

С.О. Воробей, д.т.н, с.н.с., ORCID 0000-0003-0119-3935

І.Ю. Приходько, д.т.н, с.н.с., зав. відділом ORCID 0000-0001-5651-8106

В.В. Разносілін м.н.с., ORCID 0000-0002-4463-4588

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТОНКИХ ГАРЯЧЕКАТАНИХ ШТАБ НА ШСГП

Анотація. Мета роботи – шляхом аналізу технологічних і конструктивних параметрів ряду широкоштабових станів, які прокатують гарячекатані штаби товщиною менше 2,0 мм, визначити раціональні схеми їх виробництва. Показано, що в теперішній час спостерігається постійне збільшення обсягів виробництва особливо тонких гарячекатаних штаб (товщиною 0,8-1,5 мм), які можна використовувати замість більш дорогих (на 20-30 доларів на тонну) холоднокатаних. Освоєння виробництва гарячекатаних штаб такої товщини обмежуються низкою проблем, зокрема, низькою температурою кінця прокатки (760-820 °С), що призводить до значного зниження пластичності прокату; обмеженням по заправній швидкості прокатки, що не дозволяє збільшити температуру кінця прокатки; складністю управління профілем поперечного перерізу і площинністю штаб. З використанням математичного моделювання встановлено, що найбільший вплив на температуру кінця прокатки надають товщина штаб і швидкість прокатування. Менший вплив надають товщина і температура розкатів на вході в чистову групу клітей. Зменшення кількості клітей в чистовій групі підвищує температуру кінця прокатки при постійній товщині розкатів, але при зміні товщини розкатів відповідно до кількості клітей вплив істотно зменшується. Найбільш сприятливі технологічні параметри виробництва особливо тонких гарячекатаних штаб забезпечують ливарно-прокатні агрегати, що характеризуються в порівнянні з широкоштабовими станами, як правило, більшою товщиною і температурою розкатів (або безперервнолитих слябів) і меншою кількістю клітей. Збільшення товщини розкатів (слябів) потребує підвищення значень енергосилових параметрів прокатки та застосування спеціальних рішень, які забезпечують мінімальні втрати тепла розкатами перед входом в чистову групу клітей. Розрахунки показують, що, виходячи з досягнутою в промисловості надійної максимальної заправної швидкості прокатки гарячекатаних штаб (10-11,5 м/с), мінімальна товщина штаб з високими пластичними властивостями становить: для широкоштабових станів - 1,9-2,0 мм; для ливарно-прокатних агрегатів в залежності від їх типу - 1,3-1,6 мм.

Ключові слова: тонкі штаби, широкоштабовий стан гарячої прокатки, обладнання, параметри технології

Посилання для цитування: Воробей С.О., Приходько І.Ю., Разносілін В.В. Особливості технологічних схем та обладнання для виробництва тонких гарячекатаних штаб на ШСГП. //«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. - Вип.34. – С.159-169. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2020-34-159-169

Вступ. Починаючи з 2000 р. в світовій практиці склалася чітка тенденція заміни тонких холоднокатаних штаб на гарячекатані аналогічних розмірів. Така заміна забезпечить прибуток в 20-30 доларів на тонну прокату [1]. З огляду на те, що гарячекатані штаби, як правило, дещо поступаються холоднокатаним за рівнем і стабільністю пластичних властивостей, рівномірністю мікроструктури, точністю геометричних розмірів і якістю поверхні, на ринку металопродукції може бути замінено близько 30 % холоднокатаних штаб. Така продукція придатна для використання в комунікаційних трубопроводах, радіаторах, будівельних настилах, нафтовій тарі, деяких автомобільних вузлах, тобто там, де не пред'являються жорсткі вимоги до якості поверхні штаб і пластичним властивостям (тобто, метал не піддається складній витяжці при штампуванні).

