

## НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ И УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВОК

**Стулов В.В., Шафиев О.М.**

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет), г. Москва*

**Ключевые слова:** непрерывная разливка, высоколегированные стали, кристаллизатор, система охлаждения, температура стенки.

**Аннотация.** Рассматривается проблема непрерывной разливки высоколегированных сталей, в частности поверхности заготовок, связанная с их охлаждением. Анализируются выполненные работы, касающиеся растрескивания поверхности заготовок. Основное внимание уделяется конструкции кристаллизатора и способу его охлаждения. Приводятся результаты выполненных расчетов температур поверхности стенок кристаллизатора. Описанные в работе кристаллизаторы и системы их охлаждения запатентованы.

## CONTINUOUS CASTING OF HIGH-ALLOY STEELS AND QUALITY IMPROVEMENT WORKPIECE SURFACE

**Stulov V.V., Shafiev O.M.**

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow*

**Keyword:** continuous casting, high-alloy steels, crystallizer, cooling system, wall temperature.

**Abstract.** The problem of continuous casting of high-alloy steels is considered, in particular, the surface of the workpieces is associated with their cooling. Analyzed completed work related to cracking of the workpiece surface. Basic attention is paid to the design of the mold and the method of cooling it. The results of calculations of the surface temperature of the mold walls are presented. The mold and cooling systems described in this paper are patented.

В настоящее время в нашей стране высоколегированные стали и сплавы в основном разливаются в чугунные изложницы. Непрерывная разливка высоколегированных сталей и сплавов в медные кристаллизаторы скольжения, охлаждаемые холодной водой, приводит к растрескиванию образующейся корочки оболочки заготовки. Основные причины растрескивания металла: сравнительно высокие градиенты температур между корочкой заготовки и стенкой кристаллизатора, неравномерность температур по периметру и высоте заготовки в кристаллизаторе, напряжения в металле, в частности, связанные с работой механизма качания кристаллизатора. В России значительные успехи в этом направлении были достигнуты на заводе «Серп и Молот» [1]. Разработанная авторами система импульсного охлаждения кристаллизатора позволила разливать высоколегированные (Ni-Cr-Mo) стали в непрерывные заготовки небольшого поперечного сечения (300 x 160 мм и др.).

В зарубежных публикациях, посвященных качеству поверхности непрерывно литых заготовок, уделяется пристальное внимание [2-5]. Авторы этих работ акцентируют внимание на уменьшение «заворота» корочки в процессе циклического качания кристаллизатора, правильный выбор шлакообразующей

смеси (ШОС) и ее свойств, регулирование охлаждения стенок, в частности, уменьшение интенсивности охлаждения.

В выполненных нами работах [6-10] при разливке высоколегированных сталей и сплавов основное внимание уделяется правильному выбору материала стенок кристаллизатора, системе охлаждения и температуре охлаждающей среды, прогреву стенок перед разливкой расплава. Конструкция кристаллизатора и система охлаждения запатентованы [11,12]. Выполненные конструктивные расчеты цилиндрического и слябового кристаллизаторов при среднем значении плотности теплового потока  $1-3 \text{ мВт/м}^2$ , зависящем от скорости разливки, показывают, что более высокие температуры стенок кристаллизатора ( $t_c \geq 270 - 350 \text{ }^\circ\text{C}$ ), контактирующие с корочкой заготовки, оказывают положительное влияние, как на работу ШОС, так и на уменьшение возникающих в металле напряжений, уменьшение величины «заворота» корочки, уменьшение затрат на зачистку поверхности заготовок. Дополнительно, выполненные нами исследования на моделях кристаллизаторов с различными способами охлаждения при разливке в них низкотемпературных сплавов [13] показывают, что при прочих равных условиях качеством поверхности заготовок можно управлять, в том числе, добиться получения ровной без складок поверхности.

### Список литературы

1. Галкин М.П. Освоение непрерывной разливки высоколегированных марок стали на УНРС Московского металлургического завода «Серп и молот» // 60 лет непрерывной разливки стали в России. Сборник статей под ред. д.т.н., проф. С.В. Колпакова и д.т.н., проф. Е.Х. Шахпазова. М.: Интерконтакт Наука, 2007. С. 124-126.
2. Sengupta J. A new mechanism of hook formation during continuous casting of ultra-low-carbon steel slabs // Metall and Mat Trans A. 2006. Vol. 37. №5. P. 1597-1611.
3. Lee P.B., Ramirez-Lopez O.E., Mills K.C. et al. Review: the "butterfly effect" in continuous casting // Ironmaking and Steelmaking. 2012. 39. № 4. P. 244-253.
4. Huixiang Yu, Xiaohuan Deng, Xinhua Wang Dong et al. Characteristics of subsurface inclusions in deep-drawing steel slabs at high casting speed // Metallurgical Research Technology. 2015. №112. P. 608-612.
5. Hanao M., Kawamoto M., Yamanaka A. Influence of mold flux on initial solidification of hypoperitectic steel in a continuous casting mold // Tetsu-to- Hagane – Journal of the Iron and Steel Institute of Japan. 2014. 100. №4. P. 581-590.
6. Стулов В.В. К вопросу энергосберегающей технологии и охлаждения слябового кристаллизатора для получения непрерывнолитых заготовок из высоколегированных сталей // Сталь. 2019. №11. С.19-23.
7. Стулов В.В., Шафиев О.М. Расчет теплообмена в цилиндрическом кристаллизаторе при кипении теплоносителя // Сталь. 2018. №10. С. 18-21.
8. Stulov V.V. Cooling of a Mold at Preforming Cylindrical Continuous Cast Steel Billets // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2017. Vol. 46. № 1. P. 57-62.
9. Stulov V.V. Cooling of a Cylindrical Crystallizer in a Mold Continuous Casting Machine // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2016. Vol. 45. №3. P. 266-269.
10. Stulov V.V. Energy Efficient Cooling of a Continuous-Casting Mold // Journal of Machinery and Reliability. 2014. Vol. 43. № 5. P. 429-434.
11. Патент №2651083 РФ. Кристаллизатор для получения непрерывнолитых цилиндрических заготовок / В.В. Стулов. – Опубл. 18.04.2018, Бюл. № 11.
12. Патент №2601713 РФ. Способ охлаждения кристаллизатора // В.В. Стулов. – Опубл. 10.11.2016, Бюл. № 31.

13. Stulov V.V., Tskhadaia Z.A., Shafiev O.M. Production of Steel Castings in Cylindrical Molds // Steel in Translation. 2018. Vol. 48. № 5. P. 307-312.

Сведения об авторах:

*Стулов Вячеслав Викторович* – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Оборудование и технологии прокатки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва;  
*Шафиев Олег Михайлович* – студент МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва.