



The mathematical description of heat exchange in a roll of the mould for battery greed continuous casting is proposed. The roll's cooling parameters minimizing non-uniformity of its profile are determined.

Э. Ф. БАРАНОВСКИЙ, В. М. ИЛЮШЕНКО, В. А. ПУМПУР,
А. И. КАЛЕНТИОНОК, ИТМ НАН Беларуси

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ФОРМООБРАЗУЮЩЕГО ВАЛКА МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ АККУМУЛЯТОРНОЙ РЕШЕТКИ

УДК 669.18.046

Кристаллизатор для литья аккумуляторной решетки состоит из двух элементов (рис. 1, а): формообразующего валка и башмака-питателя. В процессе литья между ними необходимо обеспечивать сопрягаемость контактирующих поверхностей, в первую очередь в зоне литникового паза. Если плотный контакт не обеспечен перед началом или в процессе литья, то возникает опасность затекания расплава в неплотности контактных зон и затвердевания в них. Это неизбежно должно привести либо к получению решетки с обломом (тонкой металлической пленки в ячейках решетки), либо к нарушению процесса литья. Если заполнение ячеек полное, то дефект называют "слепота", а если частичное — то "заснеженность".

Когда зазор достаточно велик (100 мкм и более), происходит нарушение литья из-за отжима затвердевшим металлом башмака от поверхности валка.

Для устранения зазоров между элементами кристаллизатора нагретый до температуры 200—250°C башмак притирают с порошком к поверхности валка. Однако экспериментально установлено, что точная подгонка сопрягаемых деталей кристаллизатора может обеспечить плотный контакт между ними только в начальный период процесса литья. По мере разогрева валка при одинаковых условиях его охлаждения изнутри водой происходит неодинаковое изменение его диаметра D , в центре и на краях. Оно вызвано неодинаковым нагревом валка в зоне формирования отливки и за ее пределами, а также перетоком тепла вдоль образующей чугуна валка.

Цель настоящего исследования состояла в разработке таких условий охлаждения внутренней поверхности валка, при которых обеспечивается практически одинаковая температура по его образующей перед входом в зону формирования отливки по всей ширине его контактной зоны с башмаком.

Для решения поставленной задачи разработана методика расчета температурного поля формообразующего валка, позволяющая определить влияние изменений условий охлаждения его внутренней поверхности на формирование температурного поля и геометрического профиля валка. При разработке математической модели теплообмена будем исходить из того, что высокие скорости вращения формообразующего валка позволяют пренебречь передачей тепла по координате φ (рис. 1, а) и принять, что тепло передается от наружной поверхности барабана вдоль радиуса и вдоль образующей от центра к краям. Расчетная схема для двумерной тепловой задачи приведена на рис. 1, б. На поверхности контакта барабана и отливки приняты граничные условия второго рода с равномерным тепловым потоком на всем участке протяженностью φ . На внутренней поверхности барабана приняты граничные условия третьего

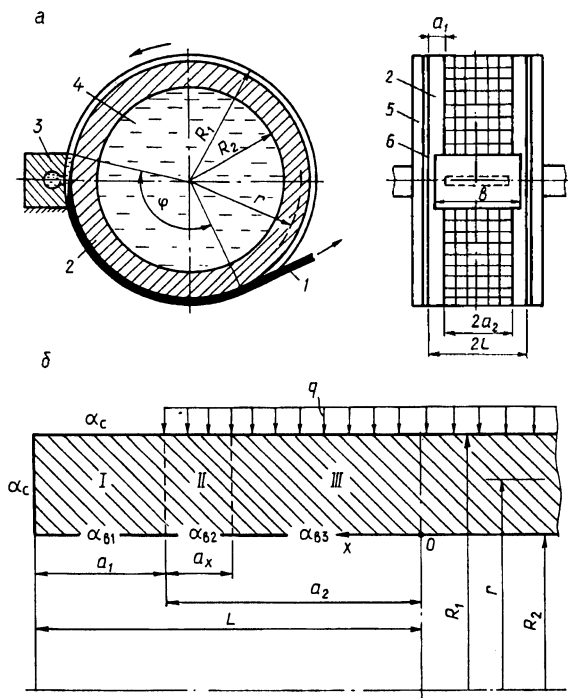


Рис. 1. Схема к расчету температурного поля формообразующего валка при неравных условиях теплообмена на его водоохлаждаемой поверхности: а — схема литья решетчатой ленты (1 — отливка; 2 — формообразующий валок; 3 — башмак; 4 — вода; 5 — крышка; б — прокладка); б — схема теплообмена валка с отливкой водой и воздухом: I, II, III — зоны

рода с различными для каждой из трех зон коэффициентами контактного теплообмена вала с водой (рис. 1, б). На внешней поверхности вала вне зоны контакта с отливкой приняты граничные условия третьего рода с окружающей средой.

