



The article describes the structure of an experimental setup for a 10 mm zinc strand continuous casting into a mold of a "wheel-belt" type. The mold cooling parameters, casting modes and results of production tests of zinc anodes out of cast strand are given.

Э. Ф. БАРАНОВСКИЙ, В. М. ИЛЬЮШЕНКО, В. А. ПУМПУР, Г. П. КОРОТКИН,
А. И. КАЛЕНТИОНОК, ИТМ НАН Беларуси

РАЗРАБОТКА НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ В РОТОРНЫЙ КРИСТАЛЛИЗАТОР ЦИНКОВОЙ ПОЛОСЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АНОДОВ

УДК 669.18.046

Стоимость выпускаемых промышленностью изделий в значительной мере определяется ценой полуфабрикатов, которые используются в производстве. Так, промышленность Беларуси в больших объемах потребляет цинковый прокат для изготовления анодов гальванического производства. Существенное снижение затрат на их закупку можно получить, если полосовой металл изготавливать непосредственно в Беларуси непрерывным литьем из чушкового цинка.

Наиболее полно реализации поставленной задачи отвечает непрерывное литье в роторный кристаллизатор типа "колесо—лента". Колесо и лента образуют ручей кристаллизатора, в котором происходит затвердевание и охлаждение непрерывно подаваемого расплава. Водоохлаждаемое колесо в процессе литья подвергается только термическим нагрузкам, а основная механическая нагрузка от давления рабочей ленты на колесо незначительна. Это позволяет использовать для изготовления колеса высокотеплопроводные материалы: медь, ее сплавы, а также термостойкие сплавы алюминия.

В таком кристаллизаторе отливка затвердевает в результате теплообмена с высокотеплопроводным материалом массивного колеса и водоохлаждаемой тонкой лентой. В рассматриваемых условиях имеет место высокая интенсивность охлаждения расплава, что обеспечивает формирование мелкокристаллических отливок без раковин, пористости и других литейных дефектов.

Самый крупный потребитель цинковых анодов в Беларуси — Белорусский металлургический завод (БМЗ). На заводе для латунирования металлокорда в гальванических ваннах цинкования используются аноды размером 10×80×500 мм, которые изготавливаются из цинкового проката.

Экспериментальная установка

Для изучения возможности использования на БМЗ анодов, изготовленных непрерывным литьем, в ИТМ НАН Беларуси создана опытная установка, схема которой приведена в работе [1], а конструкция показана на рис. 1. Основным узлом установки является кристаллизатор, который состоит из формообразующего колеса 7 и находящейся с ним в

контакте бесконечной рабочей ленты 3. Система валков 1, 4 и 8 обеспечивает перекрытие рабочей лентой ручья в формообразующем колесе с охватом половины его бочки. В результате натяжения рабочей ленты посредством перемещения валка 8 с помощью винтов 14 ее прижимают к поверхности формообразующего колеса с усилием до 6000 кг. Вращение формообразующего колеса 7 осуществляется рабочей лентой 3, движение которой обеспечивается приводным валком 8. Крутящий момент

