистовой группой клетей: 1 – промежуточный раскат; 2, 8 – ножницы; 3, 9 – чистовые окалиноломатели; 4 – первая подгруппа клетей чистовой группы; 5 – ППУ; 6 – рулон; 7 – тянущие ролики; 10 – вторая подгруппа клетей чистовой группы; 11 – готовая полоса; 12 – коллекторы охлаждения; 13 – моталка для полос  $h < 2$  мм; 14 – подогревательная индукционная печь; а-е – клетки; А – последняя клетя черновой группы; Б – ППУ; В – рулон с промежуточным раскатом

во второй подгруппе клетей 10 было несколько меньше, чем в первой подгруппе клетей 4, а силовые параметры обеспечивали необходимую точность поперечного профиля полос. Регулирование температурного режима выполняется при помощи подачи воды на рулон и полосу из коллекторов 12 или подогревом в индукционной печи 14. Полосы толщиной  $h > 2$  мм транспортируются к моталкам по отводящему рольгангу с душирующей установкой. Полосы толщиной  $h < 2$  мм смотываются моталками 13, расположенными непосредственно за клетью 10, е, а затем рулоны передают на параллельный отводящий рольганг с размотывателем, душирующим устройством, двумя моталками и необходимым оборудованием (на рис. 1 не показано).

К достоинствам рассмотренного КПС с разделенными подгруппами клетей чистовой группы можно отнести следующее:

- возможность применения в каждой подгруппе собственного деформационно-скоростного режима, не связанного постоянством секундного объема металла в клетях а-в и з-е, например, увеличивать или уменьшать величину суммарного обжатия полосы независимо в каждой подгруппе и тем самым влиять на структуру и механические свойства готовой полосы;

- при наличии ППУ можно увеличить скорость прокатки в первой клетке чистовой группы до 3...5 м/с, что обеспечит повышение производительности непрерывного стана;

- во время и после смотки полосы в рулон при наличии ППУ обеспечивается промежуточная рекристаллизация металла, выравнивание размеров зерен структуры, снижение величин напряжения течения за счет разупрочнения и энергосиловых параметров; снижается уровень внутренних дополнительных напряжений;

- температурные условия прокатки заднего конца полосы рулона (бывшего передним в клетях 4), а также снижение силовых условий прокатки в клетях 10, з-е, обеспечивают возможность прокатки на КПС полос толщиной  $h < 1,5$  мм;

- смена положения концевых участков после клетей 4, (в рулоне задний конец становится передним) обеспечивает повышение точности продольного профиля полосы за счет смены направления температурного клина по длине полосы (с прямого на обратный относительно направления прокатки), а также более высокой температурой заднего конца

полосы по сравнению с передним концом (бывшим задним концом в клетях 4, в). Технология прокатки со сменой положения концевых участков компенсирует отсутствие натяжения концов полосы и уменьшает их утолщения.

*Основная часть исследований.* Рассмотрим возможность комплекса КПС для уменьшения продольной разнотолщинности полосы при прокатке полос на ШСГП с традиционной технологией при использовании транзитной поставки толстых слябов к непрерывному стану 1680 [10-12]. Исследования показывают, что при существующей технологии (без ППУ) толщина полосы существенно изменяется по ее длине (рис. 2).

Минимальная толщина полосы соответствует участку 2 на переднем конце, где достаточно высокая температура и на полосу действует и переднее и заднее натяжение. На участке 1 отсутствует переднее натяжение и толщина полосы несколько больше. На участках 2, 3 увеличение толщины обусловлено снижением температуры полосы, увеличением силы прокатки и, следовательно, упругих деформаций клетки и межвалкового зазора. Максимальное значение толщины на участке 4 заднего конца полосы, где температура минимальная и заднее натяжение отсутствует. Приращение толщины полосы на участке 4 составляет  $\delta h_{\Pi} \approx 0,2$  мм. При использовании ППУ на толщину заднего конца полосы влияет, в основном, отсутствие заднего натяжения и приращение толщины на заднем участке 4 оказывается меньше и составляет  $\delta h_{\Pi} \approx 0,07...0,15$  мм.