Для принятых условий математическая модель теплообмена имеет следующий вид:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right), \quad (1)$$

$$\text{при } \tau = 0 \quad T = T_0, \quad (2)$$

$$\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R_2} = \lambda_{в1} (T - T_{в1}) \Big|_{r=R_2}, \quad (3)$$

$$\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R_1} = \alpha_c (T - T_c) \Big|_{r=R_1} \text{ при } \lambda \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R_1} = q, \quad (4)$$

$$\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L} = \alpha_c (T - T_c) \Big|_{x=L}, \quad \lambda \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{x=L} = 0, \quad (5)$$

где λ , ρ , c — соответственно теплопроводность, плотность и теплоемкость материала вала; T — температурное поле вала; T_0 — начальная температура вала; $T_{в1}$, T_c — соответственно температуры воды и воздуха; q — тепловой поток от отливки к валу в зоне их контакта; R_1 и R_2 — внутренний и внешний радиусы вала; $\alpha_{в1}$, α_c — соответственно коэффициенты теплообмена внутренней и внешней поверхностей вала с водой и воздухом; L — половина ширины вала.

Численная реализация двумерной математической модели (1)–(5) осуществлена методом конечных разностей в рабочей программе "VALOK".

Программа предназначена для расчета температурных полей в формообразующем валке при непрерывном литье аккумуляторной решетки. Расчет ведется по зонам (рис. 1, б) с возможностью выделения из зоны формирования отливки участка a_x .

С целью определения рациональных режимов охлаждения формообразующего вала были проведены численные эксперименты по программе "VALOK" для чугунной формы диаметром 410 мм, шириной 230 мм и толщиной стенки 30 мм. Постоянными были приняты: угол контакта $\varphi = 120^\circ$ (рис. 1, а); ширина ленты $2a = 150$ мм; величина $a_1 = 0,04$ м; значения a_x изменялись от 0 до 0,03 м; величины коэффициентов теплообмена $\alpha_{в1}$, $\alpha_{в2}$, $\alpha_{в3}$ подбирались таким образом, чтобы при выходе вала на установившийся тепловой режим температура в центре на его наружной поверхности к моменту входа в зону контакта с башмаком составляла около 100°C .

Для проведения расчетов величину теплового потока в зоне φ принимали одинаковой

$$q = \frac{N_{в}}{F}, \quad (6)$$

где F — площадь наружной поверхности вала в зоне затвердевания и охлаждения отливки: $F = 2\pi R_1 a \varphi / 360$; $N_{в}$ — количество тепла, которое получает барабан за единицу времени (тепловая нагрузка барабана).

Численные значения $N_{в}$ находят из теплового баланса вала с отливкой, контактирующим с ним перегретым расплавом и башмаком. Численное значение q зависит от скорости литья, температуры заливки расплава, начальной температуры вала T_0 , температуры, при которой происходит съем решетки с вала, параметров щели в башмаке и интенсивности теплообмена расплава с поверхностями кристаллизатора. Так, оценка величины q для случая литья решетчатой ленты толщиной 1,4 мм со скоростью 0,3 м/с при $T_{зат} = 420^\circ\text{C}$ дает значение $q = 200\,000$ Вт/м².

При проведении численных экспериментов изучали влияние условий теплообмена на водоохлаждаемой поверхности вала на температурное поле в поперечном сечении его стенки в момент входа в зону контакта с башмаком. Установлено, что при равномерном охлаждении внутренней поверхности вала водой с $\alpha = 2800$ Вт/(м²·град) имеет место наибольшая неравномерность темпе-

