

# МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 621.74.047

Бунеева Е.А., Мошкунов В.В., Столяров А.М., Потапова М.В.

## О ВОЗМОЖНОСТИ КОРРЕКТИРОВКИ МЕСТА ПРИЛОЖЕНИЯ МЯГКОГО ОБЖАТИЯ СЛЯБОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ ТРУБНОЙ СТАЛИ

**Аннотация:** В работе изучена возможность корректировки места приложения мягкого обжатия путем регулирования длины лунки жидкого металла в слябах из трубной стали изменением интенсивности охлаждения в ЗВО МНЛЗ. Методика работы заключается в многовариантных расчетах по алгоритму, используемому в автоматизированной системе промышленной МНЛЗ. Для исследования выбрана низкоуглеродистая сталь класса прочности К60. Отливаются слябы с размерами поперечного сечения 350×2600 мм. Скорость вытягивания сляба равна 0,75 м/мин при трех значениях перегрева металла в промежуточном ковше над температурой ликвидуса, равных 14, 19 и 24 °С. Минимальное значение удельного расхода воды принято за единицу и является базовым значением. Относительные расходы воды увеличивались от 2 до 33 % (отн.) по сравнению с базовым значением. Всего проведен 21 расчет. Установлены линейные убывающие зависимости длины лунки жидкого металла в слябах от относительного расхода воды на вторичное охлаждение при различном перегреве металла. Выявлены возрастающие линейные зависимости величины коэффициента затвердевания стали от интенсивности вторичного охлаждения для разного перегрева металла. Следует отметить, при отливке непрерывнолитых слябов толщиной 350 мм из трубной стали со скоростью 0,75 м/мин возможна корректировка места приложения мягкого обжатия путем регулирования длины лунки жидкого металла. Для получения длины лунки в границах последнего 15-го сегмента необходимо при перегреве металла 19 °С иметь расход воды на вторичное охлаждение заготовки не менее чем на 25 % (отн.) выше базового, а при перегреве 14 °С – на 15 % (отн.). Предложено также более равномерное распределение воды по ширине отливаемой заготовки.

**Ключевые слова:** непрерывная разливка, трубная сталь, мягкое обжатие, сляб, длина лунки, регулирование, вторичное охлаждение.

В ККЦ ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» трубная сталь разливается на одноручевой слябовой МНЛЗ криволинейного типа с базовым радиусом 11 м и вертикальным участком длиной около 2,7 м [1, 2]. Зона вторичного охлаждения машины состоит из 15 роликовых сегментов и оснащена оборудованием для мягкого обжатия отливаемой заготовки [3-5]. Место приложения мягкого обжатия на технологическом канале МНЛЗ выбирается следующим образом. Автоматизированная система машины по конкретным данным о разливке металла определяет номер сегмента, в котором закончилось затвердевание сляба, и назначает мягкое обжатие в двух предыдущих сегментах. В соответствии с мировой тенденцией увеличения толщины слябов из трубной стали, позволяющей увеличить степень обжатия заготовки непосредственно в процессе прокатки и обеспечить более высокое качество толстого горячекатаного листа для изготовления труб большого диаметра газопроводов, в цехе осуществлен переход от отливки слябов толщиной 300 мм к заготовкам толщиной 350 мм. Для этого проведена модернизация оборудования МНЛЗ [6], которая не коснулась изменения протяженности зоны вторичного охлаждения машины. Усовершенствование алгоритмов автоматизированной системы МНЛЗ позволило производить мягкое обжатие головной части отливаемой заготовки, а также

