



*The analysis of continuous horizontal casting of the zinc anodes slugs is carried out on the basis of numerical modeling and experimental investigations. The possibility of production of the zinc hot-rolled anodes slugs by means of continuous casting in graphite catalyzer is shown.*

Е. И. МАРУКОВИЧ, А. М. БРАНОВИЦКИЙ, В. А. ДЕМЕНТЬЕВ,  
ИТМ НАН Беларуси

УДК 621.74.047

## АНАЛИЗ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ЦИНКОВЫХ АНОДОВ

В настоящее время цинковые аноды получают методом литья в кокиль [1, 2]. Этому способу присущи такие недостатки, как низкий уровень автоматизации и небольшая производительность. Поэтому актуальным является разработка новых способов получения цинковых анодов [3, 4].

Цель настоящей работы — исследовать возможность получения анодов методом непрерывного горизонтального литья в графитовый кристаллизатор.

Схема процесса литья показана на рис. 1, верхняя и нижняя пластины кристаллизатора охлаждаются водой, боковые — воздухом.

Высота заготовки равна 15 мм, ширина — 100 мм, толщина графитовых пластин — 25 мм. Протяженность охлаждаемой зоны кристаллизатора равна 160 мм, неохлаждаемой — 80 мм. Температура заливки металла — 520°C.

Для анализа тепловых условий формирования слитка использовали математическую модель [5,

6], уравнение теплопроводности решали методом конечных разностей с использованием неявной разностной схемы. Исследовали температурное поле отливки и графитовых пластин кристаллизатора в зависимости от технологических параметров процесса литья. Эксперименты проводили с целью получения образцов заготовок и уточнения значений коэффициентов теплоотдачи на границах отливка—кристаллизатор.

Для определения коэффициентов теплоотдачи использовали алгоритм, аналогичный [7]. Для границы отливка—графит в зоне плотного контакта коэффициенты теплоотдачи составляли 12000 Вт/(м<sup>2</sup>·град), при наличии зазора — 2000 Вт/(м<sup>2</sup>·град). В промежуточных точках они рассчитывались на основе линейной интерполяции. Коэффициенты теплоотдачи на боковых поверхностях без водяного охлаждения и в зоне вторичного охлаждения воздухом равны 100 Вт/(м<sup>2</sup>·град). Значение коэффициента теплоотдачи на границе вода—кристаллизатор выбирали равным 17500 Вт/(м<sup>2</sup>·град).

На рис. 2 показано расположение изотерм в продольном сечении графитовых пластин и слитка в конце цикла остановки для квазистационарного режима литья. Приведены изотермы для различных частот с шагом вытяжки 30 мм. Как видно из рисунка, длина лунки в зависимости от частоты вытяжки изменяется от 80 до 170 мм, причем лунка заходит в неохлаждаемую часть кристаллизатора (в область футеровки металлоприемника) на расстояние 15–20 мм. При уменьшении частоты вытяжки

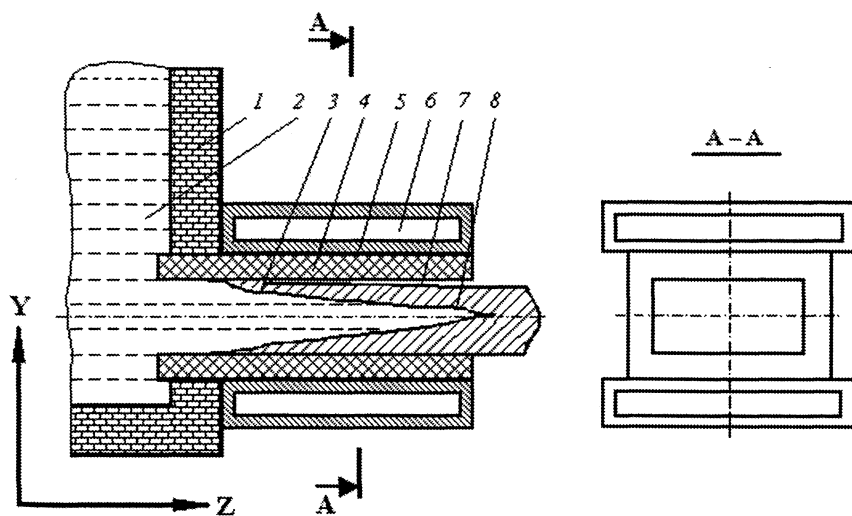


Рис. 1. Схема процесса непрерывного горизонтального литья: 1 — металлоприемник; 2 — жидкий металл; 3 — начальная корка; 4 — графитовая вставка; 5 — стальной корпус; 6 — вода; 7 — зазор между отливкой и кристаллизатором; 8 — затвердевающая непрерывная отливка

ниже 0,1 Гц лунка слитка формируется в неохлаждаемой части кристаллизатора и возможно перемерзание входного отверстия кристаллизатора, наоборот, при частоте выше 0,22 Гц лунка выходит за пределы кристаллизатора и возможно прекращение процесса литья из-за проплавления или размыва корки. Изменение температуры поверхности слитка по длине для различных частот вытяжки показано на рис. 3. Здесь следует отметить незначительное различие между температурами поверхности верха и низа слитка. При частоте вытяжки 0,22 Гц разница между температурами максимальна и не превышает 40 градусов. При уменьшении частоты вытяжки данная величина снижается и при частоте вытяжки 0,1 Гц температуры верхней и нижней поверхностей слитка практически не различаются. Изменение плотности теплового потока на поверхности слитка по длине показано на рис. 4. Так, тепловой поток снижается с уменьшением частоты вытяжки. Наибольшая разница наблюдается на выходе слитка из кристаллизатора. На рис. 5 показана зависимость температуры графитовых пластин кристаллизатора от времени для частоты вытяжки 0,17 Гц на расстоянии 30, 120 и 200 мм от начала кристаллизатора. В неохлаждаемой зоне кристаллизатора температуры рабочей и наружной поверхностей нижней и верхней пластин кристаллизатора не различаются. Температуры водоохлаждаемых поверхностей графитовых пластин практически не изменяются со временем. В неохлаждаемой части и средней зоне кристаллизатора изменение температуры рабочей поверхности кристаллизатора не превышает 10 градусов. На выходе из кристаллизатора изменение температуры рабочей поверхности равно 42 и 25 градусов соответственно для нижней и верхней пластин. Для частот вытяжки 0,1 и 0,22 Гц наблюдается меньшее изменение температуры поверхностей графитовых пластин со временем по сравнению с рассмотренной скоростью литья.

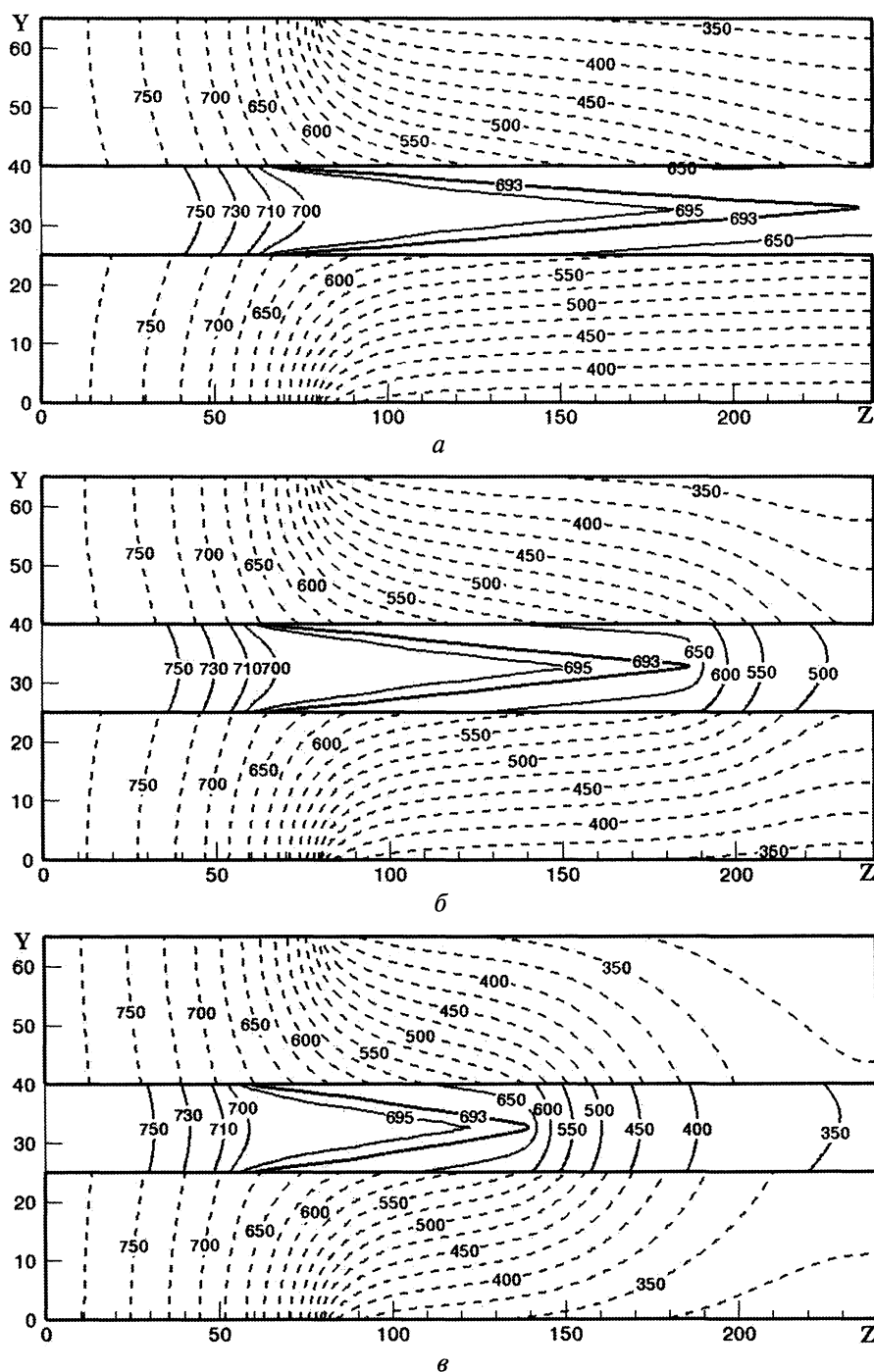


Рис. 2. Расположение изотерм в конце цикла остановки в продольном сечении графитовых пластин и слитка при шаге вытяжки, равном 30 мм: а -  $f=0,22$  Гц; б - 0,17; в - 0,1 Гц

Проводили эксперименты на УНГЛ по литью цинковой полосы. Металлоприемник перед заливкой предварительно прогревали газовой горелкой до 600–700 °С. Для предотвращения замерзания металла на графитовых пластинах использовали стаканчик из материала с низкой теплопроводностью (маринита или асбоцементной плиты) толщиной 20 мм.

Время выдержки стационара составляло 8 с, после чего делали большой первый рывок с шагом 100 мм, чтобы извлечь затравку из кристаллизатора, длина затравки 140 мм. Далее отливку цикли-

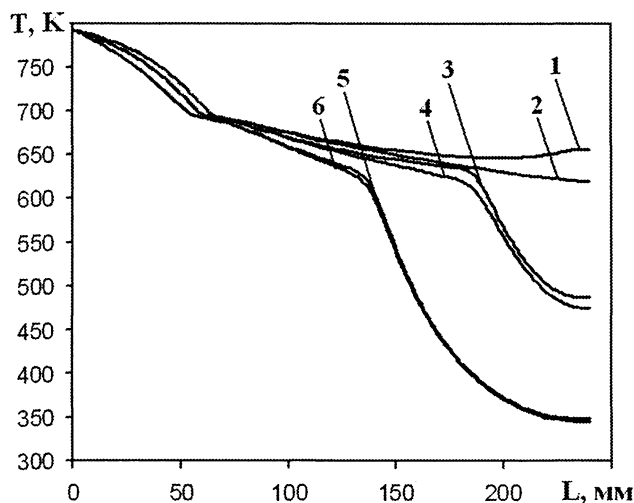


Рис. 3. Изменение температуры поверхности слитка по длине: 1, 3, 5 – верх слитка (при частоте соответственно  $f=0,22$  Гц; 0,17; 0,1 Гц); 2, 4, 6 – низ

