

РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ МНЛЗ

А.Е. Власов

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Статья посвящена обзору процессов ремонта и восстановления медных плит кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Приведено краткое техническое описание данного элемента машины. Рассмотрены основные виды кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовки, а также материалы, из которых они изготавливаются. Приведены основные физико-механические требования, предъявляемые к материалу и техническим характеристикам медных плит кристаллизаторов МНЛЗ. Статья содержит основные ГОСТы и ТУ на марки сплавов медных плит. Также приведены зарубежные аналоги материалов, из которых изготавливаются кристаллизаторы МНЛЗ. Подробно описаны причины возникновения и характер износа рабочей поверхности кристаллизаторов. Также рассмотрены основные виды дефектов, в результате которых данный элемент машины снимается с установки и отправляется на ремонт. Отмечены два основных способа ремонта (восстановления) медных плит кристаллизаторов МНЛЗ. Перечислены самые распространенные варианты композиций восстановленного медного слоя и комбинированных защитных покрытий. Отдельное внимание уделено процессам хромирования и никелирования, кратко описаны преимущества и недостатки этих видов покрытий. Также рассмотрены различные конфигурации защитных покрытий. Рассмотрен метод создания на рабочих поверхностях кристаллизаторов МНЛЗ защитных покрытий ступенчатой и конической конфигурации посредством гальваностегии.

На основании изучения приведенного в статье материала сделаны выводы о перспективах развития технологий ремонта и восстановления рабочей поверхности кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок.

Ключевые слова: МНЛЗ; кристаллизатор; ремонт и восстановление защитного покрытия.

Введение

Машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) – машина для разлива стали, обеспечивающая квазинепрерывный перевод жидкой стали, находящейся в сталеразливочном ковше, в твердое состояние в виде заготовок определенной геометрической формы.

Такой метод получения литых заготовок в настоящее время является самым прогрессивным и эффективным. Эта технология позволяет существенно увеличить выход годного металла как в деформированном состоянии, так и недеформированном. Сегодня металлургия более ста стран снабжена МНЛЗ всевозможных видов, а общий объем разливаемой на МНЛЗ стали составляет более 60% от всей выплавляемой стали в мире [1].

Максимальное число плавов при серийной разливке стали определяет продуктивность машины непрерывного литья заготовок. Этот параметр зависит от качества работы кристаллизатора.

Кристаллизатор, его виды и характеристики

Кристаллизатор – это один из наиболее важных узлов МНЛЗ, его функциональное назначение заключается в приеме жидкого металла, который попадает в него из промковша, и переводе периферийной части расплавленной стали в твердое

состояние, благодаря интенсивному отводу тепла охлаждающей жидкостью. Именно в кристаллизаторе происходит формирование профиля заготовки. Этот процесс происходит благодаря постепенному наращиванию корки затвердевшего металла и сопровождается интенсивным выделением тепла через стенки кристаллизатора в окружающую среду. Корка остывающего слитка должна иметь толщину и прочность, достаточные, чтобы она не разрушалась под влиянием силы трения и ферростатического давления при выходе из зоны охлаждения.

Исходя из условий эксплуатации, к материалу стенок кристаллизатора предъявляются определенные физико-механические требования. Необходимые свойства обеспечиваются использованием материалов на основе меди. Медные кристаллизаторы бывают трех типов [2]:

Гильзовые и блочные кристаллизаторы как правило используются для отливки сортовой заготовки квадратного сечения до 220–250 мм и отливки круглой заготовки.

Сборные кристаллизаторы – это конструкция, состоящая из четырех медных плит, которая используется для МНЛЗ, производящих блюмовые и слябовые заготовки. Рабочие стенки изготавливаются из толстых медных плит (50–60 мм), в которых вырезаются специальные каналы для

Краткие сообщения

подвода охлаждающей жидкости. Обычно кристаллизаторы изготавливают длиной порядка 0,7–1,1 м.

В независимости от типа кристаллизатора, их изготавливают из рафинированной меди или из сплава с серебром, а также сплавов меди с хромом и цирконием (табл. 1).

Самой распространенной маркой меди для изготовления кристаллизаторов является М1р (табл. 2).

Данная марка материала имеет зарубежные аналоги: в США – С12000 или С12200, в Германии – DIN или WNr, в Японии – JIS, в Евросоюзе – EN.

Износ рабочей поверхности

Как говорилось выше, в кристаллизаторе начинается процесс затвердевания слитка, поэтому от условий в кристаллизаторе значительно зависит качество поверхности получаемого полуфабриката. Ввиду этого к состоянию рабочей поверхности стенок предъявляются высокие требования.

Характер износа стенок кристаллизаторов обуславливается следующими особенностями прохождения остывающего металла через него [5]:

- В верхней части кристаллизатора располагается жидкая фаза расплава, поэтому на покрытие действуют в основном температурные факторы.

- В нижней части проходит затвердевшая фаза заготовки, поэтому на стенки кристаллизатора действуют факторы механического износа.

Плиты кристаллизаторов изнашиваются неравномерно, преимущественно в нижней части и

по торцам. Это объясняется тем, что остывающая движущаяся корка сплава вышаркивает рабочую поверхность стенок кристаллизаторов. Также интенсивное выкрашивание рабочей поверхности наблюдается в месте стыка плит кристаллизаторов, что объясняется интенсивным трением «захоложденных» ребер остывающей заготовки. Остывающая корочка сплава вследствие двухмерного теплового потока нарастает интенсивнее и раньше становится более твердой и прочной в углах кристаллизатора, что приводит к более интенсивному износу на первых этапах кристаллизации заготовки.

Замена кристаллизаторов на МНЛЗ производится по следующим причинам:

- два прорыва подряд по трещине в ходе эксплуатации;
- ромбичность заготовок выше допустимых значений;
- появление течи воды через уплотнения;
- «чулок» или слиток металла в гильзе после окончания разливки.

Ввиду этого одной из важнейших задач при непрерывной разливке стали является создание высокопроизводительных и надежных кристаллизаторов, которые могут выдерживать тепловые удары, высокие температуры и быть стойкими к механическому износу длительное время.

Чистая медь, являющаяся классическим материалом для кристаллизаторов, не соответствует по своим физико-химическим свойствам предъявляемым условиям эксплуатации.

Таблица 1

Технические условия на медные плиты [3]

Марка сплава	Состояние металла	ГОСТ, ТУ
М1р	Горячекатаное	ТУ 1844-106-069-2000 ТУ 48-21-427-80 ТУ 48-21-517-85
МСр0.1	Холоднокатаное	ТУ 1844-106-143-2004
БрХ1Цр	Холоднокатаное, термообработанное	ТУ 1846-014-58825515-2003
МН2,5КсКрХ	Горячекатаное или холоднокатаное, термообработанное	ТУ 1846-014-58825515-2003 ТУ 48-21-547-99
СuAg0.10Р	Холоднокатаное	EN 13599, DIN 17666
СuCr1Zr	Холоднокатаное, термообработанное	DIN 17666

Таблица 2

Основные физико-механические свойства материала М1р [4]

Плотность	8920–8940 кг/м ³
Температура плавления	1084 °С
Температура кипения	2595 °С
Теплопроводность при 20–100 °С	394 Вт/м·К
Температурное расширение при 0–100 °С	(1,63–1,71) · 10 ⁻⁵ К ⁻¹
Удельная теплоемкость при 20–100 °С	385 Дж/кг·К
Температура горячей деформации	750–1050 °С

Ремонт и восстановление кристаллизаторов

В мировой практике непрерывной разливки стали существуют два метода, позволяющие увеличить эксплуатационный срок кристаллизаторов [6]:

1. Повышение механических свойств материала плит кристаллизаторов посредством использования микролегирования меди различными химическими элементами при восстановлении изношенного слоя;

2. Нанесение специальных защитных покрытий на рабочие поверхности стенок кристаллизаторов.

Ремонт и восстановление изношенного слоя стенок кристаллизаторов традиционно осуществляют методом гальванического (электрохимического) осаждения, однако в мировой практике применяют и альтернативные способы, такие как, вакуумно-дуговое (катодно-дуговое) и газотермическое нанесение.

Гальваническое восстановление изношенного медного слоя позволяет получать покрытия намного более прочные, чем материал плиты. Они обладают хорошей адгезией. Микролегирующая медь имеет более однородную и мелкозернистую структуру, чем материал стенок. Такое покрытие обладает твердостью более, чем в 3 раза выше твердости чистой меди М00 (70–80 НВ). Толщина восстановленного слоя варьируется в пределах 15–20 мм. Данная технология позволяет не только восстанавливать изношенные плиты, но и получать медный слой, свойства которого являются аналогичными свойствам специальных защитных покрытий. Это позволяет существенно увеличить эксплуатационный срок стенок кристаллизатора.

При восстановлении медного слоя часто используются различные сложные композиции сплава. Это позволяет удовлетворить определенные особенности требований, предъявляемые к свойствам кристаллизаторов.

Сплавы меди и серебра (CuAg) используются там, где имеют место более высокие температуры на стенках кристаллизаторов и возникают повышенные термические напряжения, так как они отличаются повышенной теплостойкостью. При этом интенсивность теплоотвода из рабочей полости остается примерно такой же, как и у катодной меди.

Однако, при использовании микролегируемого восстановленного слоя нужно учитывать, что он окисляется более интенсивно (примерно на 18–20 %) чем катодная медь. На практике для борьбы с этим эффектом используют нанесение на поверхность медной плиты кристаллизатора защитного покрытия определенного состава [7].

Нанесение гальванических защитных покрытий является одним из самых эффективных и распространенных способов повышения стойкости и долговечности плит кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовки.

Хромирование и никелирование являются самыми распространенными процессами нанесения защитных покрытий на стенки кристаллизаторов МНЛЗ. Также в редких случаях используются покрытия на основе керамики или специальные износостойкие вставки. В настоящее время самыми распространенными являются покрытия: Ni; Cr; Co–Ni; Fe–Ni. Защитный слой наносится на всю рабочую площадь медной стенки перед ее эксплуатацией. Во время ремонта приходится полностью удалять старое защитное покрытие, несмотря на то, что износ носит локальный характер.

Из-за более низкой твердости никелевые покрытия изнашиваются в 2–2,5 раза интенсивнее, чем хромовые. Разница коэффициентов теплового расширения меди и материала покрытия существенно влияет на состояние защитного слоя ввиду возникновения внутренних напряжений на границе контакта материалов. В условиях работы кристаллизатора вероятность отслаивания хромового защитного покрытия значительно выше, чем никелевого, но при этом износостойкость никеля более, чем в два раза ниже износостойкости хрома [8].

Для того, чтобы смягчить эффект отслаивания из-за разницы тепловых расширений материалов, в мировой практике используются многослойные покрытия. В таких покрытиях никель, обладающий средним значением коэффициента линейного удлинения, применяется в качестве промежуточного слоя, что позволяет использовать износостойкий хром с низким коэффициентом линейного удлинения для защиты медной рабочей стенки с высоким линейным удлинением.

Благодаря схожим значениям теплового расширения, однослойные никелевые покрытия можно наносить более толстым, а, следовательно, и более износостойким слоем (от 1 до 4 мм) на медную плиту. Применение более толстого покрытия является нерациональным, потому что сильный разогрев поверхности может привести к изменению свойств защитного материала, а также появлению дополнительных внутренних напряжений в процессе осаждения.

Также довольно распространенным примером многослойного (трехслойного) покрытия для стенок кристаллизатора является комбинация «никель – кобальт – хром». Оно существенно увеличивает твердость, износостойкость и долговечность кристаллизатора, но создание такого защитного слоя значительно увеличивает затраты на производство.

Технологические особенности процесса кристаллизации расплава требуют правильного выбора конфигурации защитного покрытия. Исходя из вышесказанного, наиболее целесообразно делать защитный слой минимальной толщины в верхней части плит, чтобы обеспечить максимальный отвод тепла и минимальные внутренние напряжения, вызванные перепадом температур покрытия. Нижняя же часть покрытия должна быть большей тол-

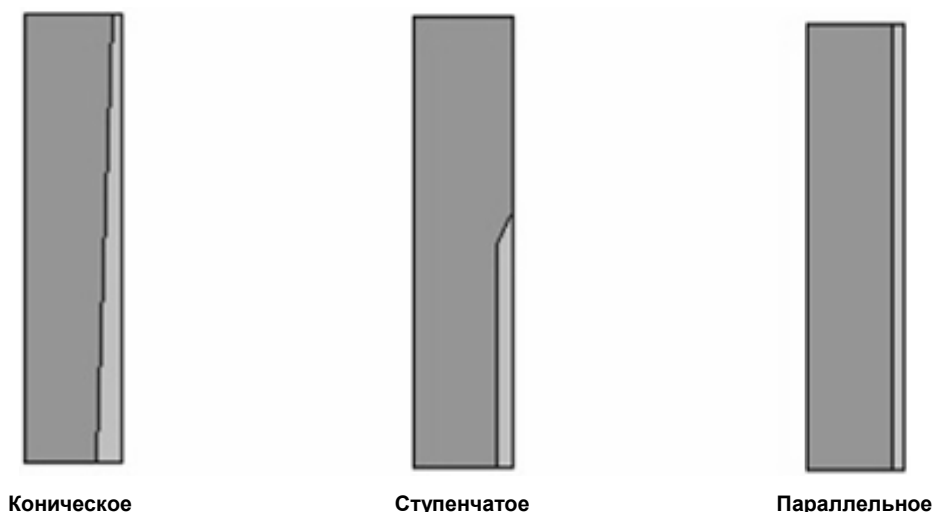


Рис. 1. Конфигурации покрытий

щины и твердости, чтобы компенсировать интенсивный механический износ.