увеличить интенсивность обжатия в конечном сегменте. Увеличение толщины заготовки привело к росту протяженности лунки жидкого металла внутри сляба. При рекомендованном максимальном значении скорости вытягивания сляба из кристаллизатора длина лунки оказывалась за пределами зоны вторичного охлаждения. Автоматизированная система выдавала сообщение об ошибке и назначала обжатие не в 14-м и 15-м сегментах, а в 13-м и 14-м сегментах. На лунку в 15-м сегменте внешнего воздействия не оказывалось вообще, что делало мягкое обжатие практически бесполезным. Для эффективного воздействия на макроструктуру непрерывнолитых слябов толщиной 350 мм из трубной стали необходимо иметь лунку жидкого металла, не выходящую за пределы зоны вторичного охлаждения [7]. Регулировать протяженность лунки можно разными способами [8]. Наиболее действенным способом является изменение скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора. Однако уменьшение скорости разливки на одноручевой МНЛЗ ведет к снижению ее производительности и неприемлемо. Известно, что на длину лунки оказывает влияние продолжительность затвердевания сляба, зависящая от режима вторичного охлаждения отливаемой заготовки [9, 10]. В работе изучена возможность корректировки места приложения мягкого обжатия путем регулирования длины лунки жидкого металла в слябах из трубной стали изменением интенсивности охлаждения в ЗВО МНЛЗ.

Методика работы заключается в многовариантных расчетах по алгоритму, используемому в автоматизированной системе промышленной МНЛЗ.

Исходные данные

Химический состав трубной стали класса прочности К60 (% по массе):

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	N	Mo	Ti	Nb
0,07	0,24	1,62	0,002	0,008	0,09	0,20	0,13	0,04	0,006	0,003	0,019	0,049

Температура ликвидус стали данного состава равна 1517°C.

Сляб имел размеры поперечного сечения 350×2600 мм.

На рис. 1 приведены параметры температурно-скоростного режима разливки трубной стали на заготовке выбранного сечения.

Из рис. 1 видно, что максимально допустимая скорость вытягивания сляба для перегрева металла не выше 25°C равна 0,75 м/мин. Поэтому для расчетов была принята скорость вытягивания сляба 0,75 м/мин при трех значениях перегрева, равных 14, 19 и 24°C. В трех начальных вариантах расчета для каждого выбранного перегрева металла расходы воды по зонам ЗВО соответствовали нормативным. При этом для перегрева металла 14°C удельный расход воды на вторичное охлаждение сляба имел минимальную величину и его фактическое значение было условно принято за единицу относительного расхода воды – базовое значение. Пример результатов одного начального варианта расчета автоматизированной системы МНЛЗ представлен на рис. 2. На нем показана схема внут-

реннего строения сляба толщиной 350 мм на различном удалении от поверхности металла в кристаллизаторе. При базовом значении относительного расхода воды протяженность лунки жидкого металла внутри заготовки составила 34,19 м (рис. 2).

По аналогии были проведены расчеты длины лунки жидкого металла для трех значений перегрева металла и относительных расходов воды, увеличенных по сравнению с базовым значением на разную величину – в диапазоне от 2 до 33% (отн.). Результаты 21 расчета представлены на рис. 3 в виде зависимости длины лунки жидкого металла в слябах ( $L_{жс}$ , м) от относительного расхода воды на вторичное охлаждение ( $g_B$ ) при различном перегреве металла ( $\Delta t$ , °C) в промежуточном ковше МНЛЗ над температурой ликвидус.

Убывающие линейные зависимости описываются следующими уравнениями:

$$\Delta t = 14^\circ\text{C} \quad L_{жс} = 36,60 - 2,46g_B ; \quad (1)$$

$$\Delta t = 19^\circ\text{C} \quad L_{жс} = 36,53 - 2,19g_B ; \quad (2)$$

$$\Delta t = 24^\circ\text{C} \quad L_{жс} = 36,60 - 2,05g_B . \quad (3)$$

Анализ рис. 2 показывает, что при отливке сляба толщиной 350 мм со скоростью 0,75 м/мин для получения лунки жидкого металла в заготовке около 33,8 м (в границах 15-го сегмента ЗВО) необходимо при перегреве металла 19°C иметь расход воды на вторичное охлаждение заготовки не менее чем на 25% (отн.) выше базового, а при перегреве 14 °C – на 15% (отн.).