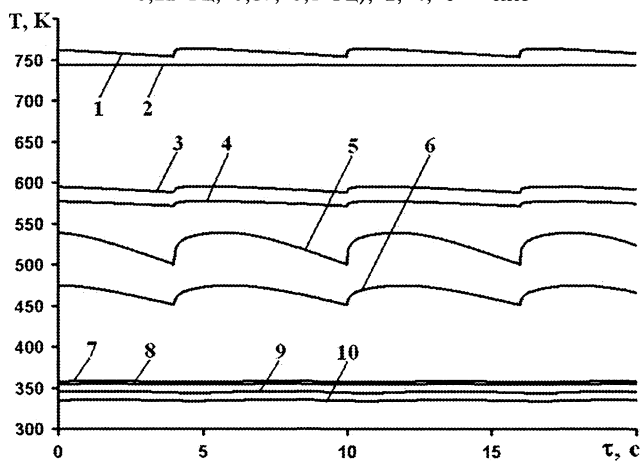


Рис. 5. Зависимость температуры графитовых пластин кристаллизатора от времени: 1, 2 – температура соответственно рабочей и наружной поверхностей графитовых пластин (на расстоянии 30 мм от начала кристаллизатора); 3–6 – температура рабочей поверхности; 7, 8 – температура водоохлаждаемой поверхности соответственно для нижней и верхней пластин (120 мм от начала кристаллизатора); 9, 10 – температура водоохлаждаемой поверхности соответственно для нижней и верхней пластин (200 мм от начала кристаллизатора)

чески (движение – остановка) вытягивали с более малым шагом вытяжки, изменяя скорость литья от 0,2 до 0,4 м/мин. В процессе проведенных экспериментов шаг вытяжки варьировался от 30 до 90 мм. При данных режимах процесс литья происходил устойчиво. Для получения качественных заготовок цинковых анодов очень важно контролировать температуру поверхности слитка на выходе из кристаллизатора. Как показывает практика, эта температура не должна превышать 360 °С, иначе наблюдается резкий рост глубины отсечки на поверхности заготовки. Для измерения температуры поверхности отливки на выходе из кристаллизатора использовали контактные термопары.

Полученные образцы подвергали прокатке 30% с предварительным нагревом до 200 °С. В ряде случаев при прокатке происходило образование трещин по местам спаев отливки (рис. 6, а). Наилучшие результаты были получены при скоро-

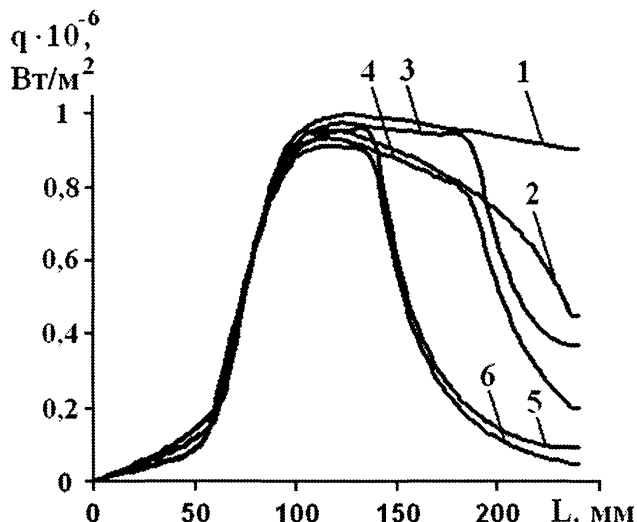


Рис. 4. Изменение плотности теплового потока на поверхности слитка по длине: 1, 3, 5 – низ слитка (при частоте соответственно  $f=0,22$ ; 0,17; 0,1 Гц); 2, 4, 6 – верх