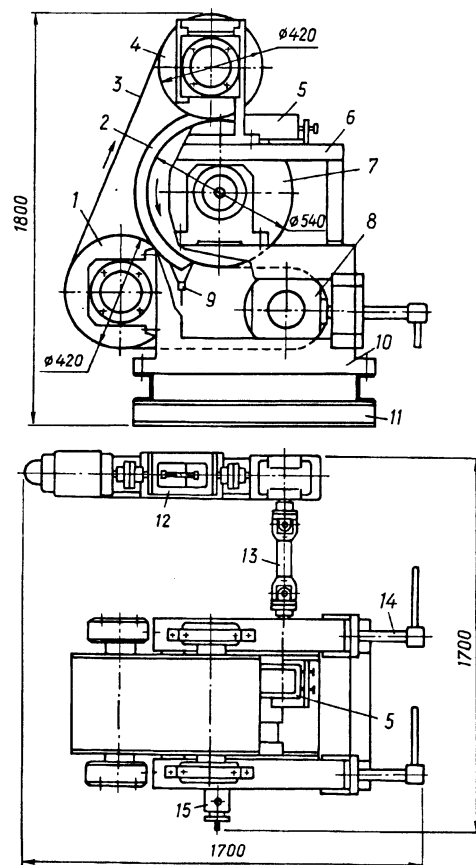


Рис. 1. Конструкция экспериментальной установки: 1 — валок направляющий; 2 — охладитель ленты; 3 — рабочая лента; 4 — валок прижимной; 5 — коробка литниковая; 6 — стойка; 7 — колесо формообразующее; 8 — валок приводной; 9 — слив; 10 — клеть; 11 — рама; 12 — привод; 13 — вал карданный; 14 — винт; 15 — устройство для подачи воды в колесо

на приводной валок 8 передается карданным валом 13 через механический привод 12 от электропривода постоянного тока типа ПМУ6 мощностью 7 кВт, что позволяет обеспечить плавное регулирование скорости литья от 0,2 до 17 м/мин. Подача расплава в кристаллизатор осуществляется через литниковую коробку 5, которая крепится к плите на стойке 6.

Охлаждение кристаллизатора производится водой путем ее подачи в формообразующее колесо через питатель охладителя 15, а также в автономную систему охладителя ленты 2. Нагретая в результате теплообмена с кристаллизатором вода поступает в канализацию через сливной патрубок устройства 15 и слив охладителя ленты 9.

Конструирование экспериментальной установки было выполнено по результатам расчета теплообмена отливки с кристаллизатором в условиях переходного и квазистационарного тепловых режимов [1]. Расчеты проведены для литья полос сечением 10×80 и 10×100 мм в кристаллизатор с формообразующим колесом из жаропрочного алюминиевого сплава диаметром 540 мм с толщиной стенки 50 мм и рабочей лентой толщиной 1,5 мм, изготовленной из стального штрипса марки 08КП. В результате численных экспериментов по расчету затвердевания отливки установлено, что для создания одинаковых скоростей затвердевания со стороны колеса и ленты колесо должно охлаждаться водой с интенсивностью $\alpha_{2,в} = 3000\text{--}4500$ Вт/(м²·град), а рабочая лента — при $\alpha_{3,в} = 5000\text{--}8000$ Вт/(м²·град).

Расчет и конструкция системы охлаждения кристаллизатора

При разработке конструкции системы охлаждения исходили из того, что при установившемся режиме литья практически все тепло, выделившееся при затвердевании поступающего в кристаллизатор расплава и охлаждении закристаллизовавшейся отливки, транслируется через стенки формы и передается охлаждающей их воде. Если пренебречь теплопотерями кристаллизатора в воздушную среду, то численное значение величины тепловой нагрузки N_k можно определить исходя из скорости литья полосы, ее толщины и ширины, а также физических характеристик материала полосы, температуры заливаемого металла и температуры полосы на выходе из кристаллизатора.

При литье полосы толщиной δ_1 со скоростью w в кристаллизатору в единицу времени передается количество тепла, равное N_k :

$$N_k = M[c_{ж}(T_{зал} - T_{кр}) + L + c_{т}(T_{кр} - T_{вых})], \quad (1)$$

где N_k — мощность тепловой нагрузки на кристаллизатор; $M = \delta_1 w / \rho_1$ — масса полосы, выходящей из кристаллизатора в единицу времени; w — скорость литья; l_n — ширина полосы; δ_1 — толщина полосы; ρ_1 — плотность материала отливки; $T_{вых}$ —

температура полосы на выходе из кристаллизатора; $T_{зал}$ и $T_{кр}$ — соответственно температура заливки и кристаллизации отливки; $c_{ж}$ и $c_{т}$ — удельные массовые теплоемкости материала отливки соответственно в жидком и твердом состояниях; L — теплота кристаллизации материала отливки.