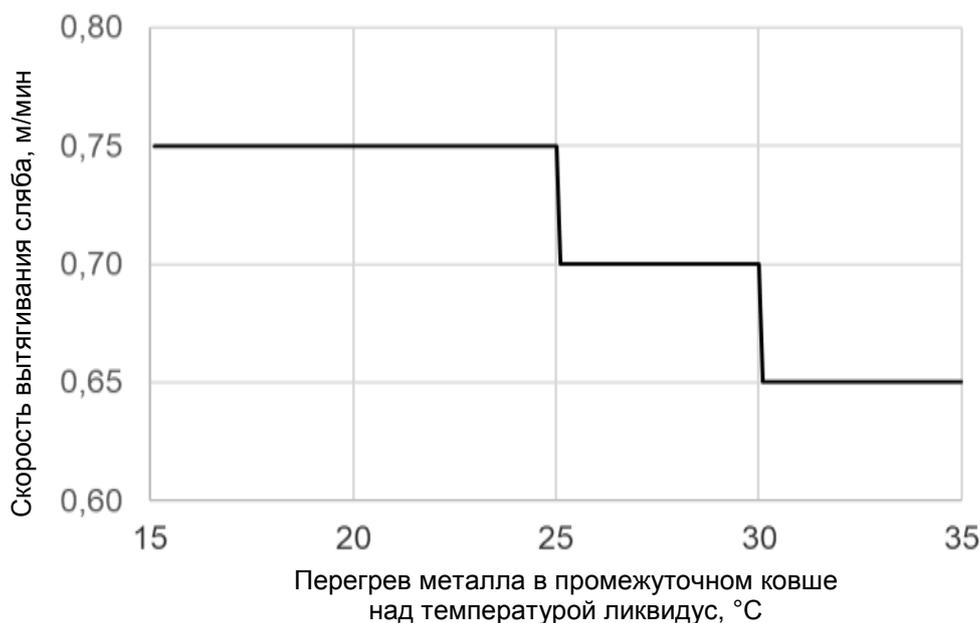


Рис. 1. Зависимость скорости вытягивания сляба толщиной 350 мм из низкоуглеродистой трубной стали от величины перегрева металла в промежуточном ковше МНЛЗ над температурой ликвидус