Оценку технологии комплекса КПС выполнили с использованием известных моделей расчета температуры полосы во время прокатки [13-16], силы горячей прокатки полос [17-20] и приращения толщины по длине полосы [21-24]. Расчет приращения толщины по длине полосы относительно минимальной толщины на участке 2 (рис. 2) выполнили по итерационной модели [23, 24]:

$$\delta h_{\Pi_i} = \frac{P_i - P_2}{M_{\text{кп}} + \delta M_{\Pi}}; \quad \delta M_{\Pi} = M_{\Pi_i} - M_{\Pi_2}, \quad (1)$$

$$M_{\Pi_i} = \frac{\phi_i P_i}{\Delta h_i};$$

$$\phi_i = (0,57 + 0,62\varepsilon_i) \left[ 1 + 0,023 \left( \frac{R_i}{H_i} \right)^{0,5} \right], \quad (2)$$

где  $P_i$  и  $P_2$  – сила прокатки на  $i$ -ом участке и участке 2;  $M_{\Pi_i}$  и  $M_{\Pi_2}$  – модули жесткости полосы на  $i$ -ом участке и участке 2;  $R_i$  – радиус вала;  $H_i$  – исходная толщина полосы перед клетью;  $\varepsilon_i$  – относительное обжатие;  $\Delta h_i$  – абсолютное обжатие;  $\phi_i$  – коэффициент, определенный из работы [21].

Расчет по формулам (1) и (2) выполняли методом итераций. В первой итерации рассчитывают величину  $\delta h_i$  по данным первого

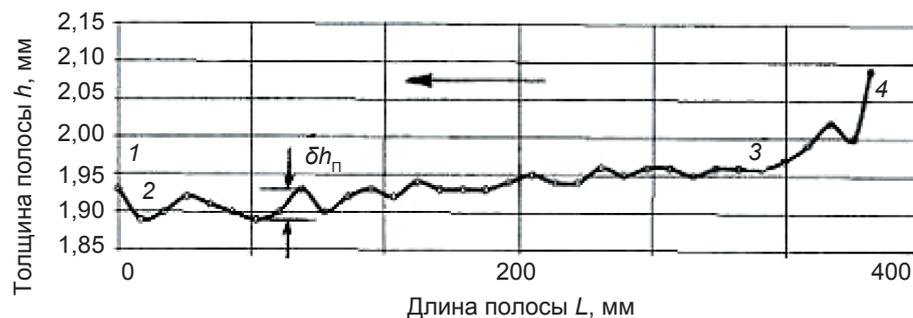


Рис. 2. Профилограмма изменения толщины по длине полосы (ст. 08пс) при прокатке без койлбокса (данные меткомбината «Запорожсталь»)

Параметры прокатки в чистовых клетях ШСГП 1680 полос стали 08пс с размерами сечения 2×1030 мм.  
Толщина подката 26,9 мм,  $\Delta t_5 = 65^\circ\text{C}$

Номер клетки	$h$ , мм	$\varepsilon$	$l_c$ , мм	$l_c/h_{cp}$	$v$ , м/с	$f$	$t_H$ , °C	$t_K$ , °C	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\rho_{cp}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$P$ , МН	$M$ , МН·м	$N$ , кВт/ч	$M_{np}$ , мм	$\delta h_{np}$ , мм
Участок 2 по рис. 2, $\delta h_{np} = 0$															
5	12,91	0,520	65,73	3,25	1,44	0,389	963,0	970,5	127,2	258,9	17,5	1,079	5527	1,20	0
6	8,02	0,379	39,24	3,66	2,32	0,336	955,2	938,3	137,3	261,8	10,6	0,374	3083	1,94	0
7	5,17	0,355	30,36	4,43	3,60	0,298	923,8	907,3	159,5	319,3	10,0	0,258	3308	3,16	0
8	3,41	0,340	24,33	5,36	5,45	0,253	894,3	879,4	186,4	384,6	9,6	0,187	3632	5,03	0
9	2,44	0,284	18,50	5,83	7,63	0,215	867,5	844,2	206,9	406,9	7,7	0,108	2935	7,26	0
10	2,0	0,180	12,78	5,18	9,29	0,194	833,5	805,2	201,7	344,3	4,5	0,042	1397	8,80	0
Участок 4 по рис. 2															
5	13,673	0,492	63,94	3,11	1,44	0,398	904,7	921,6	144,4	305,8	20,1	1,083	5547	1,43	0,762
6	8,566	0,374	40,08	3,52	2,32	0,344	909,5	902,2	150,5	301,9	12,5	0,389	3208	2,17	0,547
7	5,555	0,352	31,17	4,26	3,60	0,302	890,4	881,7	170,3	352,1	11,3	0,264	3374	3,36	0,384
8	3,680	0,338	25,02	5,14	5,45	0,255	870,8	863,1	194,5	408,7	10,5	0,188	3650	5,12	0,270
9	2,632	0,285	19,10	5,62	7,63	0,215	852,9	835,8	212,2	424,9	8,3	0,106	2885	7,20	0,192
10	2,154	0,182	13,19	5,00	9,29	0,194	826,3	793,3	210,8	370,7	5,0	0,038	1257	8,96	0,153