Оценка N_k для случая литья цинковой полосы толщиной 10 и шириной 100 мм со скоростью 0,075 м/с дает значение $N_k = 112$ кВт. Чтобы создать необходимую интенсивность охлаждения кристаллизатора, надо соответствующим образом организовать движение воды на водоохлаждаемых поверхностях рабочей ленты и формообразующего колеса. Для оценки величины коэффициента теплообмена стенок кристаллизатора водой воспользуемся зависимостью из работы [2] для машин непрерывного литья с проходным кристаллизатором

$$\alpha = A \frac{v^{0,8}}{d^{0,2}}, \quad (2)$$

где v — скорость движения воды; $d = \frac{4F}{S}$ — условный диаметр канала; F — площадь поперечного сечения канала; S — смоченный периметр канала; A — коэффициент, зависящий от средней температуры воды в канале.

Задача по определению параметров охлаждения кристаллизатора сводится к определению скоростей движения воды на охлаждаемых поверхностях формообразующего колеса и рабочей ленты, при которых обеспечивается теплосъем при интенсивности соответственно 4000 и 8000 Вт/(м²·град). Расчеты по определению v выполнены по формуле (2) для условий, что охлаждение осуществляется потоками воды шириной 150 мм и глубиной 5 мм при средней температуре теплоносителя 25°С. Установлено, что скорость движения потоков воды должна составлять 0,684 и 2,8 м/с соответственно для формообразующего колеса и рабочей ленты. Чтобы обеспечить эти скорости, в охладитель формообразующего колеса необходимо подавать 0,0009 м³/с воды, а в охладитель ленты — 0,0021 м³/с.

На рис. 2 показана схема охлаждения кристаллизатора экспериментальной установки. Охлаждение рабочей ленты в зоне ее контакта с отливкой обеспечивается верхним охладителем 9 и боковым охладителем 7. Верхний охладитель выполнен в виде металлических трубок 9, установленных с шагом 18 мм в кольцевых пазах, проточенных в прижимном валке 8. Такая конструкция позволяет интенсивно охлаждать рабочую ленту прямо с момента ее контакта с расплавом в зоне протяженностью 110—130 мм. За пределами этой зоны охлаждение ленты осуществляется из спрейерных трубок, расположенных равномерно по длине зоны охлаждения с шагом 80 мм. Вода к спрейерным трубкам подается из трех коллекторов 12, причем

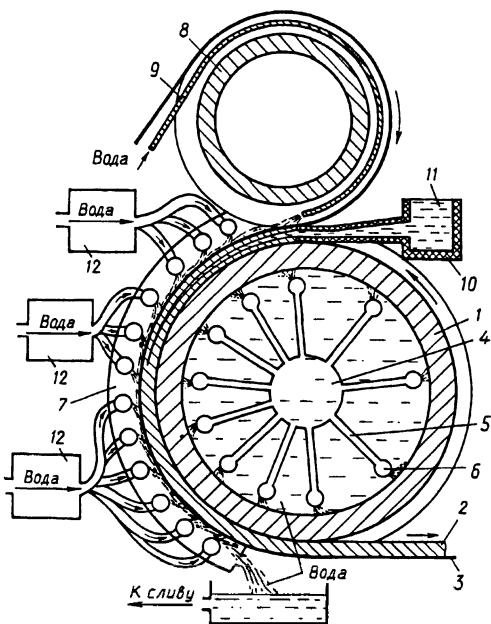


Рис. 2. Схема охлаждения кристаллизатора: 1 — колесо; 2 — отливка; 3 — рабочая лента; 4 — коллектор; 5 — труба питающая; 6 — спрейер; 7 — охладитель ленты; 8 — валок прижимной; 9 — трубка верхнего охлаждения; 10 — распределитель расплава; 11 — расплав; 12 — ресиверы

к нижнему коллектору подсоединено шесть трубок, так как в этой зоне тепловой поток от отливки к воде значительно ниже, чем в верхней зоне, где происходит затвердевание отливки. По мере перемещения сверху вниз увеличивается число трубок в распределителе 7 и расход воды, поступающей в охладитель, что приводит к постепенному росту глубины потока воды, движущегося по поверхности рабочей ленты. В нижней части охладителя происходит отрыв потока от кристаллизатора и поступление нагретой воды в слив 9 (см. рис. 1), расположенный непосредственно под рабочим колесом установки непрерывного литья.