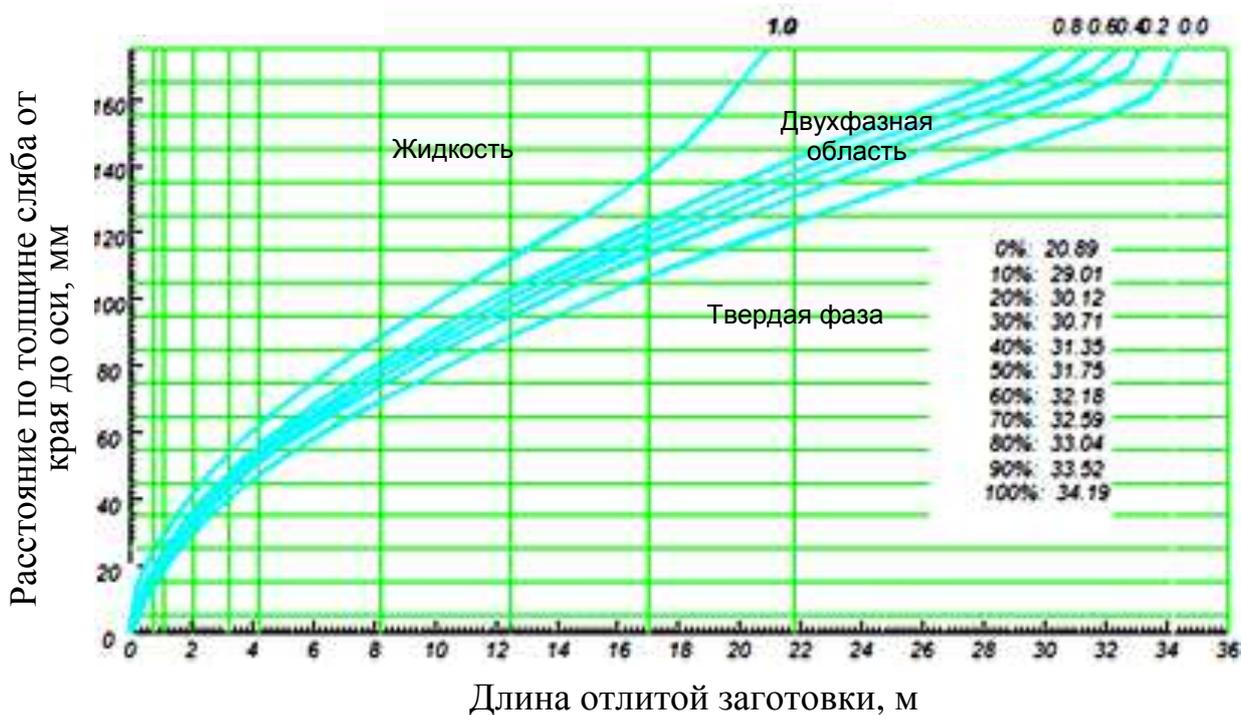


Рис. 2. Схема внутреннего строения сляба толщиной 350 мм при перегреве металла 14 °С на различном удалении от поверхности металла в кристаллизаторе при относительном расходе воды, равном единице: цифры у линий вверху – относительное содержание жидкости в двухфазной области на оси заготовки

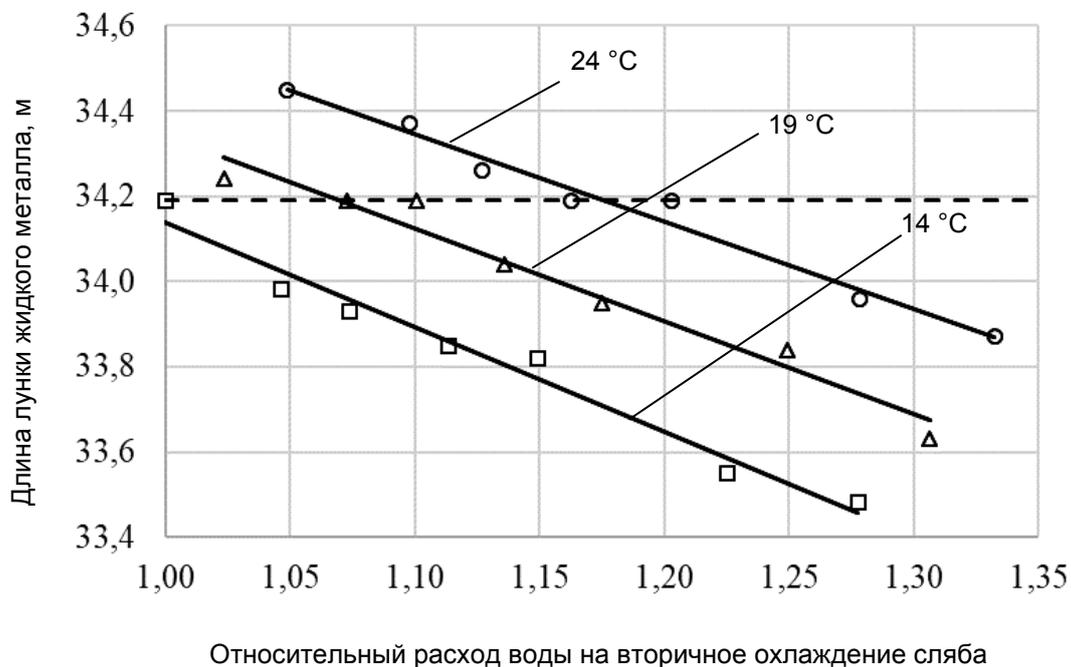


Рис. 3. Зависимость длины лунки жидкого металла в слябах от относительного расхода воды на вторичное охлаждение при различном перегреве металла (цифры у линий), пунктир – окончание ЗВО

Характер зависимостей (1) – (3) можно объяснить влиянием интенсивности вторичного охлаждения заготовки на процесс затвердевания стали.