В даний час спостерігається постійне збільшення обсягів виробництва особливо тонких гарячекатаних штаб (товщиною 0,8-1,5 мм). Однак освоєння виробництва гарячекатаних штаб такої товщини стикається з низкою проблем:

1. Низька температура кінця прокатки (760-820 °С), що відповідає двофазній аустенітно-феритній області. У цьому діапазоні температур в штабах з низьковуглецевих сталей формується нерівномірна мікроструктура, яка веде до значного зниження пластичності прокату.

2. Обмеження по заправній швидкості прокатки, що не дозволяє збільшити температуру кінця прокатки. Заправна швидкість, як правило, не перевищує 10-11,5 м/с. При цьому найчастіше, чим менше товщина штаби, тим менше заправна швидкість прокатки. На станах зі старим обладнанням швидкість, як правило, не перевищує 8,5-9,0 м/с. Спеціальні конструктивні рішення по обладнанню відвідного рольганга і моталок дозволяють збільшити заправну швидкість до 12-14 м/с, однак такі рішення складні, дорогі і ненадійні.

3. Складність управління профілем поперечного перерізу і площинністю штаб. Чим менше товщина штаб і більше їх ширина, тим складніше управління профілем і формою штаб.

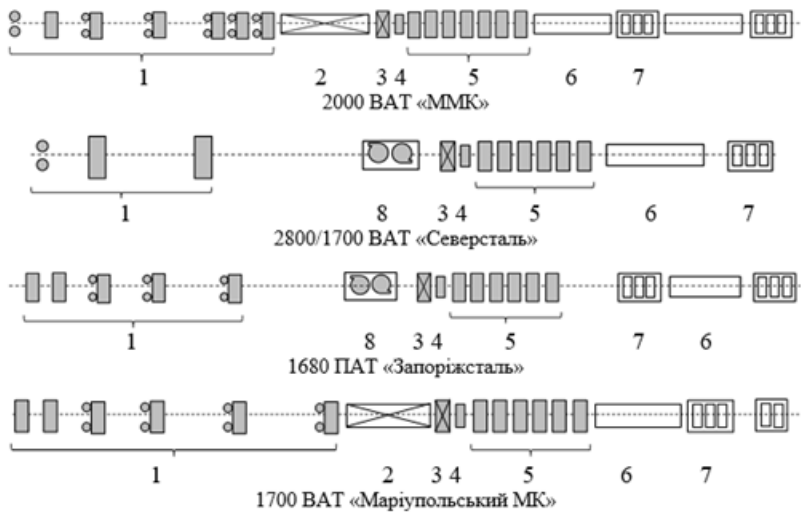
4. Підвищені значення енергосилових параметрів прокатки тонких штаб. На старих ШСГП обладнання чистової групи клітей не дозволяє застосовувати розкати підвищеної товщини для збільшення температури

кінця прокатки, так як при цьому збільшується зусилля, момент і потужність прокатки.

5. Необхідність застосування спеціальних рішень, що забезпечують мінімальні втрати тепла розкатом на проміжному рольгангу. До такого обладнання відносяться проміжний перемотувальний пристрій койлбокс (ППУ) і теплозберігаючі екрани.

Мета роботи – шляхом аналізу технологічних і конструктивних параметрів ряду широкоштабових станів, які прокатують гарячекатані штаби товщиною менше 2,0 мм (стани РФ 2000 ВАТ «ММК» і 2800/1700 ВАТ «Северсталь», що представляють для нас найбільший інтерес з позицій прокатки тонких штаб, і стани України - 1680 ПАТ «Запоріжсталь» і 1700 ПАТ «Маріупольський МК» до реконструкції), визначити раціональні схеми їх виробництва.

Схеми станів наведено на рис. 1. Основні параметри розглянутих станів, що визначають особливості прокатки тонких штаб, наведено в табл. 1.



1 - чорнова група клітей; 2 - екрани на проміжному рольгангу; 3 - ножиці; 4 - чистовий окалиноломатель; 5 - чистова група клітей; 6 - установка охолодження штаб на відповідному рольгангу; 7 - моталки; 8 - ППУ

Рисунок 1 – Схеми розташування обладнання широкоштабових станів

Наведені дані показують, що для освоєння виробництва особливо тонких штаб на ШСГП необхідне збільшення швидкості прокатки, товщини і температури розкатів, що, в свою чергу, викликає необхідність збільшення допустимих зусиль прокатки і потужності приводу клітей чистової групи. З позицій забезпечення високої точності геометричних розмірів тонких штаб і високої площинності необхідне оснащення клітей чистової групи гідравлічними натискними пристроями та ефективними системами противигіну валків.