Воду в кристаллизатор экспериментальной установки подают по трубопроводу диаметром 57 мм, что обеспечивает расход до 5 л/с. Каждый из элементов системы подачи воды в кристаллизатор выполнен регулируемым. Отвод воды из кристаллизатора обеспечивается через два сливных трубопровода диаметром 100 мм.

Подача расплава в кристаллизатор

Для решения задачи получения полос толщиной 10 мм потребовалось провести разработку конструкции литниковой коробки 5 (см. рис. 1) подачи расплава в кристаллизатор через насадку, которая достаточно плотно входит в ручей кристаллизатора.

При разработке конструкции насадок и выборе материалов для их изготовления исходили из того, что в процессе нагрева и движения стенок подвижной формы неизбежно происходит некоторое изменение сечения ручья кристаллизатора, обусловленное точностью изготовления формообразующего колеса, его радиального биения, а

также коробления рабочей ленты. Для того чтобы исключить возможность захвата конца насадки стенками подвижной формы, она должна располагаться в ручье кристаллизатора с некоторым зазором z между наружной поверхностью насадки и стенками формы. Однако величина этого зазора не должна превышать некоторое значение z_{\max} , при котором возможно затекание расплава в пространство между стенками насадки и формы.

Величина z_{\max} зависит от коэффициента поверхностного натяжения расплава σ и статического напора жидкости H в зоне расположения носика насадки. Для условий полного несмачивания расплавом стенок насадки и формы значение z_{\max} можно определить из известной формулы Лапласа для плоской щели:

$$z_{\max} = \frac{2\sigma}{\rho'gH} = \frac{a^2}{H}, \quad (3)$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения расплава; ρ' — плотность расплава; g — ускорение силы тяжести; H — статический напор расплава в рассматриваемом участке контакта формы со стен-

кой насадки; $a = \sqrt{\frac{2\sigma}{\rho'g}}$ — капиллярная постоянная расплава.

Расчеты по формуле (3) при напоре $H = 20$ мм дают для цинка значения $z_{\max} = 1,1$ мм. Из приведенного анализа и выполненной оценки z_{\max} следует, что для предотвращения затекания расплава в зазоры между стенками кристаллизатора и насадки требуется высокая точность ее изготовления и установки в ручье кристаллизатора. Необходимо также стремиться к тому, чтобы статический напор расплава H был минимален.

На рис. 3 показана конструкция распределителя расплава. Распределитель состоит из двух металлических частей: корпуса лотка 5 и кожуха металлоприемника 6, которые соединены болтами. Внутренняя часть корпуса лотка оклеена теплоизоляционным материалом 14, а сверху расположена вставка 13 из асботермосиликата, которая перекрывает верх лотка и образует заполняемый расплавом канал. В канале насадки установлен разделитель потока расплава 19, который не только обеспечивает преимущественную подачу расплава к вертикальным стенкам кристаллизатора, но и служит промежуточной опорой для тонкой верхней стенки канала, что существенно уменьшает вероятность ее разрушения в процессе литья. Конструкция такого распределителя значительно снижает окисляемость расплава при его движении в полость кристаллизатора и повышает устойчивость процесса литья. Поверхности металлического корпуса насадки обработаны механически с высокой точностью. В процессе настройки распределителя насадка прижимается к поверхностям кристаллизатора винтами 10 в неподвижном угольнике 8 на раме 7. Перед началом литья распределитель расплава нагревают до температуры 400—450°C.