Так как длина лунки жидкого металла зависит от продолжительности затвердевания непрерывнолитой заготовки [11], можно вычислить значение коэффициента затвердевания металла по формуле

$$k_3 = \frac{a}{2} \cdot \sqrt{\frac{w}{L_{жс}}}, \quad (4)$$

где  $k_3$  – коэффициент затвердевания стали, мм/мин<sup>0,5</sup>;

$a$  – толщина отливаемой заготовки, мм;

$w$  – скорость вытягивания заготовки из кристаллизатора, м/мин;

$L_{жс}$  – длина лунки жидкого металла, м.

Результаты расчетов приведены на рис. 4. С увеличением относительного расхода воды ( $g_B$ ) величина коэффициента затвердевания стали ( $k_3$ , мм/мин<sup>0,5</sup>) линейно возрастает согласно зависимостям:

$$\Delta t = 14^\circ\text{C} \quad k_3 = 24,99 + 0,95g_B; \quad (5)$$

$$\Delta t = 19^\circ\text{C} \quad k_3 = 25,02 + 0,84g_B; \quad (6)$$

$$\Delta t = 24^\circ\text{C} \quad k_3 = 25,00 + 0,78g_B. \quad (7)$$

Следует отметить, что интервал изменения коэффициента затвердевания стали является сравнительно небольшим – от 25,82 до 26,19 мм/мин<sup>0,5</sup>.

Известно, что увеличение расхода охладителя в ЗВО может негативно сказаться на качестве отливаемого сляба. Поэтому в работе предложено изменить распределение воды по ширине заготовки. На рис. 5 и 6 показано относительное распределение воды в различных зонах ЗВО по существующему и предлагаемому вариантам.

Из рисунков видно, что в предлагаемом варианте рассматривается более равномерная подача воды по ширине сляба.

Таким образом, при отливке непрерывнолитых слябов толщиной 350 мм из трубной стали со скоростью 0,75 м/мин возможна корректировка места приложения мягкого обжатия путем регулирования длины лунки жидкого металла в заготовках. Для получения длины лунки в границах последнего 15-го сегмента необходимо при перегреве металла 19°C иметь расход воды на вторичное охлаждение заготовки не менее чем на 25% (отн.) выше базового, а при перегреве 14°C – на 15% (отн.). Предложено также более равномерное распределение воды по ширине отливаемой заготовки.

