

Э. Ф. БАРАНОВСКИЙ, канд. техн. наук,  
В. М. ИЛЬЮШЕНКО, канд. техн. наук, Ю. В. ПЕТРУНЯ,  
В. А. ПУМПУР, канд. техн. наук (ИТМ НАН Беларуси)

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО СПОСОБА ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК ЦИНКОВЫХ АНОДОВ

В гальванических ваннах цинкования расходуемым электродом является цинковый анод. Из-за отсутствия производства цинковых анодов в республике предприятия закупают в ближнем зарубежье цинковый прокат, стоимость которого почти в 2 раза выше стоимости чушкового цинка. Такая цена обусловлена существующей технологией изготовления проката. Цинковый прокат поставляется на предприятия в виде листов размером 10×500×1000 мм, которые в дальнейшем подвергаются раскрою на аноды необходимого размера. Эта операция влечет за собой образование до 5% отходов в виде обрезки и стружки, а также требует значительных трудовых, временных и энергетических затрат. Следует заметить, что при этом годовая потребность промышленности Республики Беларусь в цинковых анодах составляет около 600 т в год.

Стоимость цинковых анодов, а также затраты, связанные с их изготовлением, могут быть значительно снижены, если изготавливать их с использованием более производительного и ресурсосберегающего технологического процесса. Актуальной является задача по разработке такого технологического процесса и оборудования, конечным продуктом которого будет готовое к употреблению, не требующее дополнительных механических обработок изделие. С целью выбора наиболее эффективного способа литья для получения цинковых анодов проведены патентные исследования и анализ дешевых и производительных способов.

Наиболее широкое распространение получил способ литья слитков в изложницы, или наполнительное литье. Большую часть слитков массой 25–40 кг в настоящее время получают в горизонтальных изложницах чугунных и водоохлаждаемых с медной рубашкой. Пос-

ле заливки металла в изложницы с поверхности его снимают оксидную пленку. Удаляют слитки из изложниц вручную. Размер слитка: толщина 20–25 мм, ширина 240–400 и длина 500–600 мм. Масса – не более 40 кг.

Данный способ литья с применением тяжелого ручного труда примитивен и имеет очень много технологических недостатков. Для паполнительного литья показатель выхода годного, т. е. отношение массы годных заготовок к массе залитого металла, не превышает 80%. Главная причина этого заключается в том, что у каждого слитка срезают головную часть с усадочной раковинной, а иногда и донную часть, пораженную захваченными оксидными пленками и воздушными пузырями. Нередко приходится обрабатывать боковую поверхность слитков для улучшения ее качества. Полученную таким способом плиту затем нагревают и подвергают горячей прокатке за несколько проходов до толщины 10–12 мм. В этом случае прокат превышает стоимость чушкового цинка в 1,5–1,6 раза.

Цинк также отливают в массивные вертикальные наклоняющиеся чугунные и водоохлаждаемые изложницы с медной рубашкой. Изложницы устанавливают на круглом столе или в ряд под углом 5° к вертикали, затем под углом 15°. Такое положение способствует устранению усадочных раковин и пустот при кристаллизации металла. После затвердевания металла изложницу открывают и извлекают слиток. Далее слиток поступает к ножницам, на которых обрезают прибыльную часть, при температуре не ниже 120 °С. Масса прибыльной части составляет 57% массы слитка. Данным способом литья получают цилиндрические слитки диаметром от 50 до 300–400 мм и высотой 500–1500 мм, а также плоские слитки толщиной 50–100 мм, шириной 300–500 и высотой 500–1000 мм.

Такой способ литья требует от литейщика необходимых знаний и опыта. Сложность конструкции вертикальной изложницы и особенно большое количество отходов увеличивают стоимость слитков и прокатных полуфабрикатов.

Известен способ получения заготовок цинковых анодов литьем в кокиль. В ГНУ «Институт технологии металлов» Национальной академии наук Беларуси разработаны технология и оборудование для изготовления заготовок цинковых анодов литьем в кокиль (рис. 1)

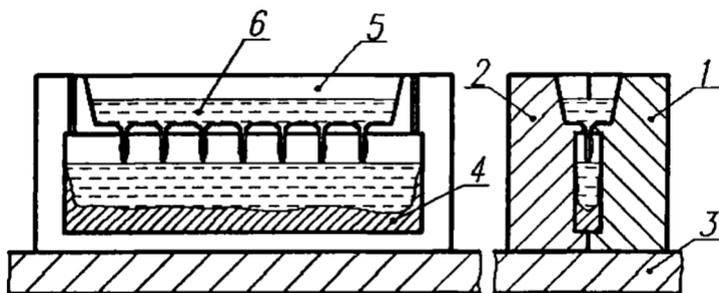


Рис. 1. Схема получения заготовок цинковых анодов литьем в кокиль: 1 – полуформа подвижная; 2 – полуформа неподвижная; 3 – плита; 4 – отливка; 5 – литниковая система; 6 – жидкий металл