Таблиця 1 - Основні параметри розглянутих станів, що визначають особливості прокатки тонких штаб

Найменування параметрів	Значення параметрів для широкоштабових станів			
	2000	2800/1700	1680	1700
Мінімальна товщина штаб, мм	1,2	0,8	1,5	1,5
Кількість клітей чистової групи	7	6	6	6
Оснащення проміжного рольганга	екрани	ППУ	ППУ	екрани
Товщина розкатів, мм	28-30	25	18-20	23-24
Температура розкатів на проміжному рольгангу, °С	1060-1100	1080-1120	1060-1120	1060-1120
Максимальна заправна швидкість, м/с	10-11	10,5-11,5	8,3	9,0-9,4
Температура кінця прокатки (°С) штаб товщиною 1,5 мм	830-850	810-840	760-780	800-830
Діаметр валків останньої кліті, мм	800	670	600	700
Допустиме зусилля прокатки, МН	44-29,4	25-15	Н.д.	Н.д.
Потужність приводу, МВт	14,2-11,3	8-7,1	7	8-5
Гідравлічні натискні пристрої	так	так	ні	так
Система противигіну валків	так	так	так	так
Система осьового переміщення валків	ні	ні	ні	так

Теоретичний аналіз впливу параметрів прокатки на температуру кінця прокатки тонких штаб, проведений нами з використанням розроблених

раніше математичних моделей [3, 4], показує наступне. Найбільший вплив на температуру кінця прокатки надають товщина штаб і швидкість прокатки (рис. 2). Менший вплив надають товщина і температура розкатів (рис. 3).

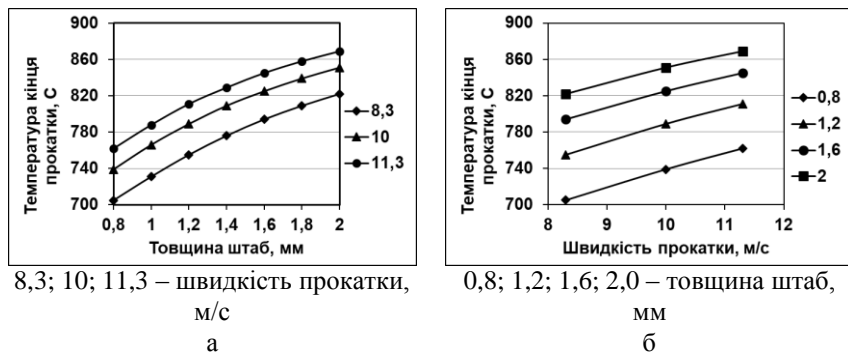


Рисунок 2 – Вплив товщини штаб (а) і швидкості прокатки (б) на температуру кінця прокатки

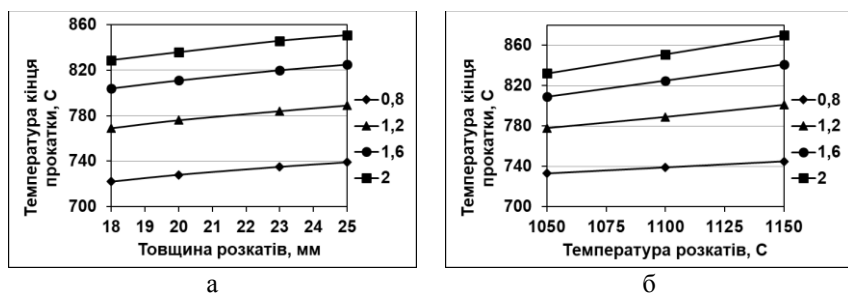


Рисунок 3 – Вплив товщини (а) і температури (б) розкатів на температуру кінця прокатки: 0,8; 1,2; 1,6; 2,0 – товщина штаб, мм

Зменшення кількості клітей в чистовий групі підвищує температуру кінця прокатки при постійній товщині розкатів, але при зміні товщини розкатів відповідно до кількості клітей вплив істотно зменшується (рис. 4).

