ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-СКОРОСТНОГО РЕЖИМА НА ПАРАМЕТРЫ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ СОРТОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ АВТОМАТНОЙ СТАЛИ

*А. М. СТОЛЯРОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры металлургии и химических технологий, sam52.52@mail.ru; М. В. ПОТАПОВА, канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии и химических технологий;
А. Т. КУНАКБАЕВА, магистрант кафедры металлургии и химических технологий
(Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск)*

Аннотация. Практически вся выплавляемая сталь, включая автоматную, разливается на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Технологические параметры непрерывной разливки автоматной стали имеют свои особенности, поскольку высокое содержание серы и фосфора в автоматной стали, необходимое для достижения ее высокой обрабатываемости, повышает вероятность образования трещин и аварийных прорывов металла. Целью работы явилось изучение влияния температурно-скоростного режима разливки автоматной стали А12 на расход охладителя в зоне вторичного охлаждения пятиручьевого сортовой МНЛЗ радиального типа. Кристаллизатор МНЛЗ имеет длину 900 мм с поддерживающей системой на раме кристаллизатора из двух рядов роликов. Зона вторичного охлаждения (ЗВО) состоит из четырех зон длиной 340, 2360, 3460 и 3610 мм. В первой зоне охлаждение производится водой, а в остальных — водовоздушной смесью. Исследование осуществлено с использованием метода математического моделирования процесса вторичного охлаждения заготовки, разработанного В.Н. Селивановым. Рассчитана температура поверхности сортовой заготовки из автоматной стали по зонам ЗВО при различной температуре стали в промежуточном ковше. Определены плотность орошения и расход воды в разных зонах ЗВО, необходимые для достижения требуемого изменения температуры поверхности заготовки. Установлена зависимость общего и удельного расходов воды на вторичное охлаждение заготовки от температуры металла в промежуточном ковше МНЛЗ.

Ключевые слова: МНЛЗ, непрерывная разливка автоматной стали, температура стали в промежуточном ковше, температурно-скоростной режим разливки, зона вторичного охлаждения, температура поверхности сортовой заготовки, плотность орошения, расход воды.

Ссылка для цитирования: Столяров А.М., Потапова М.В., Кунакбаева А.Т. Исследование влияния температурно-скоростного режима на параметры вторичного охлаждения сортовой непрерывнолитой заготовки из автоматной стали // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76. № 1. С. 50–53.

Doi: 10.32339/0135-5910-2020-1-50-53

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE-SPEED MODE ON THE PARAMETERS OF SECONDARY COOLING OF CONTINUOUSLY CASTED BILLET FROM FREE-CUTTING STEEL

*A. M. STOLYSROV, HD (Tech.), Prof., Dpt. "Metallurgy and chemical technologies", sam52.52@mail.ru;
M. V. POTAPOVA, PhD (Tech.), Prof. Ass., Dpt. "Metallurgy and chemical technologies";
A. T. KUNAKBAEVA, Undergraduate, Dpt. "Metallurgy and chemical technologies"
(Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov, Russia, Chelyabinsk rgn., Magnitogorsk)*

Abstract. Practically the whole steel, including the free-cutting one, is casting by continuous casting machines (CCM). The technological parameters of the free-cutting steel continuous casting have their features, since the high content of Sulphur and phosphor in the free-cutting steel, necessary for its high machinability, increases the probability of fractures and emergency breach of metal. The purpose of the work was study of influence of temperature-speed mode of A12 free-cutting steel casting on cooling agent consumption in the secondary cooling zone of radial type billet CCM. The CCM mold was 900 long with supporting system on the mold frame of two rows of rollers. The secondary cooling (SC) zone comprised four zones of 340, 2360, 3460 and 3610 mm length. The cooling in the first zone is accomplished by water, in the others – by water-air mist. The study was carried out by application of mathematical simulation method to the process of billet secondary cooling, elaborated by V.N. Selivanov. The temperature of the free-cutting steel billet surface was calculated by zones of secondary cooling at various steel temperature in the tundish. The flow density and water consumption in various SC zones determined, necessary to reach the required variation of billet surface temperature. The dependence of total and specific water consumption for the billet cooling on the metal temperature in the CCM tundish determined.

Key words: CCM, continuous casting of free-cutting steel, steel temperature in tundish, temperature-speed mode of casting, secondary cooling zone, billet surface temperature, flow density, water consumption.