расчета  $P_i$ ,  $P_2$ ,  $M_n$ . Затем определяют  $h_i''$  и  $\Delta h_i''$  и остальные параметры, в том числе и  $P_i''$ , по которым рассчитывают значения  $\delta h_i''$ , во второй итерации. Расчеты  $\delta h_{np}$  по выражению (1) выполняют до тех пор, пока разница между соседними значениями  $\delta h_{np}$  составит  $\Delta = \pm 0,003$ . При  $\Delta = 0$  расчетная система геометрический очаг деформации – сила прокатки приходит в равновесие, а при  $\Delta = \pm 0,003$  система близка к равновесию.

Из выражений (1) и (2) следует, что приращение толщины по длине полосы обусловлено разницей сил прокатки на участках 2 и 4 (рис. 2), величиной модуля жесткости клетки и модулями жесткости полосы на участках 2 и 4. В любом случае увеличение различия сил ( $P_i - P_2$ ) приводит к увеличению приращения  $\delta h_{np}$  толщины. Различие сил на указанных участках обуславливает также увеличение модуля жесткости полосы. Таким образом, равенство толщины по длине полосы, даже при отсутствии средств регулирования межвалкового зазора, обеспечивается равенством силы прокатки по длине полосы. При этом значения модуля жесткости полосы одинаковые.

Рассчитывая приращения толщины, использовали режим деформации в клетях чистовой группы

ШСГП 1680 (6 клеток) из работы [10]. Температуру переднего конца промежуточного раската (точка 1) принимали равной  $970^\circ\text{C}$ , длину участков на переднем и заднем концах, прокатываемых без соответствующих натяжений на промежуточном раскате, принимали равными 2,8 м (расстояние между точками 1-2 и 3-4). Градиент температур по длине промежуточного раската (между точками 2 и 4) равен  $65^\circ\text{C}$ . Суммарное расстояние между клетями 7, 8 и 9, а приняты равным 12 м (рис. 1), а потери температуры на ППУ приняты равными  $7^\circ\text{C}$ .

