



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-16-19>
УДК 621.74.047

Поступила 01.12.2023
Received 01.12.2023

ОХЛАЖДЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОТЛИВКИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ КРИСТАЛЛИЗАТОРА

Е. Б. ДЕМЧЕНКО, Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65

Е. И. МАРУКОВИЧ, Ассоциация литейщиков и металлургов Республики Беларусь,

г. Минск, Беларусь, ул. Я. Коласа, 24. E-mail: maruko46@mail.ru

Показано, что альтернативой систем вторичного водовоздушного охлаждения при горизонтальном непрерывном литье могут служить устройства, представляющие собой металлическую водоохлаждаемую форму с графитовой накладкой, которая располагается на верхней поверхности отливки вплотную к торцу кристаллизатора. Эффективность охлаждающей способности форм оценили при проведении промышленных испытаний устройств в процессе литья чугуна. Установлено, что применение устройств водоохлаждаемых форм позволяет понизить температуру поверхности в уязвимых местах отливки на 20–70 °С, повысить среднюю скорость литья для отдельных типоразмеров заготовок в пределах 5–8 %, практически полностью исключить случаи прорыва корки, отказаться от необходимости применения традиционных систем вторичного охлаждения.

Ключевые слова. *Горизонтальное непрерывное литье, отливка, температура поверхности, прорывы расплава, вторичное охлаждение, разделительное устройство, водоохлаждаемая форма.*

Для цитирования. *Демченко, Е. Б. Охлаждение горизонтальной отливки за пределами кристаллизатора / Е. Б. Демченко, Е. И. Марукович // Литье и металлургия. 2024. № 1. С. 16–19. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-16-19>.*

HORIZONTAL CASTING COOLING BEYOND THE CRYSTALLIZER

E. B. DEMCHENKO, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.

E. I. MARUKOVICH, Association of Foundrymen and Metallurgists of Belarus,

Minsk, Belarus, 24, Ya. Kolasa str. E-mail: maruko46@mail.ru

It is shown that devices in the form of a water-cooled metal mold with a graphite lining, which is located on the upper surface of the casting close to the end of the crystallizer, can serve as an alternative to secondary water-air cooling systems in horizontal continuous casting. The effectiveness of the cooling capacity of the molds was evaluated during industrial tests of the devices in the process of casting iron. It has been established that the use of water-cooled molds allows reducing the surface temperature at vulnerable points of the casting by 20–70 °C, increasing the average casting speed for individual billet sizes within 5–8 % almost eliminating shell breakout and eliminating the need for traditional secondary cooling systems.

Keywords. *Horizontal continuous casting, casting, surface temperature, breakout, secondary cooling, separating device, water-cooled mold.*

For citation. *Demchenko E. B., Marukovich E. I. Horizontal casting cooling beyond the crystallizer. Foundry production and metallurgy, 2024, no. 1, pp. 16–19. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-16-19>.*

Известно, что одной из причин нарушения стабильности процесса горизонтального непрерывного литья чугуна являются случаи подплавления корки отливки и прорыва расплава в зоне выхода ее из кристаллизатора [1]. Это результат совместного действия на корку термоконвективных потоков в жидкой лунке отливки и металлостатического давления расплава металлоприемника. Термоконвективные потоки возникают при поступлении горячего расплава из металлоприемника в полость кристаллизатора при движении отливки или при доливке свежей порции расплава в металлоприемник. Как правило, прорывы имеют место в верхней области отливки, чаще при литье крупных профилей, высота которых превышает их ширину.

К комплексу мер для предотвращения прорывов расплава следует отнести прежде всего контроль тепловых и технологических параметров литья в процессе вытяжки отливки, а также применение систем вторичного водовоздушного охлаждения. Определяющими параметрами здесь являются разогрев корки

за пределами кристаллизатора (максимальная температура, время и длина участка разогрева) [2] и режим вторичного охлаждения (струйное, спрейерное и др.).

При этом следует отметить, что в процессе литья место максимального разогрева корки меняет свое положение относительно оси вытяжки отливки вследствие изменения характера теплопередачи в кристаллизаторе. Так, например, при литье чугунной отливки (диаметр – 0,1 м, средняя скорость вытяжки – 0,36 м/мин, толщина корки на выходе из кристаллизатора – 0,011 м), согласно методике работы [2], снижение температуры расплава в металлоприемнике на 80 °С приводит к уменьшению длины участка разогрева корки с 0,173 до 0,125 м, т. е. место максимального разогрева корки не всегда может совпадать с местом действия водовоздушной струи. Применение нескольких, расположенных последовательно по длине отливки, контуров охлаждения для покрытия большей площади усложняет конструкцию системы вторичного охлаждения и приводит к существенному увеличению расхода охладителя, что экономически нецелесообразно.

Наряду с традиционным комплексом мер для предотвращения прорывов расплава при горизонтальном литье используют специальные разделительные устройства [3] (рис. 1). Они изготавливаются из графита и имеют профиль, соответствующий внутреннему профилю графитовой втулки. Каналы предназначены для того, чтобы перенаправить поступающие потоки расплава в нижнюю зону кристаллизатора и таким образом снизить влияние термоконвективных потоков расплава на процесс затвердевания отливки. Устанавливаются в кристаллизатор со стороны металлоприемника. Отличаются высокой эффективностью и позволяют повысить среднюю скорость вытяжки отливки.

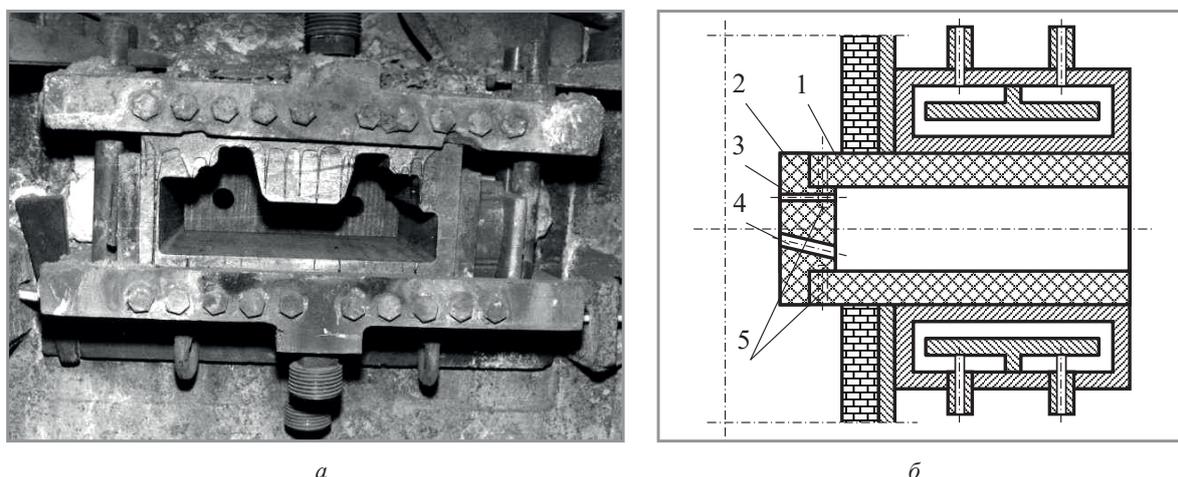


Рис. 1. Кристаллизатор (а) и схема установки разделительного устройства (б):

1 – графитовая втулка; 2 – разделительное устройство; 3 – отверстие; 4 – каналы; 5 – графитовые шпильки

Альтернативой разделительным устройствам могут служить устройства, представляющие собой водоохлаждаемую форму, которая располагается на верхней поверхности отливки вплотную к торцу кристаллизатора. Длина рабочей поверхности формы выбирается не менее чем в 2,0–2,5 раза больше длины участка разогрева. Таким образом, в процессе литья форма охлаждает корку отливки в месте максимального разогрева и препятствует ее прогибу за счет своей массы.

Для горизонтального непрерывного литья разработаны два типа форм.

Первая конструкция (рис. 2) представляет собой металлический водоохлаждаемый кожух, на нижней поверхности которого закреплена сменная графитовая накладка. Рабочая поверхность накладки повторяет конфигурацию верхней наружной поверхности отливки.

Вторая конструкция имеет две скрепленные между собой металлические водоохлаждаемые секции, рабочая поверхность которых соответствует форме наружной поверхности отливки. Между секциями расположены пружины, обеспечивающие плотный контакт секций к поверхности отливки.