Для зіставлення температуро-швидкісних умов прокатки на різних ШСГП зручно використовувати константу прокатки, яка дорівнює добутку товщини штаб на швидкість прокатки. На рис. 5 а наведені середні фактичні значення температури кінця прокатки тонких штаб на розглянутих ШСГП і розрахункова залежність температури кінця прокатки від константи прокатки (розрахунки виконані при однаковій

температурі розкатів – 1100 °С і товщині розкатів – 25 мм). На рис. 5 б наведені значення температури кінця прокатки, які скориговано по математичній моделі за фактичними значеннями товщини і температури розкатів.

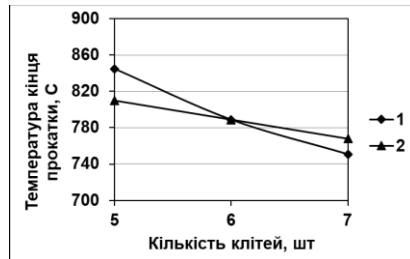
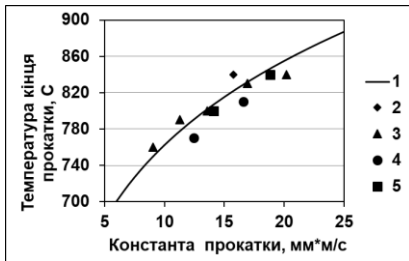
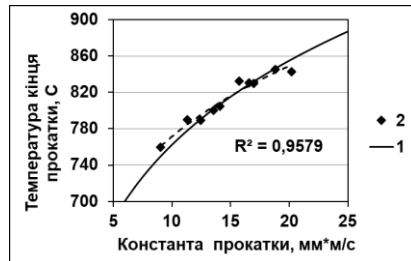


Рисунок 4 – Вплив кількості клітей в чистовий групі на температуру кінця прокатки штаб товщиною 1,2 мм: 1 – товщина розкатів 25 мм; 2 – товщина розкатів 15, 25 і 35 мм для п'яти, шести і семи клітьової груп відповідно



1 – розрахункова залежність; 2-5 – фактичні дані (2 – стан 2000, 3- 2800/1700, 4 – 1680, 5- 1700)

а



1 - розрахункова залежність; 2 - фактичні дані, скориговані по товщині і температурі розкатів

б

Рисунок 5 – Вплив константи прокатки на температуру кінця прокатки

Наведені дані показують обґрунтованість застосування константи прокатки для порівняльного аналізу фактичних температуро-швидкісних параметрів прокатки тонких штаб. Найбільш сприятливі технологічні параметри виробництва особливо тонких гарячекатаних штаб забезпечують ливарно-прокатні агрегати (ЛПА), що характеризуються в порівнянні з ШСГП, як правило, більшою товщиною і температурою розкатів (або безперервнолитих слябів) і меншою кількістю клітей [5-9].

В даний час найбільшу кількість ЛПА, що експлуатуються в світі, відносяться до двох типів - CSP (фірми SMS) і ISP (фірми MD). На агрегатах CSP товщина безперервнолитих слябів - 50 мм. Температура слябів на виході з прохідної печі – 1100 °С. Кількість робочих клітей –

чотири, товщина готової продукції становила 2,5-12,7 мм (в першому варіанті). Через рік після початку експлуатації ЛПА була встановлена п'ята кліть, яка дозволила знизити мінімальну товщину штаб до 1,6 мм. Фірма SMS продовжила вдосконалювати ЛПА з метою прокатки тонких штаб. Перший такий агрегат з процесом CSP для випуску штаб товщиною 1,0-12,7 мм і шириною 900-1350 мм в рулонах масою 20 т вступив в експлуатацію в 1995 р. на заводі фірми Hysla (м. Монтеррей, Мексика). На МБЛЗ відливають сляби товщиною 50 мм. У складі ЛПА встановлена шестиклітьова група. Уже через півроку після пуску ЛПА була освоєна прокатка штаб товщиною 1,0 мм.

