



The heating peculiarities of forming of wire slugs of precious alloys at continuous casting in graphite crystallizer are investigated

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

УДК 621.74.047.001.57

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ПРОВОЛОЧНЫХ ОТЛИВОК

При производстве отливок из драгоценных металлов предъявляются высокие требования к их химическому составу и качеству, в них не допускаются ликвационные дефекты и пористость. В настоящее время для получения отливок высокого качества все большее применение находят методы непрерывного литья.

Целью работы является исследование тепловых особенностей формирования проволочных заготовок из драгоценных сплавов при непрерывном литье в графитовый кристаллизатор.

Принципиальная схема установки непрерывного литья с вертикальной технологической осью для получения проволочных отливок из цветных и драгоценных металлов приведена на рис. 1. Плавка шихты и подготовка расплава осуществляются в индукционном плавильном узле, состоящем из графитового тигля 2, расположенного внутри стакана 1. Стакан, выполненный из жаропрочного немагнитного материала с малым коэффициентом теплопроводности, играет роль футеровки. Стакан помещен внутри многовиткового водоохлаждаемого индуктора 4 таким образом, что дно рабочей полости тигля находилось в центральной части индуктора. Расплав 3 из тигля 2 попадает в рабочую полость кристаллизатора, состоящего из водоохлаждаемого стального корпуса 5 и графитовой вставки 7. Вставку кристаллизатора и тигель изготавливали из цельной графитовой заготовки плотностью 1800 кг/м³. В нижней части корпуса кристаллизатора имеются отверстия 8, служащие для вторичного охлаждения отливки. Отливка циклически (движение—остановка) извлекается из кристаллизатора тянущим устройством 10.

Наиболее востребованы в ювелирной промышленности отливки малых (3–6 мм) диаметров. Малые размеры отливки и кристаллизатора затрудняют температурные измерения. В этих

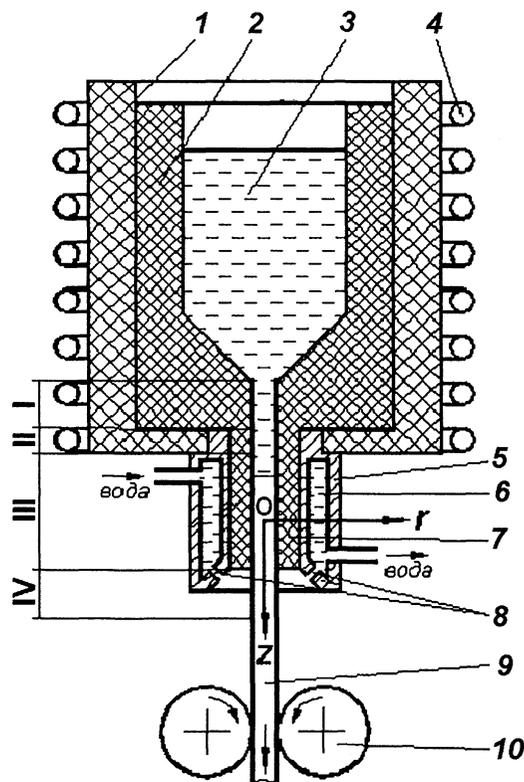


Рис. 1. Схема установки непрерывного вертикального литья: 1 – футеровка; 2 – тигель; 3 – расплав; 4 – индуктор; 5 – металлический корпус кристаллизатора; 6 – вода; 7 – рабочая втулка кристаллизатора; 8 – отверстия для вторичного охлаждения; 9 – отливка; 10 – вытягивающее устройство

условиях наиболее экономически обоснованным подходом к разработке технологического процесса и оборудования для литья является использование математического моделирования [1, 2].

Одним из основных материалов для производства ювелирных изделий в Республике Беларусь является сплав марки ЗлСрМ 585-80. Справочные данные по зависимостям теплофизических параметров материалов от температуры выб-

раны на основе литературных данных [3, 4]. Общая длина графитовой рабочей втулки кристаллизатора составляет 75 мм. Предположили, что 30 мм втулки (зона I) разогреты индукционными токами до температуры 1272 К. Для расчета в этой области использовали граничные условия I рода. Далее на протяжении 10 мм втулка контактирует с футеровкой (зона II). Теплоотводом в футеровку пренебрегали. В охлаждаемой зоне кристаллизатора протяженностью 30 мм (зона III) приняты граничные условия III рода с коэффициентами теплоотдачи на границе отливка – кристаллизатор $\alpha_{1-2} = 5500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ и на границе графит – вода $\alpha_{2-4} = 4000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Коэффициент теплоотдачи в зоне вторичного охлаждения (зона IV) считали равным $\alpha_{1-4} = 200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Данные граничные условия являются характерными для процесса непрерывного литья цветных сплавов [5]. Температура расплава в металлоприемнике – 1322 К. Расчетный шаг по времени – 0,05 с, время выхода на установившийся режим литья – 150–200 с.