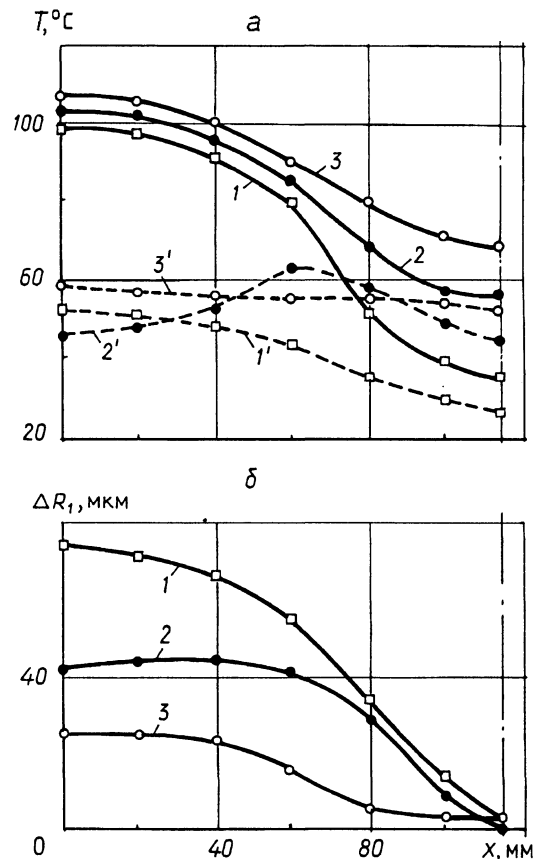


Рис. 2. Влияние условий охлаждения внутренней поверхности вала на распределение температуры в стенке вала (а) и профиль его рабочей поверхности (б): 1 — $\alpha_{в1} = \alpha_{в2} = \alpha_{в3} = 2500$ Вт/(м²·град); 2 — $a_x = 0,03$ м, $\alpha_{в1} = \alpha_{в2} = 800$ Вт/(м²·град), $\alpha_{в3} = 2800$ Вт/(м²·град); 3 — $a_x = 0,03$ м, $\alpha_{в1} = 30$ Вт/(м²·град), $\alpha_{в2} = 800$ Вт/(м²·град), $\alpha_{в3} = 3500$ Вт/(м²·град). Сплошная линия — наружная поверхность вала; штриховая линия — внутренняя поверхность вала

ратуры между центром и краем валка как на рабочей, так и на водоохлаждаемой поверхностях (рис. 2, а, кривая 1), которая достигает 60 и 30°C соответственно. В зоне a_2 (см. рис. 1, б) разность температур между краем и центром достигает на рабочей поверхности 45°C, а на водоохлаждаемой — 15°C. Следует отметить, что профиль температуры на рабочей поверхности в этом случае выпуклый (рис. 2, б, кривая 1). Снижение интенсивности охлаждения валка в зоне I до $\alpha_{1в} = 800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ приводит к некоторому уменьшению неоднородности температурного поля, характер изменения температуры на рабочей поверхности валка становится более плавным, а температура на расстоянии 40 мм от края валка на 10°C выше, чем в первом случае. При снижении интенсивности охлаждения валка в зоне II (см. рис. 1, б) наблюдается выравнивание температуры по оси x валка как на рабочей, так и на водоохлаждаемой поверхностях (рис. 2, а, кривая 2). В этом случае профиль температуры приобретает более благоприятную форму и на участке, составляющей почти 3/4 ширины отливки, изменение температуры наружной поверхности валка не превышает 10—15°C.

В том случае, когда в зоне I внутренняя поверхность валка практически теплоизолирована ($\alpha_{в1} = 30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$), наблюдается дальнейшее выравнивание температуры по оси x на наружной поверхности валка, а в зоне I температура на водоохлаждаемой поверхности приближается к температуре на его рабочей поверхности (рис. 2, а, кривые 3 и 3'). Следует отметить, что изменение скоростей вращения валка от 10 до 35 м/мин при соблюдении рассмотренных выше принципов его охлаждения не вызывает существенных различий в распределении температуры по сечению стенки вдоль оси x .

Оценка изменения размера наружного диаметра формообразующего валка проводилась по формуле работы [1] для нестационарного режима нагрева полый трубы

$$\Delta D_1 = 2\beta R_1 \left(\frac{2}{R_1^2 - R_2^2} \int_{R_2}^{R_1} Tr \, dr - T_0 \right), \quad (7)$$

где ΔD_1 — изменение наружного диаметра валка; β — коэффициент термического расширения материала; R_1 и R_2 — внутренний и наружный радиусы валка; T_0 — начальная температура валка; T и r — текущие значения температуры и радиуса.

Результаты расчетов температурных полей в стенке барабана позволяют найти значения ΔD_1 по формуле (7) для различных участков на его образующей. Так, для параметров литья и условий охлаждения, соответствующих значениям распределения температур (рис. 2, а), получены зависимости изменения профиля валка ΔH при $T_0 = 60^\circ\text{C}$ (рис. 2, б). Профиль валка 1 (рис. 2, б) следует

признать неблагоприятным, так как при контакте с башмаком зазор δ между их поверхностями может составить от 50—60 до 100—120 мкм (в случае контакта башмака только с правой или левой сторонами поверхности валка). Профиль 2 более благоприятен с точки зрения минимизации зазора между элементами кристаллизатора, величина которого у края отливки может составить до 20 мкм. Условия теплообмена, обеспечивающие формирование профиля 3 (рис. 2, а), следует признать наиболее благоприятными. Они имеют место, когда охлаждение краев барабана за пределами зоны I (см. рис. 1, б) практически отсутствует, а на участке a_x зоны II интенсивность теплообмена в 3 раза ниже, чем в зоне III. Величина δ в этом случае составит около 10 мкм. Затекание расплава в такой малый зазор практически исключено.

