

DOI: 10.12737/article_5bd95a7a8ed4f3.30501937

^{1,*}Герасимова А.А.¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Россия, 119991, Москва, Ленинский пр-т, 4

*E-mail: allochka@rambler.ru

ВЫБОР ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ДЛЯ ТОЛСТОЛИСТОВОГО ПРОКАТНОГО СТАНА НА ОАО «ВМЗ»

Аннотация. В данной работе был рассмотрен технологический процесс толстолистового прокатного стана 5000 ОАО «ВМЗ». Основываясь на возможностях оборудования данного предприятия, в работе была разработана технологическая схема для производства хладостойких газопроводных труб большого диаметра. В расчетах использовали сталь марки 10Г2СФБ. Данная марка стали приведена в соответствии с классом прочности К60 и ГОСТ 10705-80 «Трубы стальные электросварные. Технические условия». Как известно, основными задачами нагрева под прокатку являются снижение прочностных свойств металла, повышение технологической пластичности и обеспечение равномерного температурного поля. Режим нагрева слябов перед прокаткой выбирали с учетом химического состава сталей, требований к ее качеству, тепловой мощности печей и энергосиловых параметров оборудования. На основании традиционной технологии прокатки толстых листов из углеродистых низколегированных сталей, заканчивается в аустенитной области, однако по мере внедрения технологии контролируемой прокатки микролегированных сталей появилась возможность снижать температуру нагрева до 1150–1180 °С. В результате, проведенных расчетов был выбран оптимальный температурный режим прокатки по проходам, что приведет в дальнейшем к снижению угара металла в печи и к улучшению качества поверхности сляба.

Ключевые слова: температура, листовая прокат, технология, сляб, угар, качество металла.

Значительный спрос на современном рынке проката имеется на толстый лист, применяемый для производства газопроводных труб большого диаметра. К этой продукции потребителями предъявляются особые требования по однородности структуры, повышенные требования по прочности и качеству поверхности. Главным средством для получения требуемых качеств металла, является технология металлургического производства [1].

За последние 10 лет в России осуществляется строительство современных ТЛС, которые должны полностью обеспечить потребности в толстых листах для труб большого диаметра, судостроения. Ярким примером этого является ТЛС 5000 Выксунского металлургического завода.

Толстолистовой прокатный стан 5000 ОАО ВМЗ производит продукцию, как на отечественный рынок, так и на экспорт. Прокатный лист в основном предназначен для изготовления труб большого диаметра. Стан способен производить листовую прокат для изготовления труб категорий прочности К60, К65, К70 (Х70, Х80, Х100, Х120), в том числе и для труб, эксплуатируемых в сейсмоопасных участках и подводных трубопроводах.

Технология производства стали включает последовательное выполнение следующих операций:

1. Загрузка металлического лома в конвертер в количестве 18–22 % от всей металлической шихты плавки.

2. Заливка жидкого чугуна в конвертер.

3. Продувка металла в конвертере техническим кислородом, подаваемым через фурму, с одновременной продувкой металла нейтральными газами (азотом, аргоном) через донные фурмы (ККЦ-1) и присадкой в конвертер шлакообразующих материалов.

4. Измерение температуры и отбор проб металла и шлака после окончания продувки.

5. Выпуск плавки из конвертера в сталеразливочный ковш, с присадкой науглероживателя и раскислителей (ферросплавов, обеспечивающих получение расплава с химическим составом, близким к среднему составу для данной марки стали).

6. Обработка расплава аргоном в сталеразливочном ковше (внепечная обработка) производится для усреднения и корректировки химического состава и температуры.

Весь цикл получения одной плавки жидкой стали таким способом составляет от 40 до 60 минут.

Производство слябов осуществляется путем разлива жидкой стали на установках непрерывной разлива стали (УНРС) [2].

Требования к качеству толстолистового проката для производства труб большого диаметра для магистральных газопроводов высокого дав-

ления определяются требованиями к трубам, которые нормируются ГОСТ 19903-74 «Прокат листовой горячекатаный. Сортамент». [3]

В данной работе для производства хладостойких газопроводных труб большого диаметра использовали сталь марки 10Г2СФБ (рис. 1). Данная марка стали приведена в соответствии с

классом прочности К60 и ГОСТ 10705-80 «Трубы стальные электросварные. Технические условия» [4]. Химический состав этой марки приведен в таблице 1.

