



УДК 621.791: 658.562

Поступила 12.08.2013

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

НЕПРЕРЫВНОЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ЛИТЬЕ ТРУБНОЙ БРОНЗОВОЙ ЗАГОТОВКИ

Проведен экспериментальный и расчетный тепловой анализ работы установки непрерывного литья бронзовых трубных заготовок. Рассчитаны допустимые тепловые режимы вытяжки.

An experimental and calculated thermal analysis of the continuous casting of bronze tube billets is developed. Calculated allowable thermal conditions of drawing for stable casting.

Актуальность исследований процесса получения непрерывнолитой полой заготовки обусловлена необходимостью повышения эффективности производства машиностроительных деталей типа втулка. Традиционный способ подразумевает изготовление втулок из сплошной заготовки, что влечет за собой образование большого количества отходов (60–80 % от массы заготовки). Разработка технологических режимов и специальной оснастки для процесса получения полых заготовок методом непрерывного литья позволит значительно сократить объемы отходов, образующихся в процессе изготовления деталей типа втулка, и снизить их себестоимость.

Для создания работоспособной технологии наряду с качественными характеристиками необходимы и количественные оценки, которые могут быть получены в результате анализа процесса литья на основе математического моделирования и проведения экспериментальных исследований.

Технологическая оснастка для процесса непрерывного литья трубных заготовок. Основной конструктивной особенностью кристаллизатора для получения полых заготовок является наличие графитовой втулки и дорна, формирующих наружную и внутреннюю поверхности заготовки.

На основании предварительных исследований и оценки существующего опыта авторами разработана и изготовлена специальная технологическая оснастка для непрерывного литья (рис. 1). Отличительной особенностью данной конструкции является наличие питающих каналов повышенного поперечного сечения, которые расположены вдоль оси вытягивания заготовки и обеспечивают

свободную подачу жидкого металла в полость формы. Кроме того, для исключения затвердевания металла в питающих каналах в начальный момент процесса литья, когда форма еще холодная, предусмотрено наличие питающих каналов лишь в верхней части дорна.

В процессе проведения экспериментов уровень жидкого металла в миксере предварительно поднимался до середины дорна. При этом жидкий металл еще не поступает в форму, но, находясь с ней в контакте, обеспечивает ее предварительный разогрев. Далее из плавильного агрегата доставляется новая порция расплава, которую заливают в миксер. Расплав полностью заполняет кристаллизатор и через питающие каналы подается в полость формы, откуда тянущим устройством извлекается затвердевшая заготовка.

Кристаллизатор состоит из графитовой втулки с дорном, помещенной в стальной водоохлаждаемый корпус (рис. 1).

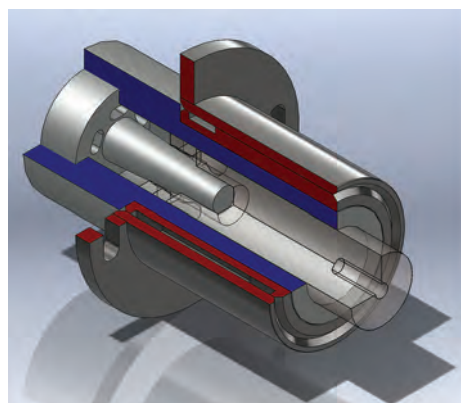


Рис. 1. Трехмерная модель кристаллизатора для непрерывного литья трубных заготовок

В качестве затравки использовали стальную трубу, изготовленную в соответствии с размерами отливки и свободно заходящую в полость кристаллизатора. Для надежного соединения затвердевшего расплава с затравкой в передней части последней, в зоне ее контакта с расплавом, сделаны трапециевидные вырезы. Короткая часть вырезов направлена в сторону расплава. Таким образом, металл, попав в эти вырезы и затвердев, обеспечивал надежное соединение с затравкой. Сама же затравка при помощи резьбового соединения крепилась к затравочной штанге.