Результаты выполненного исследования по построению температурного и теплового профиля валка позволили сформулировать требования к конструкции системы его водяного охлаждения (рис. 3). Теплоизоляционное кольцо 10 шириной $a_1 = 30 \text{ мм}$ из пористой резины, установленное в обойме 11, позволяет свести к минимуму теплообмен с водой в зоне I (см. рис. 1, б). Конструкция охладителя 4 (рис. 3) обеспечивает различную интенсивность теплообмена в зонах II и III валка

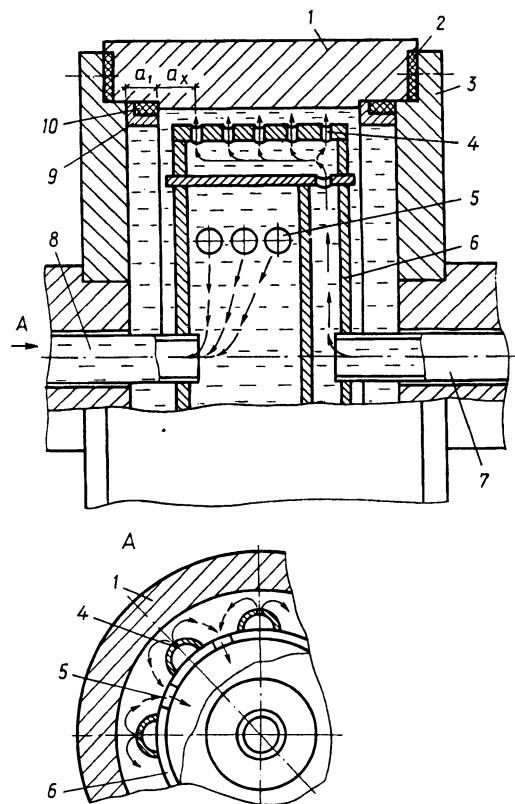


Рис. 3. Схема системы охлаждения формообразующего валка с оптимизированными параметрами теплообмена на внутренней поверхности: 1 — корпус валка; 2 — прокладка; 3 — крышка; 4 — выпускные отверстия; 5 — водосборные отверстия; 6 — охладитель; 7, 8 — подводящие и отводящие трубы; 9 — обойма; 10 — теплоизолятор

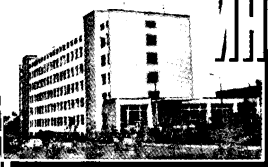
(см. рис. рис.1, б). Это достигается путем подачи воды струями из рабочих отверстий 4 и возвратом подогретой воды в охлаждающий барабан через сливные отверстия 5, расположенные в центральной части охладителя. В зоне $a_x = 40$ мм принудительное движение воды практически отсутствует. В таких условиях интенсивность теплообмена в этой зоне будет в 4,5 раза ниже, чем в зоне III.

По результатам проведенного исследования спроектирована система охлаждения формобра-

зующего вала машины непрерывного литья аккумуляторной решетки, применение которой обеспечило устойчивое изготовление решетчатой ленты из свинцово-сурьмянистых сплавов без дефектов "слепоты" и "заснеженности".

Литература

1. Дилигенский Н. В. Асимптотические расчеты тепловых режимов технологических процессов механической обработки металлов и сварки: Автореф. дис. ... д-р техн. наук. Киев, 1975.



ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН БЕЛАРУСИ

--- МОЖЕТ ИЗГОТОВИТЬ: ---



**методом непрерывного литья
высокоточные аккумуляторные решетки
толщиной 1,4 и 1,8 мм из свинцовых сплавов
для производства и ремонта
стартерных аккумуляторных батарей
типа 6СТ-50ЭМ, 6СТ-55ЭМ, 6СТ-60ЭМ,
6СТ-75ЭМ, 6СТ-90ЭМ, 6СТ-132ЭМ,
6СТ-182ЭМ.**

*Решетки изготавливаем
из материала заказчика или изготовителя.
Сроки выполнения заказов минимальные,
цены умеренные.*

212030, г. Могилев, ул. Бялыницкого-Бирули, 11.
тел. (0222) 26-70-58, факс (0222) 32-65-93.