For citation: Stolyarov A.M., Potapova M.V., Kunakbaeva A.T. Investigation of the influence of temperature-speed mode on the parameters of secondary cooling of continuously casted billet from free-cutting steel. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2020, vol. 76, no. 1, pp. 50–53. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2020-1-50-53

В настоящее время практически вся выплавляемая сталь разливается на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Не является исключением и автоматная сталь, предназначенная для массового производства метизных изделий (болтов, винтов, гаек, шпилек, мелких деталей швейных, текстильных и других машин) на станках-автоматах. Высокая обрабатываемость стали резанием достигается вследствие удаления ломкой стружки, низкой шероховатости поверхности изделия, что позволяет уменьшить износ режущего инструмента и увеличить скорость резания для повышения производительности обработки [1, 2]. Такие свойства сталь приобретает в результате высокого содержания в металле серы и фосфора. Однако это создает определенные проблемы при разливке стали на МНЛЗ, так как повышается вероятность образования трещин и аварийных прорывов металла. Поэтому технологические параметры непрерывной разливки автоматной стали имеют свои особенности.

Целью работы является изучение влияния температурно-скоростного режима разливки автоматной стали на расход охладителя в зоне вторичного охлаждения сортовой МНЛЗ.

В качестве базовой машины принята пятиручьевая сортовая МНЛЗ радиального типа с радиусом 9 м [3, 4]. Масса стали в сталеразливочном и промежуточном ковшах равна 180 и 26 т соответственно. Кристаллизатор имеет длину 900 мм с поддерживающей системой на раме кристаллизатора из двух рядов роликов. Зона вторичного охлаждения (ЗВО) состоит из четырех зон длиной 340, 2360, 3460 и 3610 мм. В первой зоне охлаждение производится водой, а в остальных — водовоздушной смесью.

Исследование проводилось с использованием метода математического моделирования процесса вторичного охлаждения заготовки на МНЛЗ, разработанного В.Н. Селивановым [5–9].

Исходные данные для моделирования:

– автоматная сталь А12 имеет следующий химический состав, % (мас.):

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	N
0,12	0,25	0,90	0,14	0,10	0,25	0,25	0,25	0,01	0,007

– размеры поперечного сечения заготовки составляют 150×150 мм;

– разливка металла из промежуточного ковша в кристаллизаторы ведется закрытой струей через погружные стаканы с вертикально расположенным отверстием;

– перегрев металла в промежуточном ковше МНЛЗ над температурой ликвидус составляет 15, 20, 25, 30 и 35 °С.

В результате расчета температура ликвидус оказалась равна 1510 °С, а температура металла в промежуточном ковше — от 1525 до 1545 °С с шагом 5 °С. Скорость вытягивания заготовок изменялась в интервале 2,3–1,9 м/мин согласно зависимости, приведенной на рис. 1.

Рис. 1. Параметры температурно-скоростного режима разливки стали А12

Fig. 1. Parameters of the temperature-speed mode of A12 grade steel casting

С использованием данной модели рассчитана температура поверхности сортовой заготовки из автоматной стали для середины каждой зоны, изменение которой по длине ЗВО машины показано на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что влияние скорости вытягивания заготовки на величину температуры поверхности заготовки очень незначительно: небольшая разница наблюдается в начале зоны, а затем постепенно исчезает.

Для получения требуемого изменения температуры поверхности заготовки по длине ЗВО определены плотность орошения и расход воды в разных зонах (рис. 3).

Рис. 2. Изменение температуры поверхности заготовки по длине зоны вторичного охлаждения МНЛЗ

Fig. 2. Change of billet surface temperature along the length of the secondary cooling zone of CCM

Рис. 3. Плотность орошения поверхности заготовки и расход воды в I–IV зонах ЗВО МНЛЗ при разливке автоматной стали с различной температурой металла в промежуточном ковше

Fig. 3. The billet surface irrigation density and the water consumption in the I–IV-th zones of the CCM secondary cooling zone during casting of free-cutting steel having various metal temperature in the tundish

Влияние температуры металла в промежуточном ковше МНЛЗ на общий и удельный расход воды в ЗВО представлено на рис. 4.

Рис. 4. Зависимость общего (а) и удельного (б) расходов воды на вторичное охлаждение заготовки от температуры металла в промежуточном ковше МНЛЗ

Fig. 4. Dependence of the total (а) and specific (б) water consumption for billet secondary cooling on the metal temperature in the CCM tundish

С увеличением температуры разливаемой стали общий и удельный расходы воды на вторичное охлаждение заготовки растут. Общий расход воды увеличивается практически по прямой, а удельный расход воды — по слабо выраженной криволинейной зависимости.