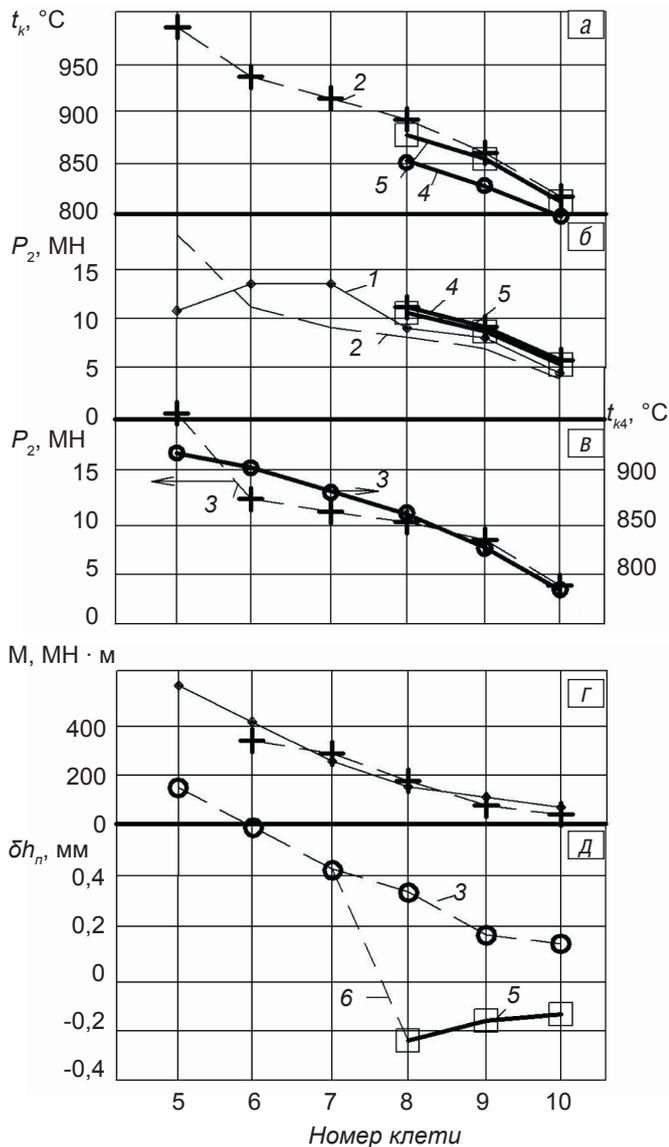
Результаты расчетов представлены в табл.1, 2 и на рис. 3. Расчетные силы  $P_2$  и крутящий момент  $M_2$  на участке 2 достаточно близки к опытным значениям (кроме клетки 5), особенно в клетях 8-10 (рис. 3, б, в). Расчеты выполнены без учета неполного разупрочнения металла в клетях стана.

Температура раската по клетям чистовой группы ШСГП монотонно снижается на переднем конце до  $t = 805,2^\circ\text{C}$  (в клетки 10). Градиент температур по длине готовой полосы составляет  $\Delta t = 12,0^\circ\text{C}$  (рис. 3, в, кривые 2, 3; табл. 1). После смотки раската в ППУ и кантовки его на  $180^\circ$  (когда задний конец становится передним) температура заднего конца раската оказывается выше, чем переднего

Таблица 2

Параметры прокатки в чистовых клетях 8-10 ШСГП 1680 (КПС) полос стали 08пс с размерами сечения 2×1030 мм. Из промежуточного рулона после клетки 7, в,  $\Delta t_5 = 65^\circ\text{C}$

Номер клетки	$h$ , мм	$\varepsilon$	$l_c$ , мм	$l_c/h_{cp}$	$v$ , м/с	$f$	$t_H$ , °C	$t_K$ , °C	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\rho_{cp}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$P$ , МН	$M$ , МН·м	$N$ , кВт/ч	$M_{np}$ , мм	$\delta h_{np}$ , мм
Прокатка участка 2, в (передний конец), $H_8 = 5,555$ мм															
8, в	3,600	0,352	25,75	5,29	5,45	0,258	852,5	849,2	205,6	431,7	11,4	0,233	4512	5,40	0
9, в	2,520	0,300	19,62	5,88	7,78	0,216	839,4	825,0	225,3	453,2	9,1	0,134	3693	7,76	0
10, в	2,000	0,206	14,03	5,53	9,80	0,196	815,8	785,3	233,0	422,7	6,1	0,060	2106	10,26	0
Прокатка участка 4, в (задний конец), $H_8 = 5,17$ мм															
8, в	3,382	0,346	24,52	5,42	5,45	0,256	871,4	866,1	195,4	424,7	10,7	0,187	3620	5,53	-0,217
9, в	2,386	0,295	18,75	5,99	7,78	0,215	847,1	836,0	216,8	450,7	8,7	0,108	2978	8,00	-0,132
10, в	1,906	0,201	13,38	5,59	9,80	0,195	813,0	792,0	223,9	419,4	5,7	0,045	1568	10,53	-0,094