[1, 2]. Была принята схема литья в раздвижной кокиль, состоящий из двух чугунных полуформ, подвижной 1 и неподвижной 2, расположенных на массивной плите 3. Заливка вертикально расположенной в кокиле отливки 4 производится через литниковую систему дождевого типа 5. Полученную таким образом заготовку подвергают горячей прокатке за один проход с обжатием 30%.

Такая технология обеспечивает получение анодов с высокими потребительскими свойствами, однако характеризуется большими трудовыми затратами и низкой производительностью. Выход годного литья из-за наличия большого объема литниковой чаши составляет всего 50%.

Предпринимались попытки получения заготовок цинковых анодов под прокатку горизонтальным непрерывно-шаговым литьем [3, 4]. Отличительной особенностью данного способа литья является использование металлического водоохлаждаемого кристаллизатора, длина которого составляет 1,4–2 длины отливаемой заготовки. Слиток из этого кристаллизатора извлекается с шагом, соответствующим длине заготовки под прокатку. Например, для анодов длиной 500 мм длина заготовки составляет 360 мм. Полученный таким способом слиток толщиной 17 мм разрубается на заготовки в местах отсечки и подвергается прокатке с обжатием 30%.

Однако для этого способа литья при такой длине кристаллизатора характерна различная интенсивность теплообмена на контактных поверхностях нижней и верхней полуформ (рис. 2).

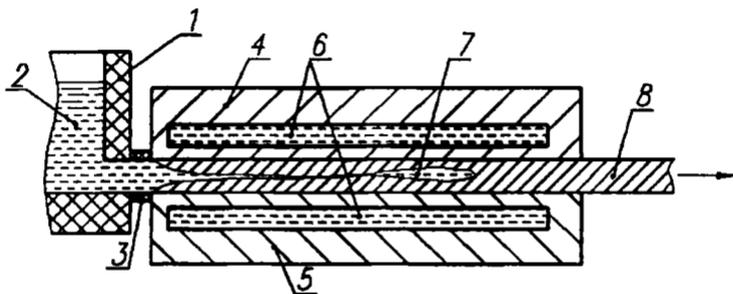


Рис. 2. Схема формирования отливки при горизонтальном непрерывно-шаговом литье: 1 – металлоприемник; 2 – расплав; 3 – соединительный стакан; 4 – полуформа верхняя; 5 – полуформа нижняя; 6 – водяное охлаждение; 7 – незатвердевший металл; 8 – отливка

На нижней полуформе 5 под действием силы тяжести формирующаяся отливка 8 плотно соприкасается с рабочей поверхностью кристаллизатора и теплопередача в этом направлении осуществляется наиболее интенсивно. К верхней полуформе 4 под действием металлостатического давления расплав вначале прилегает к поверхности кристаллизатора также плотно. Однако, как только возникает достаточно прочная корка металла в центральной части и ближе к выходу из кристаллизатора, металлостатическое давление перестает действовать. Происходят усадочные явления в отливке, которые приводят к образованию воздушного зазора, в результате чего теплопередача от верхней поверхности отливки сильно снижается. Это все усугубляется тем обстоятельством, что для лучшего извлечения отливки из кристаллизатора в нем предусмотрена небольшая конусность. В результате этого в центральной части, где образуется достаточно большой воздушный зазор между отливкой и кристаллизатором, остается значительное количество незатвердевшего расплава 7, а на конце отливки, расположенной ближе к питателю, где ее контакт с кристаллизатором значительно лучше и зазор меньше, происходит почти полное затвердевание поперечного сечения заготовки. При таких условиях отливка формируется при значительном дефиците питания, что приводит к образованию усадочных раковин и пор в ее центральной части.

Существенное снижение стоимости цинковых анодов можно получить, если полосу изготавливать из чушкового цинка непрерывным литьем на установках с роторным кристаллизатором типа колесо – лента.

Колесо и лента образуют ручей кристаллизатора, в котором происходят 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.

Для изучения возможности использования на РУП «БМЗ» анодов, изготовленных непрерывным литьем, в ГНУ «ИТМ НАН Беларуси» была разработана опытная установка непрерывного литья цинковых полос в кристаллизатор, состоящий из водоохлаждаемой стальной ленты и алюминиевого колеса диаметром 540 мм (рис. 3) [5, 6].

Полученные непрерывным литьем полосы разрезали на куски длиной 500 мм. Изготовлен-

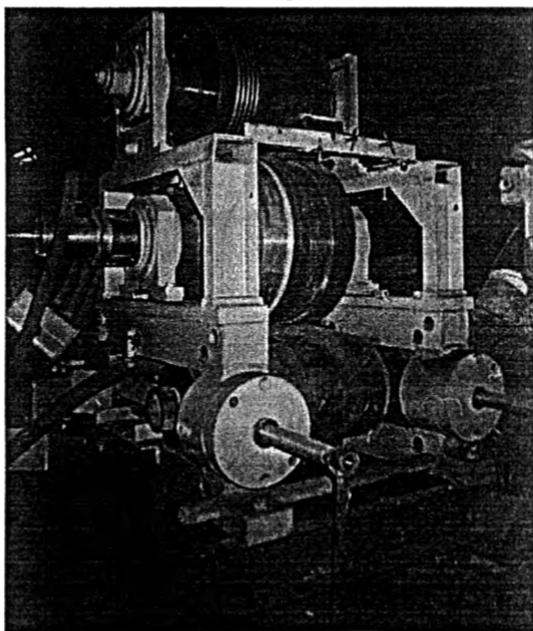


Рис. 3. Экспериментальная установка непрерывного литья в кристаллизатор типа колесо – лента

ные таким образом аноды испытывались на РУП «БМЗ» в ваннах цинкования установки латунирования металлокорда. Было определено, 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.

Таким образом, аноды, изготовленные непосредственно из непрерывной полосы, не могут использоваться на гальваническом производстве РУП «БМЗ». Для обеспечения требований РУП «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 15–17 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 с использованием разработанного программного обеспечения.

Теоретические расчеты показали, что для получения качественной отливки толщиной 17 мм необходимо увеличить диаметр формообразующего колеса до 1,2 м. Это приведет к существенному увеличению габаритов установки и как следствие к большим затратам на ее изготовление. Кроме того, установки такого типа обладают очень большой производительностью. Бесперебойная работа такой установки также требует дорогого плавильного агрегата большой емкости. Такая установка при нынешнем спросе на цинковые аноды в Республике Беларусь будет не рентабельна.

Таким образом, существующие технологии изготовления цинковых анодов являются либо сложными и высоко затратными, требующими вложения больших капитальных затрат на создание производства и оборудования, либо низко производительными, требующими больших трудовых затрат на изготовление продукции. Решением данной проблемы может быть создание нового простого и дешевого тех-

нологического процесса и оборудования, способного удовлетворить потребности предприятий Республики Беларусь в цинковых анодах.

Одним из наиболее высокопроизводительных способов получения плоской отливки является литье полосы между бесконечными лентами. Метод реализован в 50-х годах XX в. в США К. В. Хазелеттом. Установки «Hazelett» нашли промышленное применение для непрерывного литья листовых заготовок из цветных металлов в ленточных кристаллизаторах. Аналогичные установкам «Hazelett» установки «Hunter Engineering» применяются для непрерывного литья алюминиевой ленты.

На установках с двумя бесконечными лентами получают полосу толщиной 12,7–25,4 мм, шириной до 1000 мм. Но при этом для устранения дефектов, которые возникают в процессе литья, необходима горячая прокатка. К таким дефектам относятся неодинаковая толщина отливки, неоднородная структура и пористость. Основной причиной возникновения этих дефектов является коробление рабочих лент в процессе литья. Способ нашел применение на заводах с большим объемом выпуска проката из-за громоздкости плавильных печей, литейного агрегата и расположенных за ним станков горячей прокатки.

В ГНУ «ИТМ НАН Беларуси» проводятся исследования возможности использования усовершенствованного способа литья между двумя металлическими лентами для получения заготовок цинковых анодов (рис. 4). Сущность способа состоит в том, что жидкий металл 7 подается в полость между двумя водоохлаждаемыми рабочими металлическими лентами 1 и 2 толщиной 1,5 мм, натянутыми на нескольких приводных, опорных и натяжных роликах. Но толщину получаемой заготовки 9 определяет глубина специально выполненной в барабане 3 проточки 4, а ширина заготовки определяется шириной проточки. Для отвода тепла предусматривается мощное водяное охлаждение 10. В результате формирование отливки происходит в основном на участке от точки заливки расплава до той точки, где отливка выходит за пределы боковых реборд.