Заметим, что, несмотря на дефицитность графита, первая конструкция наиболее предпочтительна для промышленного применения. Графит благодаря хорошей обрабатываемости является материалом, из которого можно изготовить рабочую поверхность графитовой накладки сложной формы, например, для отливок круглого либо трапецидального сечения. В этом случае обеспечивается более надежный контакт между водоохлаждаемой формой и отливкой. В случае износа замена графитовой накладки не представляет особых трудностей.

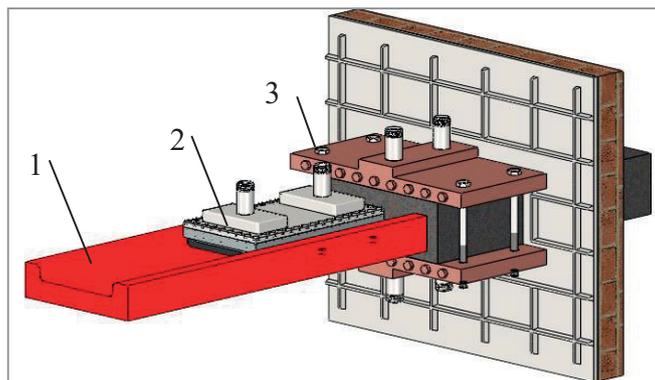


Рис. 2. Положение формы в процессе литья: 1 – отливка; 2 – форма; 3 – кристаллизатор (элементы крепления и трубопроводы не показаны)

Интересное решение, связанное с влиянием конвективного движения (расслоения) расплава на стабильность процесса непрерывного литья заготовок круглого сечения на ГМНЛЗ, приведено в работе [4]. Для повышения производительности процесса литья предложена усовершенствованная конструкция кристаллизатора с удлиненной верхней частью. Суть такого решения заключалась в выравнивании расстояния от фронта затвердевания в верхней и нижней областях кристаллизатора до выходного торца кристаллизатора. Однако при всей простоте решения необходимо отметить сложность изготовления такой конструкции.

Оценку эффективности охлаждающей способности устройств типа водоохлаждаемых форм проводили в промышленных условиях в процессе литья чугунной заготовки типа «стол фрезерного станка». Критерии оценки – температура поверхности отливки перед формой и за ней, статистика прорывов, средняя скорость литья.

Усредненные значения температуры в наиболее уязвимых местах отливки, подверженных прорывам корки в случае использования формы с графитовой накладкой, представлены на рис. 3. Температуре чугуна в металлоприемнике 1340 °С соответствовала средняя скорость вытяжки отливки 0,36 м/мин, температуре 1360 °С – 0,28 м/мин.