**Рис. 3.** Сравнение параметров прокатки на ШСГП 1680 [10] (табл. 1) (1, 2) и на КПС (4, 5): 1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные данные для установившегося процесса прокатки (рис. 2, точка 2); 3 – расчет для заднего конца полосы (рис. 2, точка 4); 4 – расчет для переднего конца в точке 2, е (рис. 1, клеть 10, е); 5 – расчет для заднего конца полосы в точке 4, е (рис. 1, клеть 10, е) ( $P_2$  и  $P_4$  – силы прокатки на участках 2 и 4); 6 – перемотка раската после клетки 7 в ППУ и прокатка полосы в клетях 8-10 с кантовкой раската на  $180^\circ$  (задний конец раската после клетки 7 стал передним концом точка 2, е для клетки 10)

(кривые 4, 5) и градиент температур по длине готовой полосы равен  $\Delta t = -6,7^\circ\text{C}$  (прокатка в клетях 8, з, 9, д и 10, е). Поскольку утолщенный конец (задний в клетях 7, в, табл. 2) входит в клетки 8, з-10, е, то в клетях 8, д-10, е выполнена перестройка межвалковых зазоров для получения толщины полосы равной  $h = 2,0$  мм в клетях 10, е (точка 2, е – базовая толщина, относительно которой рассчитываем приращение толщины полосы на заднем конце нового участка 4, е).

В результате большей температуры и меньшего обжатия заднего конца промежуточного раската после клетки 7 (табл. 2) готовая полоса на участке 4, е в клетях 10, е оказывается меньше, чем на переднем участке 2, е на  $\delta h_n = -0,094$  мм (рис. 3, д). При этом приращение  $\delta h_n$  и толщина готовой полосы по длине изменяются следующим образом (клеть 10, е):

Участки длины	1	2	3	4
$h$ , мм	1,998	2,0	1,851	1,906
$\delta h_n$	0,002	0	-0,149	-0,094

Из приведенных данных следует, что при прокатке на предлагаемом КПС (рис. 1) толщина  $h_{10}$  по длине полосы от участка 2 к 4 уменьшается с 2,0 до 1,906 мм. То есть, влияние температурного клина на толщину противоположно относительно прокатки на традиционном ШСГП.

Обсуждаемые результаты получены при условии, что температура наружного и внутреннего витков рулона перед клетью 8, з одинаковая. Во время прокатки полосы в клетях 8, з-10, е внутренние витки рулона теряют температуру, и это может способствовать выравниванию толщины по длине готовой полосы следующим образом:

Предлагаемое снижение температуры на участке 4, °C	10	20	30	40
Приращение толщины после клетки 10, е, мм	-0,076	-0,062	-0,016	+0,002

В любом случае получение горячекатаной полосы с минусовой толщиной на заднем конце (относительно номинальной толщины) обеспечивает повышение точности полосы при холодной прокатке и уменьшение обреза как на горячекатаной, так и холоднокатаной полосах.

Перед чистовыми группами клетей традиционных ШСГП и ЛПМ в настоящее время применяют ППУ (Coilbox), а на некоторых ЛПМ – подогревательные проходные печи. Применение этих устройств может исключить различие температур по длине промежуточного раската перед чистовой группой ( $\Delta t_5 = 0$ ). Для такого производства полос КПС оказывается более эффективным с точки зрения точности полосы по длине. Так, для рассмотренного выше примера прокатки для  $\Delta t_5 = 0$  получим (стан 1680, после клетки 10):

Стан	Участок 2		Участок 4	
	$t_{10}$ , °C	$h$ , мм	$t_{10}$ , °C	$\delta h_n$ , мм
ШСГП	835,7	2,0	837,2	2,053
КПС	829,3	2,0	813,0	2,009

На КПС при меньших температурах окончания прокатки точность по длине полосы оказалась выше, чем на традиционном ШСГП, как следует из приведенных данных. Применение стана типа КПС в практических условиях при  $\Delta t_5 > 0$  позволяет получать готовые полосы с минимальной продольной разнотолщинностью и требует механическими свойствами за счет регулирования режимов деформации и температуры полосы в клетях 8, з-10, е.