На рис. 2 показано распределение температурного поля в продольном сечении отливки диаметром 5 мм из сплава ЗлСрМ 585-80 и графитовой втулки при скорости литья 0,12 м/мин (штриховкой обозначена двухфазная зона – область затвердевания). Как видно из рисунка, область затвердевания находится вблизи границы зон II и III. Как показывают расчеты, область затвердевания находится в зоне II для отливок диаметром 3–5 мм – в диапазоне скоростей литья 0,9–0,15 м/мин, для отливок диаметром 5–8 мм – в диапазоне скоростей 0,15–0,20 м/мин. Характерный вид векторного поля теплового потока в продольном сечении графитовой втулки и отливки из сплава ЗлСрМ 585-80 показан на рис. 3. Как видно из рисунка, в зоне II и части зоны III имеет место значительный тепловой поток в продольном сечении отливки.

На рис. 4 приведено характерное для выбранных размеров отливки изменение температуры поверхности слитка из сплава ЗлСрМ 585-80 по длине. Для отливок диаметром 3 мм температура поверхности при скоростях литья 0,09–0,15 м/мин различается незначительно, не более чем на 25 градусов, максимальное различие наблюдается на выходе отливки из кристаллизатора. С увеличением диаметра отливки данная разница растет и для отливки диаметрами 5 и 8 мм составляет соответственно 45 и 75 градусов. Температура поверхности отливки на выходе из кристаллизатора составляет для диаметров 3, 5 и 8 мм соответственно 570–595, 640–685, 725–800 градусов. Для рассмотренных скоростей литья и размеров отливки изменение температуры поверхности слитка носит идентичный характер. Наиболее заметное отличие наблюдается на выходе из кри-

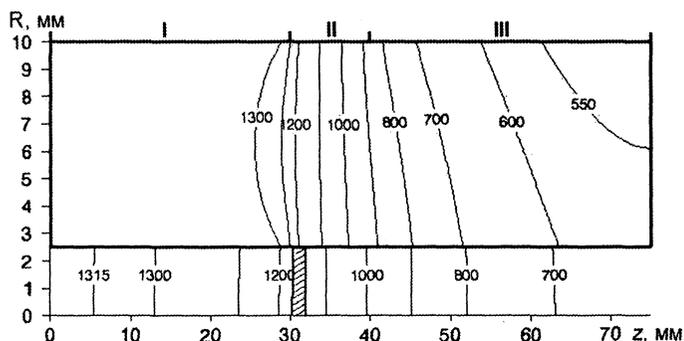


Рис. 2. Расположение изотерм в конце времени остановки в цикле вытяжки в продольном сечении отливки диаметром 5 мм из сплава ЗлСрМ 585-80 и графитовой втулки при скорости литья 0,12 м/мин

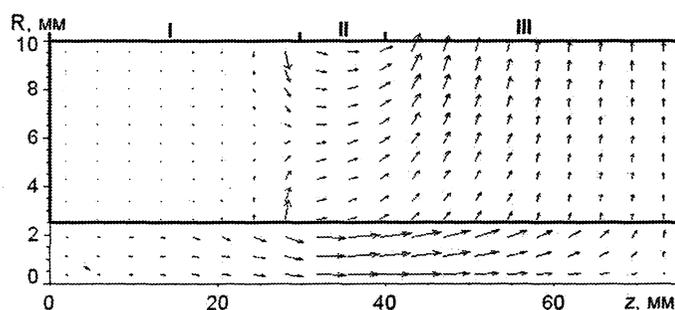


Рис. 3. Векторное поле плотности теплового потока в конце времени остановки в цикле вытяжки в продольном сечении отливки диаметром 5 мм из сплава ЗлСрМ 585-80 и графитовой втулки при скорости литья 0,12 м/мин

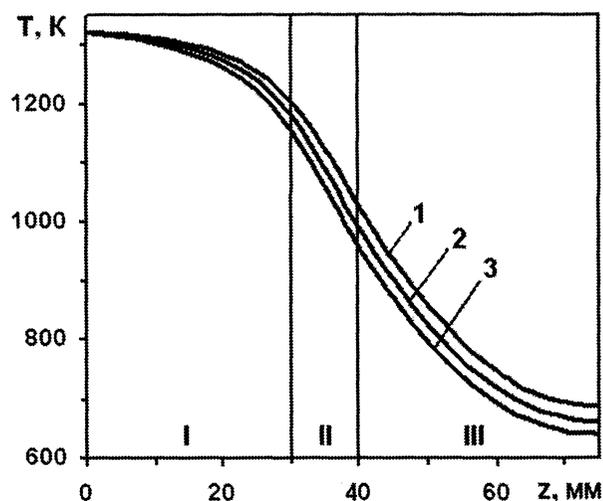


Рис. 4. Изменение температуры поверхности отливки диаметром 5 мм из сплава ЗлСрМ 585-80 по длине: 1 – при скорости литья 0,9 м/мин; 2 – 0,12; 3 – 0,15 м/мин