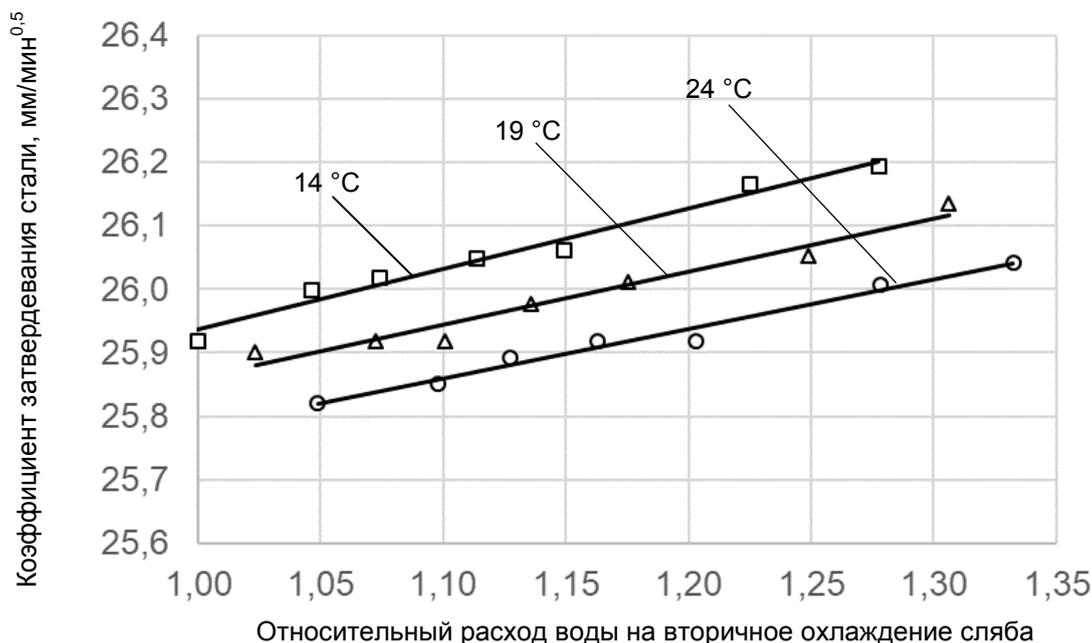


Рис. 4. Зависимость коэффициента затвердевания стали от относительного расхода воды на вторичное охлаждение при различном перегреве металла (цифры у линий)

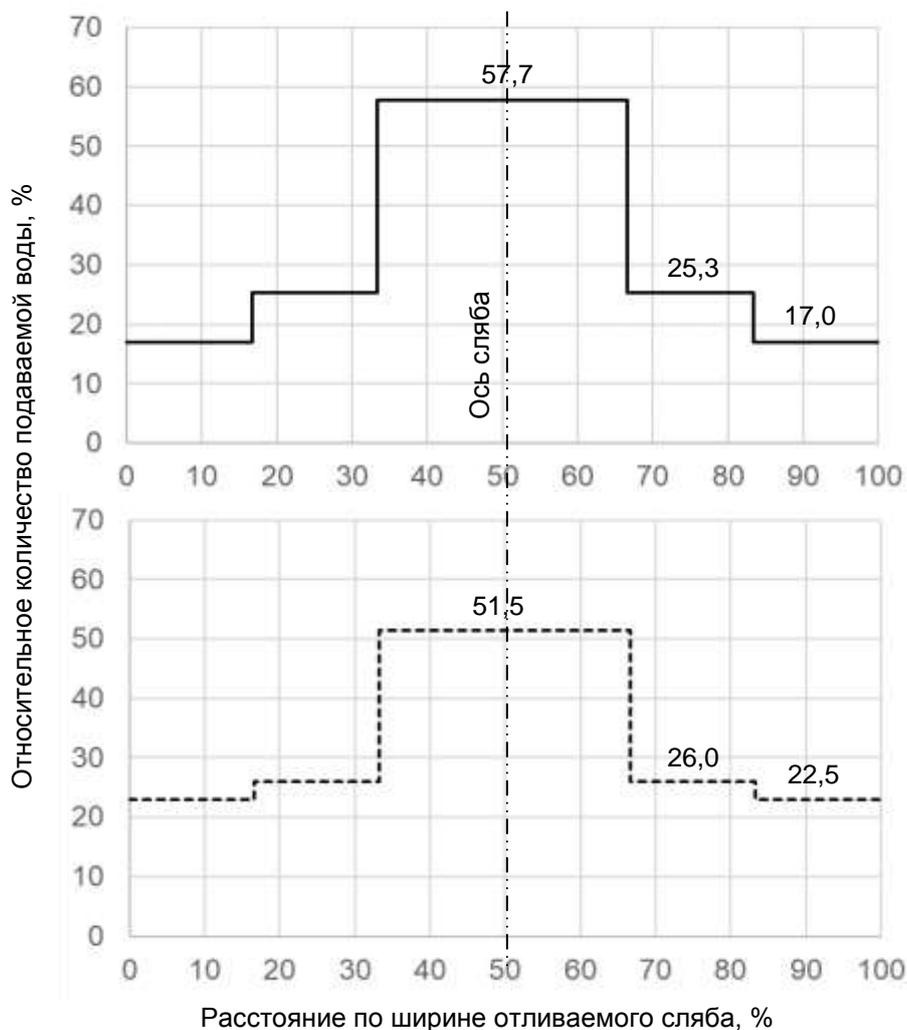


Рис. 5. Информация о распределении воды по ширине сляба по существующему (вверху) и предлагаемому (внизу) вариантам в 3-5 зонах ЗВО МНЛЗ