## Выводы

Предложен способ горячей прокатки тонкой полосы в чистой группе клетей ШСГП с разделением на две подгруппы и установкой между ними промежуточного перемоточного устройства (ППУ). Достоинством этого способа прокатки является применение в каждой подгруппе независимых деформационно-скоростных режимов прокатки и возможность воздействия этим на механические свойства полос.

Применение кантовки концевых участков полосы (рулона) на ППУ между подгруппами обеспечивает снижение приращения толщины полосы на заднем концевом участке. Расчеты параметров прокатки полос, выполненных для серийной технологии горячей прокатки полос на ШСГП 1680 и предлагаемой технологии на комбинированном полосовом стане (КПС), показывают следующее:

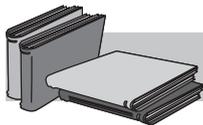
– расчетные и экспериментальные значения силы и крутящего момента совпадают между собой с ошибкой до 15 % (клетки 6-10);

– при серийной технологии прокатки температура переднего конца полосы после клетки 10 составляет

$t_k = 805,2$  °С и на 12 °С больше температуры заднего конца полосы на участке 4, приращение толщины на котором составляет  $\delta h_{\Pi} = 0,153$  мм;

– при прокатке по предлагаемой технологии на КПС получили после клетки 10, конечную температуру  $t_k = 785$  °С, а температура заднего конца на участке 4 оказалась выше и составила  $t_k = 792$  °С. Однако толщина полосы на участке 4 оказалась меньше номинальной на переднем участке 2 ( $h = 2,0$  мм) и составила  $h_{10} = 1,906$  мм при  $\delta h_{\Pi} = -0,094$  мм. Это существенно меньше, чем при серийной прокатке (на 0,247 мм). Полученный по технологии КПС продольный профиль с уменьшением толщины от переднего к заднему концу полосы благоприятен для дальнейшей холодной прокатки, так как способствует уменьшению продольной разнотолщинности и сокращению концевой обрезки как на горячекатаном подкате, так и холоднокатаной полосе;

– технология КПС обеспечивает широкие возможности варьирования деформационно-скоростным и температурным режимами при окончательной обработке полосы во второй подгруппе чистой группы ШСГП.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Минаев А. А. Совмещенные металлургические процессы. – Донецк: Технопарк ДонНТУ, УНИТЕХ, 2008. – 552 с.
2. Коновалов Ю. В. Справочник прокатчика. Производство горячекатаных полос. Кн. 1. – М.: Теплотехник, 2008. – 640 с.
3. Процессы непрерывной разливки / А. Н. Смирнов, В. Л. Пилюшенко, А. А. Минаев и др. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 536 с.
4. Технология CSP: техника установок и адаптация к расширенным производственным программам: пер. с нем. / Г. Флеминг, Ф. Хофман, В. Роде, Д. Розенталь // МРТ, 1994. – С. 46-65.
5. Амелинг Д., Хден Хартог, Штеффен Р. Совмещение непрерывного литья тонких слябов с горячей прокаткой в странах Европейского союза. – Чер. металлы. – 2002. – № 5. – С. 59-69.
6. Современные тенденции развития технологии производства горячекатаных особотонких полос / В. Г. Иванченко, В. Т. Тилик, О. Н. Штехно и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сборник. Вып. 7. – Днепропетровск: ИЧМ НАНУ, 2004. – С. 286-293.
7. Полухин В. П. Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных станов. – М.: Металлургия, 1972. – 512 с.
8. Николаев В. А., Матюшенко Д. А. Влияние неполного разупрочнения металла на напряжение течения при непрерывной горячей прокатке широкополосной стали // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2008. – № 7. – С. 30-33.
9. Пат. № 58909 України, МПК В21В 1/22. Спосіб гарячої прокатки штаб / В. О. Ніколаєв, О. Г. Васильєв, А. В. Ніколаєва, А. О. Васильєв. – Оpubл. 2011, Бюл. № 8.
10. Условия производства особотонкой горячекатаной полосовой стали на комбинате «Запорожсталь» / А. И. Молчанов, С. Я. Солтан, В. П. Яланский и др. // Металлургическая и горнорудная пром-сть. – 2002. – № 8-9. – С. 11-14.
11. Температурные условия прокатки с ускорением на широкополосном стане 1680 / В. А. Сацкий, А. И. Молчанов, А. Ю. Путники и др. // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 1. – С. 5-7.
12. Николаев В. А., Путники А. Ю. Прокатка широкополосной стали. – Київ: Освіта України, 2009. – 268 с.
13. Сафьян М. М. Прокатка широкополосной стали. – М.: Металлургия, 1969. – 460 с.
14. Настройка, стабилизация и контроль процесса тонколистовой прокатки / Г. Г. Григорян, Ю. Д. Железнов, В. А. Черный и др. – М.: Металлургия, 1975. – 368 с.
15. Процесс прокатки / М. А. Зайков, В. П. Полухин, А. М. Зайков, Л. Н. Смирнов. – М.: МИСИС, 2004. – 640 с.
16. Коновалов Ю. В., Остапенко А. Л., Пономарев В. И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник. – М.: Металлургия, 1986. – 430 с.
17. Николаев В. А. Теория прокатки. – Запорожье: ЗГИА, 2007. – 228 с.
18. Николаев В. А. Расчет усилий при горячей прокатке // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2005. – № 11. – С. 24-30.