Механические свойства стали марки 10Г2СФБ приведены в таблице 2.

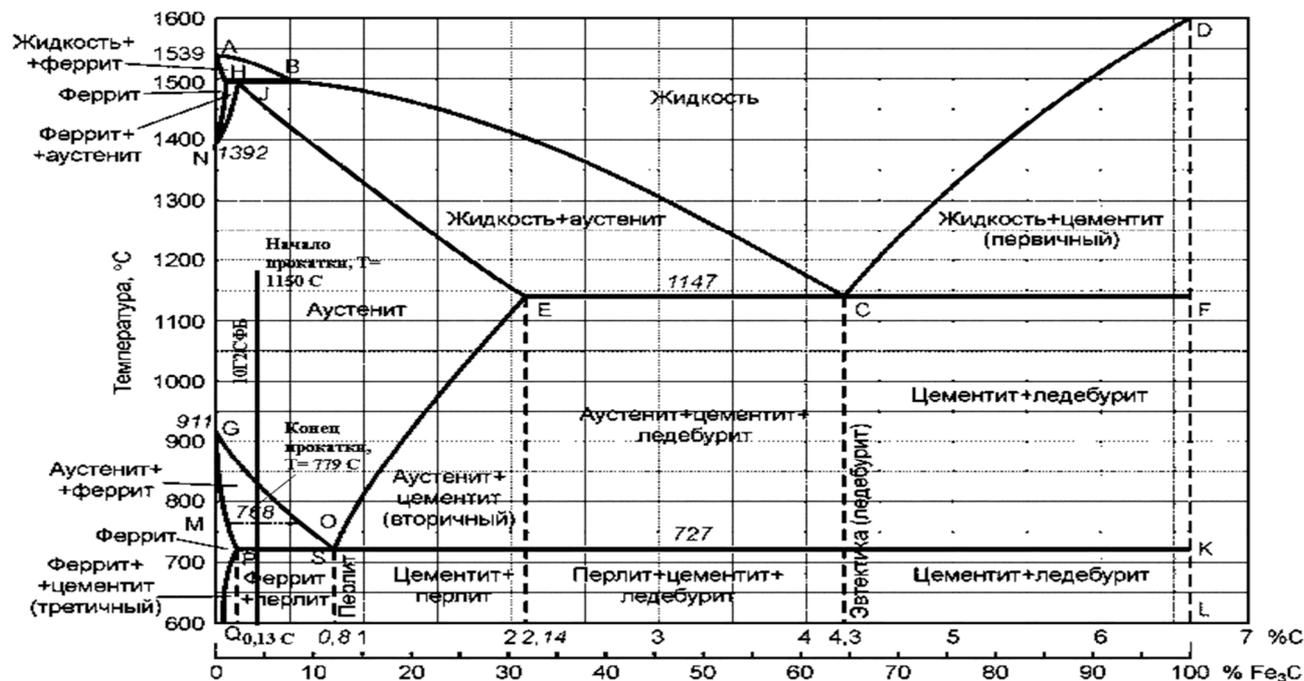


Рис. 1. Сталь 10Г2СФБ на диаграмме железо-углерод

Таблица 1

Химический состав стали марки 10Г2СФБ для хладостойких газопроводных труб большого диаметра

Марка стали	Содержание элемента, %								
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	Cu
10Г2СФБ	≤ 0,13	0,25-0,5	1,3 – 1,8	≤ 0,3	≤ 0,02	≤ 0,025	≤ 0,03	≤ 0,01	≤ 0,3

Таблица 2

Механические свойства стали 10Г2СФБ для хладостойких газопроводных труб большого диаметра

Марка стали	Класс прочности	Диаметр трубы, мм	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %
10Г2СФБ	К60	1420	590	460	20

Основными задачами нагрева под прокатку являются снижение прочностных свойств металла, повышение технологической пластичности и обеспечение равномерного температурного поля. Режим нагрева слябов перед прокаткой выбирают с учетом химического состава сталей, требований к ее качеству, тепловой мощности печей и энергосиловых параметров оборудования. Согласно традиционным представлениям сляб из низкоуглеродистых сталей необходимо нагревать до температур 1220–1250 °С [5–9].