таллизатора – с ростом диаметра увеличивается разброс температур для разных скоростей литья. Характерное для тонких отливок изменение радиальной составляющей плотности теплового потока между отливкой и кристаллизатором ЗлСрМ 585-80 по длине отливки показано на рис. 5. Как видно из рисунка, в зоне I имеет место тепловой поток из кристаллизатора в отливку. Это можно объяснить значительным тепловым потоком в осевом направлении отливки в зоне II (см. рис. 3). В зоне II радиальная составляющая теплового потока

меняет направление. Это свойственно для всех рассмотренных скоростей литья и размеров отливки.

Аналогичным образом формируется отливка из сплава ПСр-70. Так, при литье проволоки диаметром 6 мм со скоростью 0,04 м/мин и перегреве 150 градусов область затвердевания находится вблизи границ зоны II, при дальнейшем снижении скорости литья область кристаллизации смещается в зону I. При увеличении скорости литья до 0,07 м/мин фронт затвердевания смещается к зоне III кристаллизатора. При снижении перегрева расплава до 100 градусов область кристаллизации находится в зоне II при изменении скорости литья от 0,09 до 0,11 м/мин. Как и в случае со сплавами на основе золота, имеет место интенсивный отвод тепла из зоны I в зону II кристаллизатора.

Расчетное положение фронта затвердевания хорошо согласуется с экспериментальным [6], где для определения положения фронта затвердевания использовали кристаллизатор с переменным диаметром, увеличивающимся в направлении извлечения отливки.

Таким образом, проведена численная оценка температурных полей и тепловых потоков в отливке при непрерывном литье проволоки из драгоценных металлов.

Показано, что формирование отливки происходит на границе не охлаждаемой и охлаждаемой областей, в зоне II кристаллизатора, где имеет место значительный тепловой поток в осевом направлении отливки. Определили, что формирование отливки диаметром 3–5 мм из сплава ЗлСрМ 585-80 происходит в зоне II (при перегреве 150 градусов) при скорости литья 0,9–0,15 м/мин, для отливок диаметром 5–8 мм – при скорости литья 0,15–0,20 м/мин. Скорость вы-

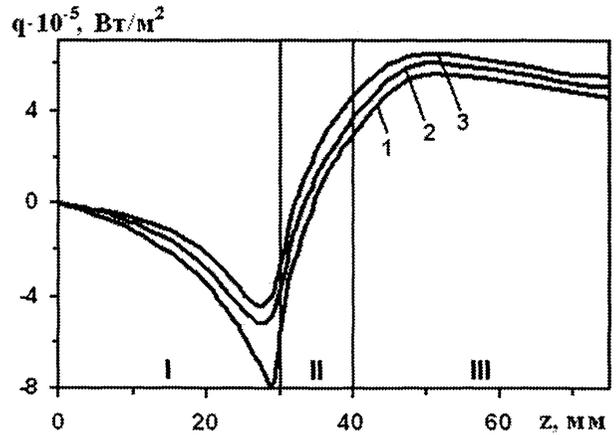


Рис. 5. Изменение радиальной составляющей плотности теплового потока на поверхности отливки диаметром 5 мм из сплава ЗлСрМ 585-80 по длине: 1 – при скорости литья 0,9 м/мин; 2 – 0,12; 3 – 0,15 м/мин

тяжки проволоки диаметром 6 мм из сплава ПСр-70 при перегреве 150 градусов составляет 0,04–0,07 м/мин, при перегреве 100 градусов – 0,09–0,11 м/мин.

Литература

1. Марукович Е.И., Брановицкий А.М., Харьков В.А. Расчет затвердевания цилиндрической непрерывной отливки // *Литье и металлургия*. 2001. № 2. С. 25–29.
2. Марукович Е.И., Брановицкий А.М., Харьков В.А. Двухмерная математическая модель для расчета затвердевания цилиндрической непрерывной отливки // *Литье и металлургия*. 2002. №1. С. 27–30.
3. Савицкий Е.М. *Благородные металлы*. М.: Металлургия, 1984.
4. Чиркин В.С. *Теплофизические свойства материалов ядерной техники*. М.: Атомиздат, 1968.
5. Кац А.М., Шадек Е.Г. *Теплофизические основы литья слитков цветных металлов и сплавов*. М.: Металлургия, 1983.
6. Марукович Е.И., Харьков В.А. Оборудование для непрерывного литья проволоки // *Литье и металлургия*. 2001. №2. С. 79–81.