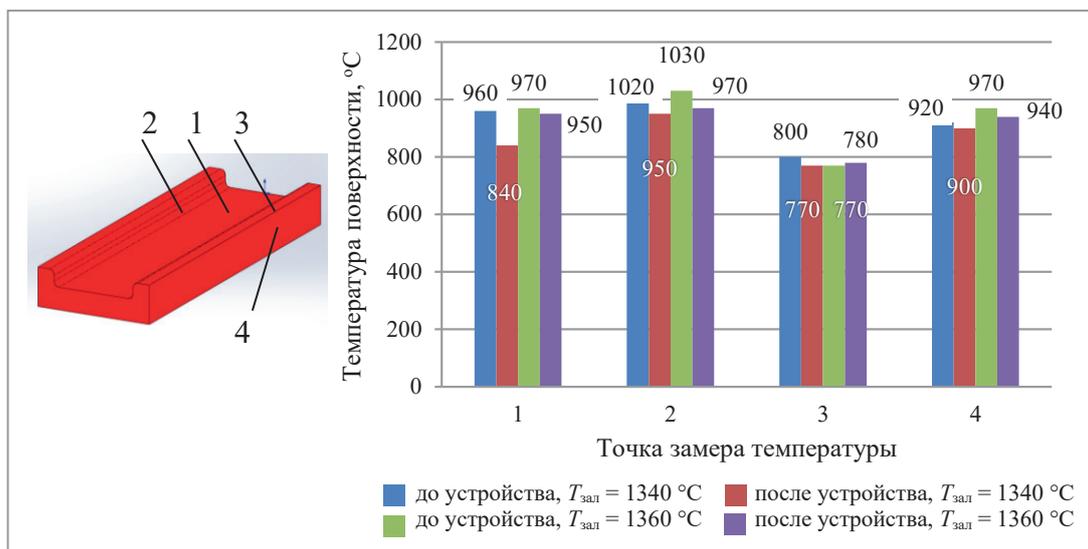


Рис. 3. Температура поверхности в местах отливки до и после устройства

Анализ температурных данных показал, что для отливок такого типа наиболее уязвимым местом являются внутренние углы верхней поверхности отливки (рис. 3, точка 2). При значениях температуры поверхности 1020–1030 °С, близких к температуре кристаллизации чугуна, прочность корки снижается до критических значений и она практически не способна выдержать давление расплава. Повышение температуры здесь, по-видимому, обусловлено разной интенсивностью теплоотвода [5] и усадочными явлениями, протекающими в углах и на плоской поверхности отливки. Не исключается и фактор неравномерного износа графитовой втулки.

Также достаточно высокие значения температуры имели место в средней части верхней поверхности отливки (рис. 3, точка 1).

Как показали результаты промышленного опробования, применение устройств водоохлаждаемых форм обоих типов позволяет понизить температуру поверхности в уязвимых местах отливки в достаточно широком интервале – 20–70 °С. Это дало возможность с учетом толщины и прочности корки на выходе из кристаллизатора повысить среднюю скорость литья для отдельных типоразмеров заготовок в пределах 5–8 %; практически полностью исключить случаи прорыва корки; отказаться от необходимости применения традиционных систем вторичного охлаждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Марукович, Е. И.** Тепловые явления при формировании непрерывной отливки / Е. И. Марукович, Е. Б. Демченко. – Минск: БНТУ. – 2012. – 208 с.
2. **Марукович, Е. И.** Формирование непрерывной отливки за пределами кристаллизатора / Е. И. Марукович, Е. Б. Демченко // Вестн. БНТУ. – 2008. – № 4. – С. 31–34.
3. Устройство для горизонтального непрерывного литья заготовок сплошного сечения: пат. ВУ 13981 / Е. Б. Демченко, Е. И. Марукович. – Опубл. 28.02.2011.
4. **Хорошилов, О. Н.** Исследование конвективного расслоения расплава в горизонтальном кристаллизаторе машины непрерывного литья / О. Н. Хорошилов // Машинобудування. – 2015. – № 15. – С. 167–173.
5. **Bockus, S.** Regulation of heat transfer in the horizontal continuous casting moulds / S. Bockus // Proceedings of the 4th Wseas int. conf. on heat transfer, thermal engineering and environment, Elounda, August 21–23, 2006. – Elounda, 2006. – P. 94–98.

REFERENCES

1. **Marukovich E. I., Demchenko E. B.** *Тепловые явления при формировании непрерывной отливки* [Thermal phenomena during the formation of a continuous casting]. Minsk, BNTU Publ., 2012, 208 p.
2. **Marukovich E. I., Demchenko E. B.** Formirovanie nepreryvnoj otlivki za predelami kristallizatora [Formation of a continuous casting outside the mold]. *Vestnik BNTU = Bulletin of BNTU*, 2008, no. 4, pp. 31–34.
3. **Marukovich E. I., Demchenko E. B.** *Ustrojstvo dlja gorizontalnogo nepreryvnogo lit'ja zagotovok sploshnogo sechenija* [Device for horizontal continuous casting of solid blanks]. Patent BY, no. 13981, 2011.
4. **Horoshilov O. N.** Issledovanie konvektivnogo rassloenija rasplava v gorizont'al'nom kristallizatore mashiny nepreryvnogo lit'ja [Study of convective stratification of the melt in a horizontal mold of a continuous casting machine]. *Mashinobuduvannja = Machine building*, 2015, no. 15, pp. 167–173.
5. **Bockus S.** Regulation of heat transfer in the horizontal continuous casting moulds. *Proceedings of the 4th Wseas int. conf. on heat transfer, thermal engineering and environment, Elounda, August 21–23, 2006*. Elounda, 2006, pp. 94–98.