Фірма MD розробила МБЛЗ з вертикальним кристалізатором з паралельними стінками і вигнутою нижньою частиною, що дозволяє відливати сляби товщиною 60-70 мм, з динамічною роликовою проводкою, що дозволило поєднати розливу з обтисненням заготовки з рідкою серцевиною в тонкослябовій МБЛЗ. Товщина штаб 1,0-11 мм.

Загальною тенденцією розвитку тонколистових ЛПА є підвищення температури металу на вході в чистову групу клітей до 1150 °С і збільшення кількості клітей чистової групи до 6-7. Це дозволяє прокатувати штаби товщиною 0,7-0,8 мм. При цьому в останніх клітях чистової групи застосовують валки меншого діаметра (600-650 мм) в порівнянні з першими клітями (750-950 мм). Разом з тим, в технічній літературі не наводяться фактичні характеристики показників якості особливо тонких штаб, вироблених в ЛПА.

Відомо, що для забезпечення високої пластичності гарячекатаних штаб з низьковуглецевих сталей їх температура кінця прокатки повинна бути не менше 830-850 °С [1]. На рис. 6 наведено результати наших розрахунків швидкостей прокатки, що забезпечують температуру кінця прокатки 800 і 850 °С при виробництві тонких штаб на ШСГП і ЛПА типу CSP і ISP.

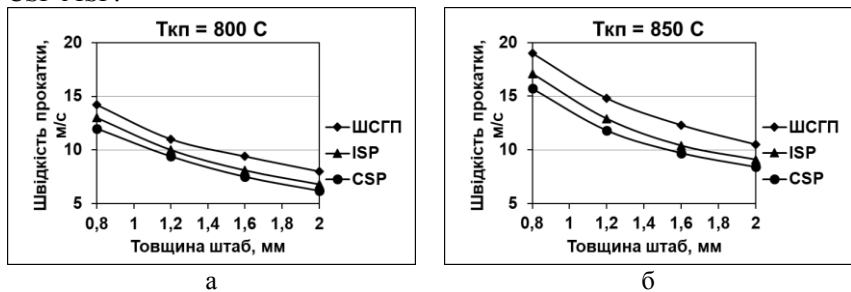


Рисунок 6 - Швидкості прокатки, що забезпечують температуру кінця прокатки 800 (а) і 850 °С (б) при виробництві тонких штаб на ШСГП і ЛПА типу CSP и ISP

Наведені дані показують, що для забезпечення однієї і тієї ж температури кінця прокатки на ЛПА потрібна значно менша швидкість прокатки в порівнянні з ШСГП.

Виходячи з досягнутою в промисловості максимальної заправної швидкості прокатки (10-11,5 м/с) мінімальна товщина штаб з високими пластичними властивостями становить: для широкоштабових станів - 1,9-2,0 мм; для ливарно-прокатних агрегатів ISP - 1,5-1,7 мм; CSP - 1,3-1,6 мм.

Висновки.

В теперішній час спостерігається постійне збільшення обсягів виробництва особливо тонких гарячекатаних штаб (товщиною 0,8-1,5 мм), які можна використовувати замість більш дорогих (на 20-30 доларів на тонну) холоднекатаних. Освоєння виробництва гарячекатаних штаб такої товщини обмежуються низкою проблем, зокрема, низька температура кінця прокатки (760-820 °С), що призводить до значного зниження пластичності прокату; обмеження по заправній швидкості прокатки, що не дозволяє збільшити температуру кінця прокатки; складність управління профілем поперечного перерізу і площинністю штаб; підвищені значення енергосилових параметрів прокатки; необхідність застосування спеціальних рішень, що забезпечують мінімальні втрати тепла розкатами на проміжному рольгангу.