Закключение

Сортовые непрерывнолитые заготовки сечением 150×150 мм из автоматной стали А12 отливаются с достаточно низкой скоростью 1,9–2,3 м/мин (максимальная скорость для данного сечения составляет 3,1 м/мин). При увеличении температуры разливаемой стали общий и удельный расходы воды на вторичное охлаждение заготовки растут по криволинейным зависимостям с затухающим и растущим темпами прироста соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ривлин Ю.И., Коротков М.А., Чернобыльский В.Н. Металлы и их заменители. — М.: Metallurgy, 1973. — 440 с.
2. Лахтин Ю.М. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. — М.: Mashinostroyeniye, 1983. — 359 с.
3. Shengtao Qiu, Heping Liu, Shiheng Peng, Yong Gan. Numerical analysis of thermal-driven buoyancy flow in the steady macro-solidification process of a continuous slab caster // *ISIJ International*. 2004. V. 44. № 8. P. 1376–1383.
4. Бигеев В.А., Столяров А.М., Валиахметов А.Х. Metallurgicheskie tekhnologii v vysokoproizvoditel'nom elektrostaleplavil'nom tsexe: uchebnoye posobie. — Magnitogorsk: izd-vo MG TU im. G.I. Nosova, 2014. — 308 с.
5. Garcia-Hernandez S., Barreto J. de J., Morales R.D., Arcos-Gutierrez H. Numerical simulation of heat transfer and steel shell growth in a curved slab mold // *ISIJ International*. 2013. V. 53. № 5. P. 809–817.
6. Столяров А.М., Великий А.Б., Юречко Д.В. Повышение эффективности разливки стали на высокопроизводительных сортовых МНЛЗ. — Magnitogorsk: izd-vo MG TU im. G.I. Nosova, 2009. — 126 с.
7. Селиванов В.Н., Столяров А.М. Определение технологических параметров разливки стали на сортовой МНЛЗ: методические указания. — Magnitogorsk: izd-vo MG TU im. G.I. Nosova, 2010. — 22 с.
8. Seyedein S.H., Hasan M. A three-dimensional simulation of coupled turbulent flow and macroscopic solidification heat transfer for continuous slab casters // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 1997. V. 40. № 18. P. 4405–4423.
9. Столяров А.М., Селиванов В.Н. Технологические расчеты по непрерывной разливке стали: учебное пособие. — Magnitogorsk: izd-vo MG TU im. G.I. Nosova, 2011. — 67 с.

Поступила 22 ноября 2019 г.

REFERENCES

1. Rivlin Yu.I., Korotkov M.A., Chernobyl'skii V.N. *Metally i ikh zameniteli* [Metals and their substitutes]. Moscow: Metallurgiya, 1973, 440 p. (In Russ.).
2. Lakhtin Yu.M. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov* [Metallurgy and heat treatment of metals]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1983, 359 p. (In Russ.).
3. Shengtao Qiu, Heping Liu, Shiheng Peng, Yong Gan. Numerical analysis of thermal-driven buoyancy flow in the steady macro-solidification process of a continuous slab caster. *ISIJ International*, 2004, vol. 44, no. 8, pp. 1376–1383.
4. Bigeev V.A., Stolyarov A.M., Valiakhmetov A.Kh. *Metallurgicheskie tekhnologii v vysokoproizvoditel'nom elektrostaleplavil'nom tsexe* [Metallurgical technologies in a high-performance electric steel-smelting shop]. Magnitogorsk: izd-vo MG TU im. G.I. Nosova, 2014, 308 p. (In Russ.).
5. Garcia-Hernandez S., Barreto J. de J., Morales R.D., Arcos-Gutierrez H. Numerical simulation of heat transfer and steel shell growth in a curved slab mold. *ISIJ International*, 2013, vol. 53, no. 5, pp. 809–817.
6. Stolyarov A.M., Velikii A.B., Yurechko D.V. *Povyshenie effektivnosti razlivki stali na vysokoproizvoditel'nykh sortovykh MNLZ* [Improving the efficiency of steel casting on high-performance billet CCM]. Magnitogorsk: izd-vo MG TU im. G.I. Nosova, 2009, 126 p. (In Russ.).
7. Selivanov V.N., Stolyarov A.M. *Opreделение tekhnologicheskikh parametrov razlivki stali na sortovoi MNLZ* [Determination of technological parameters of steel casting at billet continuous casting machine]. Magnitogorsk: izd-vo MG TU im. G.I. Nosova, 2010, 22 p. (In Russ.).
8. Seyedein S.H., Hasan M. A three-dimensional simulation of coupled turbulent flow and macroscopic solidification heat transfer for continuous slab casters. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1997, vol. 40, no. 18, pp. 4405–4423.
9. Stolyarov A.M., Selivanov V.N. *Tekhnologicheskie raschety po nepreryvnoi razlivke stali* [Technological calculations for the continuous casting of steel]. Magnitogorsk: izd-vo MG TU im. G.I. Nosova, 2011, 67 p. (In Russ.).

Received November 22, 2019