сти литья 0,4 м/мин с шагом вытяжки 40–50 мм (рис. 6, б). Образование трещин, по-видимому, происходит по причине неравномерного отвода тепла от верхней и нижней граней отливки в процессе литья. Для получения более равномерного отвода тепла от отливки была опробована схема, в которой пластины кристаллизатора повернули на 90°. При этом наблюдалось улучшение качества прокатанной заготовки (рис. 6, в).

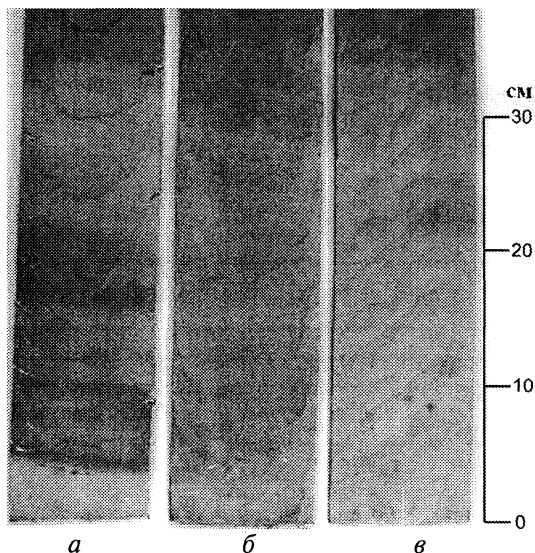


Рис. 6. Образцы слитков после прокатки 30%: а, б – слиток при горизонтальном расположении кристаллизатора; в – слиток при вертикальном расположении кристаллизатора

Таким образом, проведенные теоретико-экспериментальные исследования позволяют сделать вывод о возможности использования процесса непрерывного горизонтального литья в графитовый кристаллизатор для получения заготовок цинковых анодов. Однако требуются проведение дополнительных исследований для определения режимов литья, обеспечивающих стабильное качество анодов, и апробация полученной продукции в заводских условиях.

**Литература**

1. Барановский Э.Ф., Пумпур В.А., Короткин Г.П., Петруня Ю.В. Оптимизация параметров литья в кокиль заготовок для прокатки цинковых анодов // Литье и металлургия. 2003. № 1. С. 110–112.
2. Анисович А. Г., Румянцева И. Н., Барановский Э. Ф., Короткин Г. П. Влияние способа литья на структуру и физические свойства растворимых цинковых анодов // Литье и металлургия. 2001. № 2. С. 72–75.
3. Барановский Э.Ф., Пумпур В.А., Ильюшенко В.М., Петруня Ю.В. Исследование условий охлаждения при горизонтальном непрерывно-шаговом литье цинковой полосы // Металлургия. 2003. №27. С. 58–61.
4. Марукович Е.И., Пумпур В.А., Петруня Ю.В. Параметрическая идентификация теплообмена при горизонтальном непрерывно-шаговом литье цинковой полосы // Литье и металлургия. 2004. № 2. С. 40–42.
5. Marukovich E.I., Branovitsky A.M. Three-dimensional thermal model of solidification of continuous casted rectangular billets // The 4-rd International Conference Simulation, Designing and Control of Foundry Processes 25–26 November 1999, Krakow, Poland.
6. Марукович Е. И., Брановицкий А.М. Трехмерная тепловая модель процесса непрерывного литья прямоугольных биметаллических заготовок // Докл. НАН Беларуси. 2001. Т. 45. №2. С. 127–132.
7. Брановицкий А.М., Станюленис Ю.Л., Лебединский Ю.А. Уточнение коэффициентов теплопередачи для решения задачи затвердевания цилиндрических непрерывнолитых заготовок с использованием экспериментальных температурных данных кристаллизатора в установившемся режиме литья // Литье и металлургия. 2005. №1. С. 91–93.