На основании традиционной технологии прокатка толстых листов из углеродистых низколегированных сталей заканчивается в аустенитной области, однако по мере внедрения технологии контролируемой прокатки микролегированных сталей появилась возможность снижать температуру нагрева до 1150–1180 °С. Кроме того понижение температуры нагрева способствует снижению угара металла в печи [10, 11].

Исходя из вышеизложенного принимаем температуру нагрева сляба под прокатку равной 1180 °С.

Подберем массу и размеры исходной заготовки. Сталь, используемая при расчете: **10Г2СФБ**, класс прочности К60. В качестве схемы прокатки выбрана поперечная схема прокатки.

Геометрические размеры готового листа:

- толщина листа – 23 мм;
- ширина листа – 4500 мм;
- длина – 20060 мм;
- масса (в обрезанном состоянии) – 17,0 т.

Массу сляба определяют из соотношения (1):

$$G_{\text{сл}} = K_{\phi} \cdot G_{\text{г.л.}}, \quad (1)$$

где K_{ϕ} – расходный коэффициент; $G_{\text{г.л.}}$ – масса готового листа, т.

$$G_{\text{сл}} = 1,099 \cdot 17,0 = 18,7 \text{ т}$$

По полученным данным отечественных и зарубежных предприятий для изготовления листов заданной толщины используются непрерывно литые слябы толщиной не менее 250 мм.

В качестве исходной заготовки используем сляб 310×2100×3170 мм.

Теперь определим температурные условия прокатки.

Процесс контролируемой прокатки состоит из двух стадий – черновой (при которой в результате деформации и рекристаллизации получают мелкое равномерное зерно аустенита) и чистовой (при которой происходит наклеп аустенита и его превращение в мелкозернистый феррит). Рекомендуемые температурные интервалы прокатки, стали класса прочности К60 приведены в таблице 3.

Таблица 3

Рекомендованные температурные интервалы прокатки

Температура нагрева под прокатку, °С	Температура конца черновой стадии, °С	Температура начала чистовой стадии, °С	Температура конца прокатки, °С
1150–1180	1150–1180	820–850	780–800

Расчет изменения температуры производится поэтапно, отдельно для каждой толщины.

Температура перед каждым проходом рассчитывается по формуле (2) Г.П. Иванцова [5]:

$$T_i = \frac{100}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{T_{i-1}}{100}\right)^3 + h_{i-1}} + 0,055 \cdot \tau_{i-1}}} - 273, \quad (2)$$

где T_{i-1} – абсолютная температура, °К.

Температура перед первым проходом определяется исходя из температуры нагрева под прокатку и времени транспортировки сляба до клетки, она рассчитывается по формуле (3):

$$\tau_0 = \frac{L_0}{\vartheta} + \tau_{\text{п}}, \quad (3)$$

где L_0 – длина рольганга между печами и клетью, $L_0 = 105$ м; ϑ – скорость движения рольганга, скорость движения рольганга, $\vartheta = 2$ м/с; $\tau_{\text{п}}$ – время паузы перед клетью, $\tau_{\text{п}} = 2$ с.

Время транспортировки сляба от печи до клетки:

$$\tau_0 = \frac{105}{2} + 2 = 54,5 \text{ с.}$$

Температуру будем определять в момент нахождения половины длины раската в месте выхода металла из валков, поэтому:

$$\tau_1 = \tau_0 + \tau'_1, \quad (4)$$

$$\tau'_i = l_{i-1}/2\vartheta_{i-1}, \quad (5)$$

$$\tau_1 = 54,5 + \frac{2,82}{2 \cdot 1,9} = 55,3 \text{ с.}$$

Температура в первом проходе:

$$T_1 = \frac{100}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{1423}{100}\right)^3 + \frac{0,055 \cdot 55,3}{250}}} - 273 = 1150,3 \text{ °С.}$$

Время в последующих проходах рассчитывается по формуле (6):

$$\tau_i = \tau'_i + \tau''_i + \tau_{\text{п}} + \tau_{\text{к}}, \quad (6)$$

где $\tau'_i = l_{i-1}/2\vartheta_{i-1}$; $\tau''_i = l_i/2\vartheta_i$; $\tau_{\text{п}}$ – время паузы (для ТЛС 5000 $\tau_{\text{п}} \approx 4$ с); $\tau_{\text{к}}$ – время кантовки (для ТЛС 5000 $\tau_{\text{к}} \approx 13-15$ с).