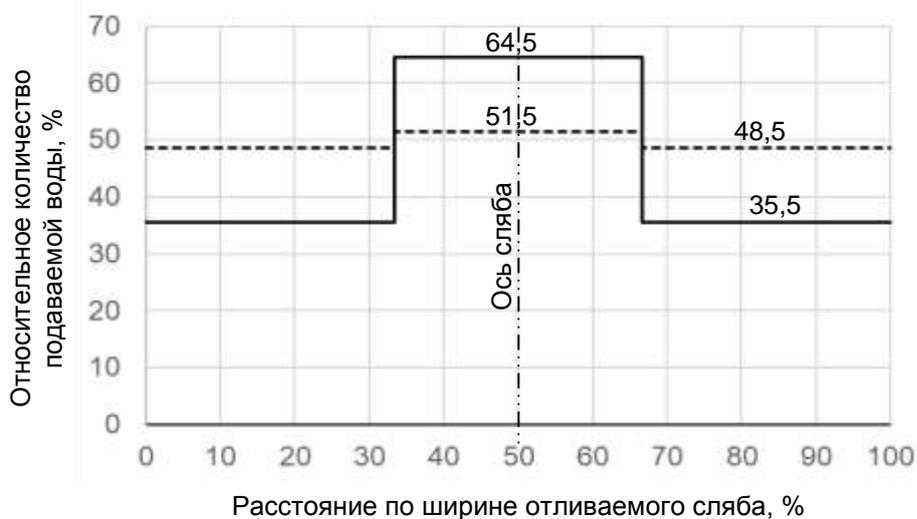


Рис. 6. Распределение воды по ширине сляба по существующему (сплошная линия) и предлагаемому (пунктирная линия) вариантам в 6, 8, 10 и 12 зонах ЗВО МНЛЗ по малому радиусу

## Список литературы

1. Колесников Ю.А., Буданов Б.А., Столяров А.М. Металлургические технологии в высокопроизводительном конвертерном цехе: учеб. пособие Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 379 с.
2. Столяров А.М., Мошкунов В.В., Казаков А.С. Мягкое обжатие слябов при разливке трубной стали на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 116 с.
3. Опыт эксплуатации новой одноручевой слябовой МНЛЗ с вертикальным участком / Прохоров С.В., Сарычев Б.А., Казаков А.С. и др. // Сталь. 2012. №7. С. 9-11.
4. Математическое моделирование процесса мягкого обжатия слябов при непрерывной разливке трубной стали / В.В. Мошкунов, А.М. Столяров, А.С. Казаков и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №2 (42). С. 69 – 72.
5. О способах воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки / А.М. Столяров, Сомнат Басу, М.В. Потапова, С.В. Дидович // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1 (45). С. 24 – 27.
6. Модификация оборудования МНЛЗ №6 с целью освоения разливки сляба толщиной 350 мм / Д.В. Рабаджи, М.В. Злов, В.А. Авраменко и др. // Сборник трудов XV международного Конгресса сталеплавильщиков и производителей металла: Межрегиональная общественная организация «Ассоциация сталеплавильщиков», Москва – Тула, 15–19 октября 2018. М., 2018. С. 409–412.
7. Непрерывная разливка конвертерной трубной стали / Столяров А.М., Бунеева Е.А., Мошкунов В.В., Потапова М.В. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2019. №7 (230). С. 46-50.
8. Расчетно-экспериментальное определение границ зоны мягкого обжатия слябовой заготовки / С.В. Прохоров, В.В. Мошкунов, Д.В. Юречко и др. // Неделя металлов в Москве 13-16 ноября 2012 г. Сборник трудов конференций: ВНИИМЕТМАШ. М., 2013. С. 337 – 350.
9. Усовершенствование режима вторичного охлаждения непрерывнолитых слябов / Селиванов В.Н., Столяров А.М., Буданов Б.А. и др. // Труды V конгресса сталеплавильщиков. 1998. С. 411-412.
10. Определение оптимальных режимов вторичного охлаждения непрерывнолитых слябов / Тахаудинов Р.С., Бодяев Ю.А., Селиванов В.Н. и др. // Труды VII Международного конгресса сталеплавильщиков. 2003. С. 564-566.
11. Паршин В.М., Буланов Л.В. Непрерывная разливка стали. Липецк: ОАО «НЛМК». 2011. 221 с.