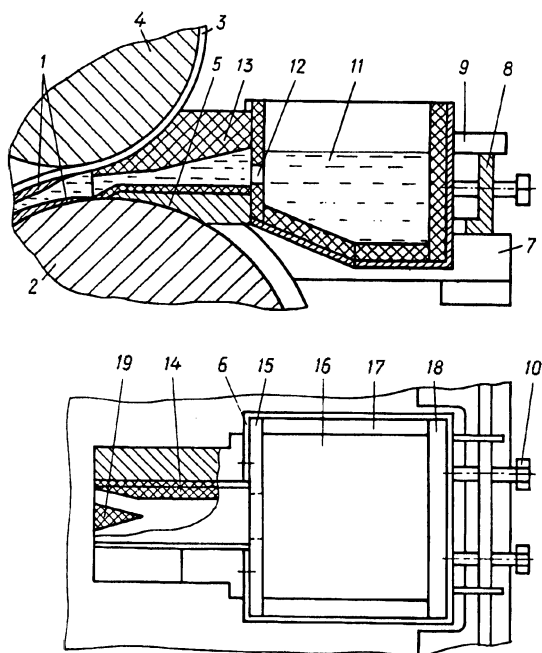


Рис. 3. Конструкция распределителя расплава: 1 — отливка; 2 — колесо; 3 — лента; 4 — прижимной валок; 5 — корпус лотка; 6 — кожух; 7 — рама; 8 — угольник; 9 — планка; 10 — винт; 11 — расплав; 12 — паз питателя; 13 — вставка; 14 — 18 — теплоизоляция

Определение параметров литья

Параметры литья определяли при изготовлении полосы сечением 10×80 мм в кристаллизатор, рабочие поверхности которого окрашены тонким слоем раствора препарата коллоидного графита В-1 в спирте (1:3 по объему). Толщина слоя такой краски незначительна и выполняет преимущественно роль разделителя, препятствовавшего прилипанию металла к рабочим поверхностям кристаллизатора. Расход воды на охлаждение элементов кристаллизатора устанавливали в пределах 40—50 л/мин для формообразующего колеса и 100—120 л/мин для рабочей ленты.

Расплав заливали при температуре 480°C. Литье начинали при скорости 0,5 м/с, а затем постепенно увеличивали. Скорость литья цинковой полосы лимитируется пластичностью металла при выходе из кристаллизатора. По литературным данным, цинк пластичен при 100—260°C. По этой причине при литье со скоростью 0,5—2,0 м/мин получить отливку без трещин практически не удастся, так как на выходе из кристаллизатора температура поверхности отливки на оси симметрии полосы находится ниже 110—120°C. При литье со скоростью 2—3 м/мин отмечаются единичные трещины на кромках отливки (температура поверхности полосы при съеме на оси симметрии составляет 130—180°C), при литье со скоростью 3,2—4,3 м/мин в отливке трещины не наблюдаются, а температура ее поверхности на выходе из кристаллизатора составляет 200—240°C. При скорости выше 4,3 м/мин в центральной части полосы возникают трещины.

Таким образом, за оптимальную скорость литья полосы толщиной 10 мм принято 3,7 м/мин, при которой температура полосы на выходе из кристаллизатора составляет 220—230°C.

Результаты испытаний цинковых анодов на БМЗ

Полученные непрерывным литьем полосы разрезали на куски длиной 500 мм. Изготовленные таким образом аноды испытывались на БМЗ в ваннах цинкования установки латунирования металлокорда. Было установлено, что опытные аноды в ваннах цинкования вырабатываются неравномерно. Часть анодов пассивируется в процессе работы и в дальнейшем не растворяется. Средняя выработка опытных анодов составила 74% по сравнению с 75—80% стандартных анодов, изготовленных из цинкового проката. Качество латунированной заготовки, полученной с использованием опытных анодов, не уступает требованиям технических условий. На БМЗ проводили также испытания отлитых в кокиль анодов, которые показали выработку 46—60%. Следует отметить, что аналогичные испытания опытных партий цинковых анодов, изготовленных литьем в кокиль с последующей горячей прокаткой с обжатием 30%, показали среднюю выработку 79% по сравнению с 75—80% на стандартных анодах и рекомендованы для промышленного использования.