В настоящее время наиболее распространены три конфигурации покрытия (рис. 1) [9]:

- коническое;
- ступенчатое;
- параллельное.

Стоит отметить, что в настоящее время параллельное покрытие очень редко востребовано заказчиками. Что касается конической и ступенчатой конфигурации, то их востребованность примерно одинаковая.

Покрытия ступенчатой и конической конфигурации получают посредством использования ступенчатой переливной трубы (рис. 2).

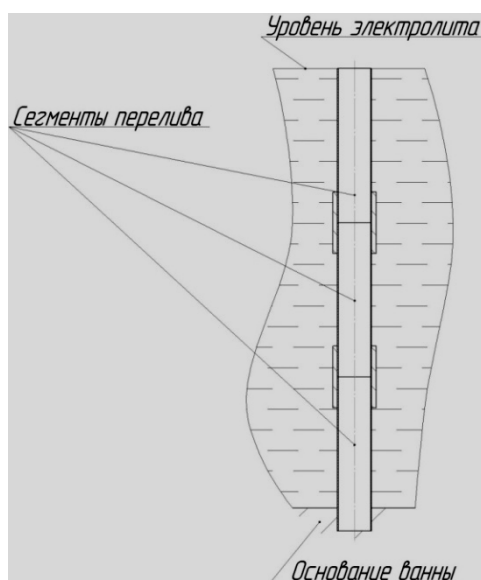


Рис. 2. Схема ступенчатого перелива

Смысл такой конструкции перелива заключается в том, что через определенное время после начала процесса гальванизации последовательно

убираются все составные части переливной трубы, кроме нижней. Это позволяет понижать уровень электролита в ванне, тем самым создавая более толстое покрытие в нижней части плиты, чем в верхней. Время работы каждой части ступенчатого перелива определяется параметрами и особенностями технологического процесса.

Заключение

В настоящее время МНЛЗ являются одними из наиболее функциональных и распространенных машин для получения слябовой заготовки во всем мире. Этим объясняется востребованность в эффективном и качественном ремонте медных плит кристаллизаторов МНЛЗ. Разработка новых видов покрытий и оптимизация уже имеющихся процессов ремонта и восстановления плит кристаллизаторов являются очень важными вопросами металлургии, которые на российском рынке на сегодняшний день решаются не только отечественными, но и иностранными компаниями-партнерами.

Литература

1. Зубарев, А.Г. Теория и технология производства стали для МНЛЗ / А.Г. Зубарев. – М.: Металлургия, 1986. – 232с.
2. Затуловский, С.С. Непрерывное литье стали / С.С. Затуловский., В.Ф. Демченко, А.А. Юдович. – М.: Металлургия, 1981. – 176 с.
3. Лисиенко, В.Г. Теплотехнические основы технологии и конструирования машин непрерывного литья заготовок / В.Г. Лисиенко, Ю.А. Самойлович. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1986. – 120 с.
4. ГОСТ 1173–2006. Фольга, ленты, листы и плиты медные. – Межгосударственный стандарт, 2006. – 20 с.
5. Причины разрушения и способы упрочнения медных плит кристаллизаторов МНЛЗ / В.Г. Ко-

жемякин, В.А. Шаповалов, В.Р. Бурнашев [и др.] // Современная электрометаллургия. – 2014. – № 4. – С. 37–45.

6. Информационный портал «Секреты гальваники от Галины Королевой». Причины нарушения качества гальванических покрытий. – <http://blog.ter-nn.ru/?p=1389> (дата обращения: 01.11.2015).

7. Анализ износостойкости защитных покрытий медных стенок кристаллизаторов МНЛЗ /

В.М. Нисковских, С.П. Кротов, А.Ф. Шаров, А.В. Грачев // Непрерывное литье стали. – М.: Металлургия, 1978. – № 5. – С. 73–78.