## Сведения об авторах

**Бунеева Евгения Александровна** – аспирант кафедры металлургии и химических технологий, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

**Мошкунов Владимир Викторович** – канд. техн. наук, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: [mchm@magtu.ru](mailto:mchm@magtu.ru)

**Столяров Александр Михайлович** – д-р техн. наук, профессор, кафедра металлургии и химических технологий Института металлургии, машиностроения и материалообработки, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. E-mail: [sam52.52@mail.ru](mailto:sam52.52@mail.ru)

**Потапова Марина Васильевна** – канд. техн. наук, доцент, кафедра металлургии и химических технологий, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

**ABOUT THE POSSIBILITY OF CORRECTION THE LOCATION OF THE SOFT REDUCTION FOR THE CONTINUOUSLY CASTED SLABS**

**Yevgeniya A. Buneyeva** – PhD Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [mcm@magtu.ru](mailto:mcm@magtu.ru)

**Alexander M. Stolyarov** – Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [sam52.52@mail.ru](mailto:sam52.52@mail.ru)

**Vladimir V. Moshkunov** – Ph.D. (Eng.), engineer-technologist "SMS-Group", Magnitogorsk, Russia. E-mail: [mcm@magtu.ru](mailto:mcm@magtu.ru)

**Marina V. Potapova** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: [marina\\_potapova8@mail.ru](mailto:marina_potapova8@mail.ru)

**Abstract:** *The possibility of correction the application place of soft reduction by adjusting the depth of liquid metal sump in pipe steel slabs by changing the cooling intensity in the secondary cooling zone of the CCM is studied in the work. The research method consists in multivariate calculations according to the algorithm used in the automated system of industrial CCM. Mild steel of strength class K60 was selected for the study (slabs with a cross section of 350 × 2600 mm). The draw speed of casted slab is equaled to 0.75 m per min with three values of metal overheating in the tundish above the liquidus temperature of 14, 19 and 24°C. Relative water consumption have increased from 2 to 33% (rel.) in comparison to the initial meaning. 21 calculations were performed. Linear decreasing dependences of the length of sump in slabs on the relative water consumption for secondary cooling at various overheating of the metal were established. Linear decreasing dependences of the length of sump in slabs on the relative water consumption for secondary cooling at various overheating of the metal were established. The increasing linear dependences of the steel solidification coefficient on the intensity of the secondary cooling for different overheating of the metal are revealed. It should be noted that in the course of 350 mm slabs casting at a speed of 0.75 m / min, it is possible to adjust the location of soft reduction application by correction the length of molten metal sump. For getting the sump length within the zone of the last 15th segment, when the metal overheats is equaled to 19°C, it is necessary to supply water consumption for secondary cooling not less than 25% higher than initial one, for conditions when overheating of metal is 14-15°C% (rel.). The more uniform distribution of water over the width of the casted billet is also recommended.*

**Keywords:** *continuous casting, pipe steel, soft reduction, slab, depth of sump, regulation, secondary cooling.*

---

Ссылка на статью:

Бунеева Е.А., Мошкунув В.В., Столяров А.М., Потапова М.В. О возможности корректировки места приложения мягкого обжата слябовой непрерывнолитой заготовки из трубной стали // Теория и технология металлургического производства. 2020. №1(32). С. 4-10.

Buneyeva Y.A., Stolyarov A.M., Moshkunov V.V., Potapova M.V. About the possibility of correction the location of the soft reduction for the continuously casted slabs. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2020, vol. 32, no. 1, pp. 4-10.