Таким образом, аноды, изготовленные непосредственно из непрерывнолитой полосы, не могут использоваться на гальваническом производстве БМЗ. Для обеспечения требований БМЗ заготовку, полученную непрерывным литьем, как и отлитую в кокиль, необходимо подвергать горячей прокатке с обжатием около 30%, т. е. толщина литой заготовки должна составлять 14—15 мм. Получить отливку такой толщины на кристаллизаторе с колесом диаметром 540 мм не представляется возможным из-за проблем, возникающих при ее выпрямлении на выходе из кристаллизатора. Для определения необходимого диаметра колеса были проведены численные эксперименты по программе "Полоса II". Расчеты выполняли при интенсивностях теплообмена, найденных в результате параметрической идентификации непрерывного литья полос толщиной 10 мм в роторный кристаллизатор с колесом диаметром 540 мм [3]. Результаты расчетов по определению диаметра колеса кристаллизатора D_k для толщины отливок 10—20 мм проведены при условии, что их температура на выходе из кристаллизатора составляет 220—240°C для $w = 3—5$ м/мин (рис. 4). Из рисунка видно, что в указанном диапазоне скоростей литья D_k может выбираться в достаточно широком пределе и полосы толщиной 15 мм могут изготавливаться на кристаллизаторе с $D_k = 700—1100$ мм.

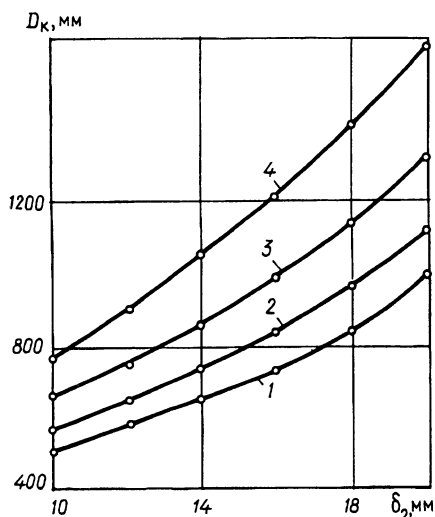


Рис. 4. Результаты численных экспериментов по определению диаметра колеса для литья цинковых полос толщиной 10–20 мм при скоростях литья: 1 — $w = 3$ м/мин; 2 — 3,5; 3 — 4; 4 — $w = 5$ м/мин

Выводы

1. В кристаллизатор типа "колесо—лента" можно изготавливать цинковые полосы толщиной 10 мм.

2. Аноды, изготовленные из непрерывнолитых полос сечением 10×80 мм, непосредственно не могут быть использованы для гальванических производств БМЗ.

3. Для получения анодов, отвечающих требованиям БМЗ, непрерывнолитые полосы толщиной 14–15 мм необходимо прокатывать в горячем состоянии толщиной 10 мм.

4. По результатам исследований определен диаметр колеса машины непрерывного литья для изготовления заготовок толщиной 14–15 мм для прокатки цинковых анодов для гальванического производства БМЗ.

Литература

1. Барановский Э. Ф., Пумпур В. А. Математическая модель и программа расчета теплообмена при непрерывном литье полосы в кристаллизатор "колесо—лента" // Литье и металлургия. 2000. № 1. С. 28–30.
2. Вейник А. И. Теория особых видов литья. М.: Машиностроение, 1958.
3. Барановский Э. Ф., Пумпур В. А. Параметрическая идентификация теплообмена непрерывного литья полос в кристаллизаторы роторного типа // Литье и металлургия. 2000. № 4. С. 21–22.



ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН БЕЛАРУСИ

предлагает:



*оборудование и технологию
для изготовления цинковых анодов литьем в кокиль,
а также методом литья в кокиль
с последующей горячей прокаткой
по ТУ РБ 700002421.0012000
на аноды цинковые толщиной 10–20 мм,
шириной 80–150 мм, длиной до 1 м.*

*Указанные аноды изготавливаются на опытном
производстве ИТМ НАН Беларуси из чушкового цинка или из
давальческого сырья заказчика.*

Контактный телефон:
(0222) 267058. Факс (0222) 326593