Экспериментальное исследование процесса литья трубных заготовок. Исследовали процесс литья трубной заготовки с наружным диаметром 109 мм и внутренним диаметром 80 мм. В качестве материала для производства трубной заготовки использовали бронзу марки ОЦС5–5–5. Плавку бронзы осуществляли в индукционной тигельной печи марки ИСТ-0,16 в шамотно-графитовом тигле. В качестве шихтовых материалов применяли бронзовую чушку. Металл плавил и разогревали до температуры 1200 °С, затем его переливали в транспортный ковш и доставляли на участок разлива. Из транспортного ковша расплав переливали в индукционный каналный миксер. Температура расплава металла в миксере в процессе литья составляла 1140 °С. После поднятия уровня металла в разливочной шахте миксера до средней линии кристаллизатора осуществляли выдержку в течение 20 мин для прогрева формообразующих элементов кристаллизатора. После выдержки при помощи транспортного ковша доставляли новую порцию расплава и уровень металла в шахте поднимали на 200 мм выше верхней точки кристаллизатора. После этого отливку циклически (движение – остановка) извлекали из кристаллизатора. Длина шага извлечения отливки составляла 10 мм, скорость литья – 0,1 м/мин. Температура воды на входе в кристаллизатор составляла 21 °С, на выходе – 50 °С, расход – около 10 л/мин. Вид установки для непрерывного литья трубных заготовок показан на рис. 2. В результате экспериментов получена трубная заготовка длиной более 3 м (рис. 3).

К конструктивным параметрам формирующего узла предъявляются определенные требования с позиций обеспечения качества отливки, стабильности процесса литья и долговечности формообразующих элементов.

При анализе условий теплообмена между отливкой и формообразующими элементами кристаллизатора при непрерывном литье полой заготовки было выявлено существенное различие температур по периметру рабочих поверхностей кри-



Рис. 2. Установка для непрерывного литья трубных заготовок

сталлизатора в одном и том же сечении, которое достигает 170 °С. Это связано с тем, что нижняя часть кристаллизатора находится в относительно плотном контакте с отливкой, которая скользит по ней, обеспечивая более интенсивную теплоотдачу, чем в верхней части, где между отливкой и поверхностью кристаллизатора образуется воздушный зазор в результате усадки отливки. Зазор увеличивается по направлению к выходу из кристаллизатора, значительно уменьшая интенсивность теплообмена. Результатом указанного явления служит разная толщина стенки полой трубной заготовки: 14,2 мм в верхней части и 16 мм в нижней части. Организация воздушного зазора толщиной от 0,1 мм до 0 на длине 30 мм в нижней части кристаллизатора позволила существенно уменьшить структурную неоднородность и обеспечить приемлемую равномерность толщины стенки полой цилиндрической отливки.

Проведено исследование влияния конусности дорна на качество отливки, конусность образу-



Рис. 3. Образец непрерывнолитой трубной заготовки

шей дорна составляла 1°, 30', 15'. В результате наилучшее качество отливки и стабильность процесса литья были достигнуты при применении дорна с конусностью 30'.

Температуру поверхности отливки на выходе из кристаллизатора измеряли контактной термопарой. При длине рывка 10 мм и скорости литья 0,1 м/мин температура составляла 80–100 °С.

Моделирование тепловых полей отливки и кристаллизатора в процессе литья. Для моделирования распределения температурного поля в отливке и кристаллизаторе использовали математическую модель [1, 2]. Конструкция кристаллизатора в данном случае была аналогична конструкции в [3], температура воды в рубашке охлаждения кристаллизатора тоже была близкой. Поэтому для определения эффективного коэффициента теплоотдачи на границе «графитовая вставка – вода» ис-

пользованы аналогичные значения. Также аналогичные значения использованы для определения коэффициента теплоотдачи в начале кристаллизатора на границе «расплав бронзы – графит». Коэффициент теплоотдачи в конце кристаллизатора определяли из показаний контактной термопары методом деления отрезка пополам, аналогичным в [4]. При данной конструкции кристаллизатора коэффициент теплоотдачи на выходе из кристаллизатора уменьшается сильнее по сравнению с процессом литья сплошной заготовки. Для проведения расчетов использованы теплофизические данные, приведенные в [5, 6].

На рис. 4, а, б показаны изотермы в отливке и графитовой вставке кристаллизатора при различных скоростях литья. Как видно из рис. 4, а, при скорости литья менее 0,1 м/мин формирование отливки начинается в неохлаждаемой зоне кристал-