Проведено аналіз складу і характеристик основного обладнання чотирьох широкоштабових станів, а також результатів досліджень параметрів прокатки особливо тонких штаб на цих станах. Показано, що для освоєння виробництва особливо тонких штаб на ШСГП необхідне збільшення швидкості прокатки (перш за все, заправної), товщини і температури розкатів, що, в свою чергу, викликає необхідність збільшення допустимих зусиль прокатки і потужності приводу клітей чистової групи.

Перелік посилань

1. Журнал "Еско" [Електронний ресурс]. 2005. №5. Режим доступу: http://journal.esco.co.ua/2005_5/art70.htm
2. *Перший* рулон пішов: модернізований стан «1700» ММК імені Ілліча запущено в експлуатацію. 2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://metinvestholding.com/ua/media/news/pervij-rulon-poshel-modernizirovannij-stan-1700-mmk-imeni-iljicha-zapuschen-v-ekspluaciyu>.
3. *Надежность* технологического процесса производства листового проката / В.Л. Мазур, С.А. Воробей, Д.Л. Романовский и др. Київ : Техніка, 1992. 170 с.

4. Воробей С.А., Левченко Г.В. Особенности расчета энергосиловых параметров горячей прокатки тонких полос // Теория и практика металлургии. 2007. № 2-3. С. 86-91.
5. Воробей С.А., Бадюк С.И. Анализ режимов прокатки полос на литейно-прокатных агрегатах // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2012. № 5. С. 28-31.
6. Коновалов Ю.В. Настоящее и будущее литейно-прокатных агрегатов. Сообщение 3. Производство горячекатаных полос и листов // Производство проката. 2009. № 11. С. 27-42.
7. Флеминг Г., Хофманн Ф., Роде В., Розенталь Д. Технология CSP. Техника установок и адаптация к расширению производственных программ // МРТ. Металлургическое производство и технология металлургических процессов. 1994. С. 46-65.
8. Пleshучинг Ф.-П. Хопман Х.-Д., Хаген Фон И., Гозио Дж. Технология поточного производства полосового проката (ISP), ее возможности и первый производственный опыт // Черные металлы. 1993. №3. С. 12-23.

References

1. Zhurnal "Esco" [The journal "Esco"]. (2005), 5. Retrieved from http://journal.esco.co.ua/2005_5/art70.htm [In Russian]
2. Pershyu rulon pishov: modernizovanyu stan «1700» MMK imeni Illicha zapushcheno v ekspluatatsiyu [The first coil: 1700 hot strip mill has been commissioned after the revamp at Piyich Steel]. (2019). Retrieved from <https://metinvestholding.com/ua/media/news/pervij-rulon-poshel-modernizirovannij-stan-1700-mmk-imeni-iljicha-zapuschen-v-ekspluatatsiyu>. [In Ukrainian].
3. Mazur, V.L., Vorobei, S.A. & Romanovskii, D.L. et al. (1992). Nadezhnost tekhnologicheskogo protsessa proizvodstva listovogo prokata [*Reliability of the technological process for the production of sheet metal*], Kyiv: Tehnika, 1992, 170. [in Russian].
4. Vorobei, S.A. & Levchenko, G.V. (2007). Osobennosti rascheta energosilovykh parametrov goryachey prokatki tonkikh polos [Features of the calculation of power parameters of hot rolling of thin strips]. *Teoriya i praktika metallurgii* [*Theory and practice of metallurgy*], 2007, 2-3, 86-91 [in Russian].
5. Vorobei, S.A. & Badjuk, S.I. (2012). Analiz rezhimov prokatki polos na liteyno-prokatnykh agregatakh [Analysis of strip rolling modes on casting and rolling units]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost* [*Metallurgical and Mining Industry*], 2012, 5, 28-31 [in Russian].
6. Konovalov, Yu.V. (2009). Nastoyashcheye i budushcheye liteyno-prokatnykh agregatov. Soobshcheniye 3. Proizvodstvo goryachekatanykh polos i listov [Present and future of casting and rolling units. Part 3. Production of hot-rolled strips and sheets]. *Proizvodstvo prokata* [*Production of rolled products*], 2009, 11, 27-42 [in Russian].