Очевидно, что данный способ литья является наиболее простым и дешевым, т. е. ресурсосберегающим способом получения заготовок цинковых анодов, характеризуется высокой производительностью.

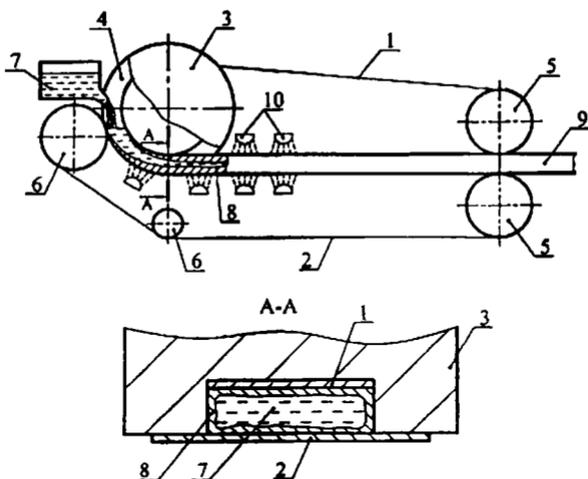


Рис. 4. Схема установки непрерывного литья полос: 1, 2 – лента; 3 – барабан; 4 – проточка; 5 – ролик приводной; 6 – ролик натяжной; 7 – расплав; 8 – начальная корка; 9 – отливка; 10 – водяное охлаждение

В дальнейшем с целью получения заготовок цинковых анодов необходимо решить следующие основные задачи:

разработать математическую модель формирования отливки в кристаллизаторе и в зоне вторичного охлаждения и выполнить экспериментально-теоретические исследования по определению параметров теплообмена;

исследовать основные закономерности затвердевания заготовки цинкового анода;

разработать схему технологического процесса литья полосы из цинка в кристаллизатор, состоящий из барабана и двух бесконечных лент;

изучить температурный режим кристаллизатора и разработать методику определения параметров его охлаждения;

изучить температурный режим извлеченной из кристаллизатора полосы и определить режим ее охлаждения;

установить технологические параметры режимов литья и определить основные параметры оборудования для литья цинковой полосы;

обеспечить внедрение технологии и оборудования в производство.

В настоящее время в ГНУ «ИТМ НАН Беларуси» осуществляется решение указанных задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барановский Э. Ф., Ильюшенко В. М., Короткин Г. П. Изготовление цинковых анодов литьем в кокиль // *Литье и металлургия*. – 2000. – № 4. – С. 19–20.
2. Марукович Е. И., Барановский Э. Ф., Ильюшенко В. М., Короткин Г. П. Изготовление цинковых анодов на опытном производстве ИТМ НАН Беларуси // *Литье и металлургия*. – 2005. – № 2. – С. 159–161.
3. Барановский Э. Ф., Ильюшенко В. М., Петруня Ю. В., Пумпур В. А. Установка горизонтального непрерывно-шагового литья // *Литье и металлургия*. – 2003. – № 3. – С. 73–74.
4. Барановский Э. Ф., Ильюшенко В. М., Пумпур В. А., Петруня Ю. В. Численные исследования формирования цинковой полосы при горизонтальном непрерывно – шаговом литье // *Литье и металлургия*. – 2003. – № 1. – С. 106–109.
5. 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.
6. Барановский Э. Ф., Ильюшенко В. М., Пумпур В. А. и др. Разработка непрерывного литья в роторный кристаллизатор цинковой полосы для изготовления анодов // *Литье и металлургия*. – 2001. – № 2. – С. 44–48.

УДК 621.785

В. А. СТЕФАНОВИЧ, канд. техн. наук, С. В. БОРИСОВ (БНТУ),  
Е. С. СЕРЕГИНА (БМЗ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МНОГОКОМПОНЕНТНОГО НАСЫЩЕНИЯ УГЛЕРОДОМ И МЕТАЛЛАМИ СТАЛИ 45

Целью настоящей работы является получение диффузионных слоев высокой твердости в системе легирующий элемент – углерод, структура которых представляет вкрапления твердых включений карбидов, интерметаллидов в мартенситной матрице (принцип Шарпи). При этом предполагается получение диффузионных слоев значительной толщины, что позволит проводить шлифование изделий в окончательный размер после их термической обработки. Исследование проводили в порошковых смесях с определенным соотношением хромирующего и цементирующего карбюризатора. Разработанные смеси для комплексной химико-термической обработки можно будет использовать для упрочнения пуансонов с толщиной рабочей части 1–5 мм. При этом поверхностный слой будет обладать высо-