Температура во втором проходе:

$$\tau'_2 = \frac{3,287}{2 \cdot 1,9} = 0,8 \text{ с;}$$

$$\tau''_2 = \frac{3,858}{2 \cdot 2,2} = 0,9 \text{ с;}$$

$$\tau_{\text{п}} = 4 \text{ с;}$$

$$\tau = 0,8 + 0,9 + 4 = 5,7 \text{ с.}$$

$$T_2 = \frac{100}{\sqrt[3]{\frac{1000}{\left(\frac{1394}{100}\right)^3 + \frac{0,055 \cdot 5,7}{182,8}}} - 273 = 1123,8 \text{ °С.}$$

Аналогично рассчитываем температуру в последующих проходах. Результаты температурного режима прокатки в черновой и чистовой стадии приведены в таблице 4.

Из таблицы видно, что температурные интервалы по стадиям совпадают с рекомендованными (см. таблицу 3). График распределения

температуры по проходам представлен на рисунке 2.



Рис. 2. График распределения температуры прокатки по проходам

Таблица 4

Результаты температурного режима прокатки

Номер прохода	h, мм	L, мм	τ , с	T, °C
0	310,0	3170,0		1150,0
Черновая стадия				
1	279,0	3522,1	55,3	1123,3
2	248,3	3958,8	5,7	1121,8
3	216,0	4550,3	5,9	1117,5
Кантовка 90°				
4	181,5	2543,2	20,8	1108,1
5	152,5	3027,4	5,5	1103,4
6	125,0	3691,2	5,7	1099,4
7	102,3	4513,1	5,9	1093,3
8	83,0	5564,5	6,1	1088,1
9	66,8	6912,2	6,5	1079,6
Подстуживание				
Чистовая стадия				
10	56,8	8277,6	272,0	845,3
11	48,4	9466,2	7,0	840,1
12	41,4	11177,7	7,4	834,3
13	35,4	13085,3	7,7	826,5
14	30,5	15217,8	8,2	817,8
15	26,4	17590,6	8,6	806,2
16	24,2	19018,8	8,6	793,4
17	23,0	20060,1	9,0	779,0

Примечание: h, мм – толщина раската; L, мм – длина раската; τ , с – время прокатки; T, °C – температура прокатки.

Выводы. В данной работе была рассмотрена работа ТЛС 5000 ОАО ВМЗ. Основываясь на возможностях оборудования данного предприятия была разработана технологическая схема производства толстых листов стали класса прочности К60 марки 10Г2СФБ для хладостойких труб большого диаметра и был выбран оптимальный температурный режим прокатки по проходам, что способствует снижению угара металла в печи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эфрон Л.И. Металловедение в “большой” металлургии. Трубные стали. М.: Металлургиздат, 2012. 694 с.
2. Техническая документация стана 5000 ОАО «ВМЗ».
3. ГОСТ 19903-74. «Прокат листовой горячекатаный. Сортамент».
4. ГОСТ 10705-80 «Трубы стальные электросварные. Технические условия».

5. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки. Справочник. М. Metallurgiya, 1986. 430 с.

6. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станков. М.: Metallurgiya, 1985. 376 с.

7. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. М.: Metallurgiya, 1987. 480 с.

8. Солнцев Ю.П., Ермаков Б.С., Слепцов О.И. Материалы для низких и криогенных температур: Энциклопедический справочник. – СПб.: Химиздат, 2008. 768 с.

9. Development of a Method for Calculating the Thickness of Thermal-Spray Aluminum Coating Used to Protect Low-Alloy Steel During Heating for Rolling. A. G. Radyuk, A. A. Gerasimova // Metallurgist, Vol.62, No. 1-2, May, 2018 (Russian Original No.1-2, 2018) P. 176–180.

10. Рашев Ц. Высокоазотистые стали. Metallurgiya под давлением. София: Изд. Болгарской АН, 1995, 270 с.

11. Svyazhin A.G., Siwka J., Kaputkina L.M. High-nitrogen steels – The current state and development trends. // Proceed. Int. Conf. Advanced Steels. – China, Beijing. Metallurgical Industry Press. 2010. P. 352–356.