7. Fleming, G., Hofmann, F., Rode, V. & Rozental, D. (1994). Tekhnologiya CSP. Tekhnika ustanovok i adaptatsiya k rasshireniyu proizvodstvennykh program [CSP technology. Plant technology and adaptation to the expansion of production programs]. *MPT. Metallurgicheskoye proizvodstvo i tekhnologiya metallurgicheskikh protsessov* [MPT. Metallurgical Plant and Technology], 1994, 46-65. [in Russian].
8. Pleshiychning, F.-P., Khopman, X.-D., Khagen, Fon I. & Gozio, Dj. (1993). Tekhnologiya potochnogo proizvodstva polosovogo prokata (ISP), yeye vozmozhnosti i pervyy proizvodstvennyy opyt [In-line strip production (ISP) technology, its capabilities and first production experience]. *Chernyye metally* [Ferrous metals], 1993, 3, 12-23. [in Russian].

S.A. Vorobei, Dr. Sci. (Engin.), Senior Researcher, ORCID 0000-0003-0119-3935

I.Yu. Prykhodko, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Head of Department, ORCID 0000-0001-5651-8106

V.V. Raznosilin, Junior Researcher, 0000-0002-4463-4588

Iron and Steel Institute Z. I. Nekrasov's of NASciences of Ukraine

Features of technological schemes and equipment for the production of thin strips on hot strip mill

Summary. The purpose of the work is to determine rational schemes for their production by analyzing the technological and design parameters of a number of broadband mills that roll hot-rolled strips less than 2,0 mm thick. It is shown that at present there is a constant increase in the production of extremely thin hot-rolled strips (0,8-1,5 mm thick), which can be used instead of more expensive (by \$ 20-30 per ton) cold-rolled strips. The development of the production of hot-rolled strips of such a thickness is limited by a number of problems, in particular, the low temperature of the end of rolling (760-820 °C), which leads to a significant decrease in the ductility of the rolled stock; limiting the rolling filling speed, which does not allow increasing the temperature of the end of rolling the complexity of controlling the cross-sectional profile and flatness of the strips. Using mathematical modeling, it was found that the strip thickness and rolling speed have the greatest influence on the temperature of the end of rolling. The thickness and temperature of the rolls at the entrance to the finishing group of stands have a lesser effect. A decrease in the number of stands in the finishing group increases the temperature of the end of rolling at a constant thickness of the rolls, but when the thickness of the rolls changes in accordance with the number of stands, the effect is significantly reduced. The most favorable technological parameters for the production of extra-thin hot-rolled strips are provided by casting and rolling units, which are characterized, in comparison with broad-strip mills, as a rule, by a greater thickness and temperature of the rolls (or continuously cast slabs) and a smaller number of stands. An increase in the thickness of billets (slabs) requires an increase in the permissible values of the energy-power parameters of rolling, as well as the use of special solutions that will ensure minimal heat loss by the rolls before entering the finishing group of stands. Calculations show that, based on the reliable maximum refueling speed of hot-rolled strips (10-11.5 m / s) achieved in the industry, the minimum thickness of strips

with high plastic characteristics is: for broad-strip mills - 1.9-2.0 mm; for casting and rolling units, depending on their type - 1.3-1.6 mm.

Keywords: thin strips, hot strip mill, equipment, technology parameters

For citation: Vorobey S.O., Prykhod'ko I.YU., Raznosilin V.V. *Osoblyvosti tekhnolohichnykh skhem ta obladnannya dlya vyrobnytstva tonkykh haryachekatanykh shtab na SHS·HP* [Features of technological schemes and equipment for the production of thin hot-rolled headquarters at SHSGP]. «*Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii*». [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy] 2020, 34. 159-169. [in Ukrainian]. DOI 10.52150/2522-9117-2020-34-159-169

*Стаття надійшла до редакції збірника 15.10.2020 року,
пройшла внутрішнє і зовнішнє рецензування.
(Протокол засідання редакційної колегії №3 від 22 грудня 2020 р.)*