19. Николаев В. А. К расчету коэффициента трения при горячей прокатке // Там же. – 1994. – № 11. – С. 21-24.
20. Николаев В. А. Влияние химического состава стали на предел текучести при пластической деформации // *Металл и литье Украины*. – 2000. – № 11-12. – С. 5-8.
21. Повышение точности листового проката / И. М. Меерович, А. И. Герцев, В. С. Горелик, Э. Я. Классен. – М.: *Металлургия*, 1972. – 176 с.
22. Ткалич К. Н., Коновалов Ю. В. Точная прокатка тонких полос. – М.: *Металлургия*, 1972. – 176 с.
23. Николаев В. А., Матюшенко Д. А. Влияние обжата в первой клетке чистовой группы ШСГП на параметры прокатки полос // *Металлургическая и горнорудная пром-сть*. – 2007. – № 5. – С. 57-60.
24. Николаев В. А., Матюшенко Д. А. Определение продольной разнотолщинности горячекатаных полос // *Металл и литье Украины*. – 2007. – № 8. – С. 20-22.

### Анотація

*Ніколаєв В. О., Васильєв А. О.*

### Особенности прокатки на комбинированном штабовом стане

*Запропоновано новий спосіб гарячої прокатки на широкоштабовому стані з розподілом чистової групи на дві підгрупи. Моделювання процесу показало можливість прокатки зі зменшенням товщини штаби до задньої кінцевої ділянки за допустимими температурами закінчення процесу.*

### Ключові слова

*прокатка, широкоштабовий стан, чистова група, підгрупа, товщина, штаба, температура*

### Summary

*Nikolayev V., Vasylyev A.*

### The peculiarities of rolling on combined strip mill

*New way of hot rolling on wide strip mill with finishing group division in two subgroups was proposed. By modeling of process the possibility of rolling with strip thinning towards its end part at permissible temperatures at the end of the process is shown.*

### Keywords

*rolling, wide strip mill, finishing group, subgroups, thickness, strip, temperature*

Поступила 23.05.11

УДК 621.74.04

**С. И. Репях, А. А. Жегур\***

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

\*ООО «НТП „Новые машины и технологии“», Днепропетровск

## Модуль охлаждения Т-образного узла отливки

*Исследован процесс затвердевания металла в протяженных Т-образных термических узлах стальных отливок, изготавливаемых методом литья по выплавляемым моделям. Получены эмпирические формулы для расчета модуля охлаждения Т-образного термического узла отливки.*

**Ключевые слова:** *затвердевание, галтель, стенка, узел термический, отливка, модуль охлаждения*

**Н**аиболее часто усадочные дефекты (раковины, рыхлоты, пористость) образуются в термических узлах отливок, к числу которых относятся и их Т-образные сопряжения стенок. Усадочные ра-

ковины и рыхлоты в Т-образных термических узлах определенных групп отливок являются недопустимыми дефектами, снижающими надежность литых деталей. Для предупреждения образования возник-