Информация об авторах

Герасимова Алла Александровна, кандидат технических наук, доцент. E-mail: allochka@rambler.ru. Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Россия, 119991, Москва, Ленинский пр-т, 4.

Поступила в июле 2018 г.

© Герасимова А.А., 2018

^{1,*}**Gerasimova A.A.**

¹National research technological University "MISIS"
Russia, 119991, Moscow, Leninsky prospect, 4

*E-mail: allochka@rambler.ru

SELECTION OF TEMPERATURE CONDITIONS FOR THICK-PLATE ROLLING MILL AT VYKSA STEEL WORKS

Abstract. The technological process of plate rolling mill 5000 at "Vyksa Steel Works" is considered. The technological scheme for the production of large-diameter cold-resistant gas pipes, based on the capabilities of enterprise equipment, is developed. The 10G2SFB steel is used in the calculation. The given steel corresponds to grades class K60 and GOST 10705-80 "Electrowelded steel pipes. Specifications". It is known, the main tasks of heating for rolling are to reduce strength properties of the metal, to increase a technological plasticity and to ensure a uniform temperature field. The mode of slab heating before rolling is chosen in terms of steel chemical composition, the quality requirements, the thermal capacity of furnaces and the power parameters of equipment. On the basis of traditional technology, rolling thick sheets of low alloy carbon steels end in the austenitic part, however, with the introduction of technology controlled rolling of micro-alloyed steels, it is possible to reduce the heating temperature to 1150-1180 °C. In result of performed calculation, the optimal temperature mode of rolling through the aisles is chosen. It reduces the metal loss in the furnace and improves the quality of the slab surface.

Keywords: temperature, sheet rolling, technology, slab, waste, quality of metal.

REFERENCES

1. Efron L.I. Metallurgy in "big" metallurgy. Pipe steel, Moscow, Metallurgizdat, 2012, 694 p.

2. Technical documentation of mill 5000 at Vyksa steel works.

3. GOST 19903-74. "Hot-rolled sheet rolling. Assortment»

4. GOST 10705-80 "steel electro-welded Pipes. Technical conditions»

5. Konovalov Y.V., Ostapenko, A.L., Ponomarev V.I. Calculation of parameters of leaf rolling. Handbook, Moscow, Metallurgy, 1986, 430 p.

6. Kopolev A.A. Design and calculation of machines and mechanisms of rolling mills. Moscow, Metallurgy, 1985, 376 p.

7. Tselikov A.I., Polukhin P.I., Grebenik V.M. etc. Machines and units for the production and finishing of rolled products. Moscow, Metallurgy, 1987, 480 p.

8. Solntsev Yu.P., Yermakov O.S., Sleptsov O.I. Materials for low and cryogenic temperatures: Encyclopedic reference book, SPb, Khimizdat, 2008, 768 p.

9. Development of a Method for Calculating the Thickness of Thermal-Spray Aluminum Coating Used to Protect Low-Alloy Steel During Heating for

Rolling. A.G. Radyuk, A.A. Gerasimova. Metallurgist, 2018, vol. 62, no. 1-2. May, pp. 176–180.

10. Rashev Ts. High steel. Metallurgy under pressure, Sofia, Publishing House. Bulgarian Academy of Sciences, 1995, 270 p.

11. Svyazhin A.G., Siwka J., Kaputkina L.M. High-nitrogen steels – The current state and development trends. Proceed. Int. Conf. Advanced Steels. China, Beijing. Metallurgical Industry Press, 2010, pp. 352–356.

Information about the author

Gerasimova, Alla A. PhD, Assistant professor. E-mail: allochka@rambler.ru. National research technological University "MISIS" (Moscow). Russia, 119991, Moscow, Leninsky prospect, 4.

Received in July 2018

Для цитирования:

Герасимова А.А. Выбор температурного режима для толстолистового прокатного стана на ОАО «ВМЗ» // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №10. С. 126–131. DOI: 10.12737/article_5bd95a7a8ed4f3.30501937

For citation:

Gerasimova A.A. Selection of temperature conditions for thick-plate rolling mill at vyksa steel works. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 10, pp. 126–131. DOI: 10.12737/article_5bd95a7a8ed4f3.30501937