8. Поветкин, В.В. Структура и свойства электролитических сплавов / В.В. Поветкин, И.М. Ковенский, Ю.И. Установицков. – М.: Наука, 1992. – 255 с

9. Дасоян, М.А. Технология электрохимических покрытий / М.А. Дасоян, И.Я. Пальмская, Е.В. Сахарова. – Л.: Машиностроение, 1989. – 391 с.

Власов Александр Евгеньевич, аспирант кафедры машин и технологий обработки материалов давлением, Южно-Уральский государственный университет; vlasovaleksandr.74@gmail.com.

Поступила в редакцию 22 июня 2016 г.

DOI: 10.14529/met160321

REPAIR AND RESTORATION OF CRYSTALLIZERS OF CONTINUOUS CASTING MACHINES

A.E. Vlasov, vlasovaleksandr.74@gmail.com

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

This article provides an overview of the repair process of copper plates of continuous casting machines (CCM). Technological purpose of this element of the machine is briefly described. Materials and types of crystallizers of CCM are considered. Principal physical and mechanical requirements imposed on material and technical characteristics of copper plates of crystallizers are listed. The article contains the main state standard specifications on grades of alloys of copper plates. Foreign analogs of materials of which crystallizers are made are also given. The reasons and nature of wear of the working surface of crystallizers are described in detail. Main types of defects as a result of which this element of the machine is removed from installation and goes to repair are also given. Two main ways of repair of copper plates of crystallizers are noted. The most widespread options of compositions of the restored copper layer and the combined sheetings are listed. The separate attention is paid to processes of chromium plating and nickel plating, advantages and shortcomings of these types of coverings are briefly described. Various configurations of protective coatings are also considered. The method of creation of sheetings with stepwise and conic configuration on working surfaces of crystallizers by means of galvanization is considered.

On the basis of studying of the material given in article conclusions are drawn on prospects of development of technologies of repair and restoration of a working surface of crystallizers of continuous casting machines.

Keywords: CCM; crystallizer; repair of protective coating.

References

1. Zubarev A.G. *Teoriya i tekhnologiya proizvodstva stali dlya MNLZ* [Theory and Technology of Steel Production for CCM]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1986. 232 p.
2. Zatulovskiy S.S., Demchenko V.F., Yudovich A.A. *Nepreryvnoye lit'e stali* [Continuous Casting of Steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1981. 176 p.
3. Lisenko V.G., Samoylovich U.A. *Teplotekhnicheskie osnovy tekhnologii i konstruirovaniya MNLZ* [Thermal Bases of Technology and Designing of Continuous Casting Machines]. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk University Publ., 1986. 120 p.
4. *GOST 1173–2006. Fol'ga, lenty, listy i plity mednye* [State Standard 1173–2006. Copper Foil, Ribbons, Sheets and Plates. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 27 p.

Краткие сообщения

5. Kozhemyakin V.G., Shapovalov V.A., Burnashev V.R., Zhirov D.M., Botvinko D.V. [Causes of Destruction and Ways of Hardening of Copper Plates of Crystallizers of CCM]. *Sovremennaya elektrometallurgiya*, 2014, no. 4, pp. 37–45. (in Russ.)

6. *Prichiny narusheniya kachestva gal'vanicheskikh pokrytiy* [Causes of Damage of Quality of Electroplated Coatings]. Available at: <http://blog.tep-nn.ru/?p=1389> (accessed 1 November 2015).

7. Niskovskikh V.M., Krotov S.P., Sharov A.F., Grachev A.V. [Analysis of Wear Resistance of Sheetings of Copper Walls of Crystallizers of CCM]. *Nepreryvnoe lit'e stali* [Continuous Casting of Steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978, pp. 73–78. (in Russ.)

8. Povetkin V.V., Kovenskiy I.M., Ustinovshchikov Yu.I. *Struktura i svoystva elektroliticheskikh splavov* [Structure and Properties of Electrolytic Alloys]. Moscow, Nauka Publ., 1992. 255 p.

9. Dasoyan M.A., Pal'mskaya I. A., Sakharova E.V. *Tekhnologiya elektrokhimicheskikh pokrytiy* [Technology of Electrochemical Coatings]. St. Petersburg, Mashinostroenie Publ., 1989. 391 p.

Received 22 June 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Власов, Е.А. Ремонт и восстановление кристаллизаторов МНЛЗ / Е.А. Власов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 143–148. DOI: 10.14529/met160321

FOR CITATION

Vlasov A.E. Repair and Restoration of Crystallizers of Continuous Casting Machines. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 3, pp. 143–148. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160321