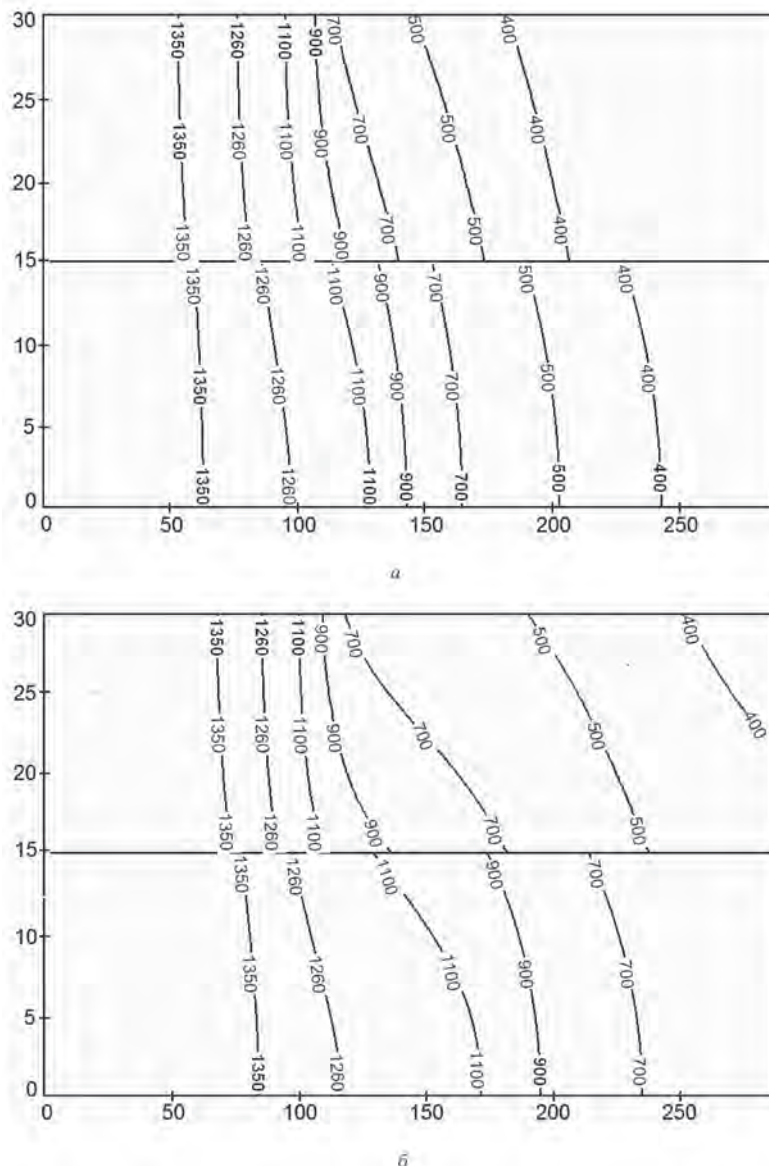


Рис. 4. Изотермы в отливке и графитовой вставке кристаллизатора при скорости литья 0,1 м/мин (а) и 0,2 м/мин (б)

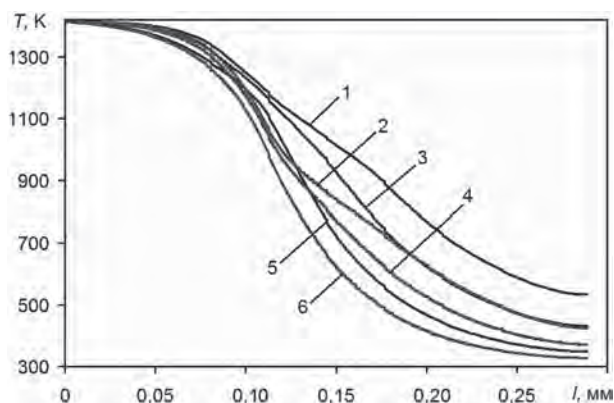


Рис. 5. Температура поверхности соответственно отливки и графитовой вставки кристаллизатора: 1, 2 при скорости литья 0,1 м/мин; 3, 4 – 0,15; 5, 6 – 0,2 м/мин

лизатора (линиями солидус, ликвидус соответствуют изотермы 1100, 1260 К), при этом может произойти перемерзание питающего канала кристаллизатора и коробление отливки, что может нарушить стабильность процесса литья. В случае скорости литья большей 0,2 м/мин (рис. 4, б) формирование отливки выходит за пределы дорна (длина дорна 180 мм), что может привести к плохому качеству внутренней поверхности трубной отливки и прекращению процесса литья вследствие проплавления корки отливки.

На рис. 5 показаны температуры наружной поверхности отливки и кристаллизатора при различных скоростях литья. При максимально возможной скорости литья даже на выходе из кристаллизатора имеет место существенный перепад температур

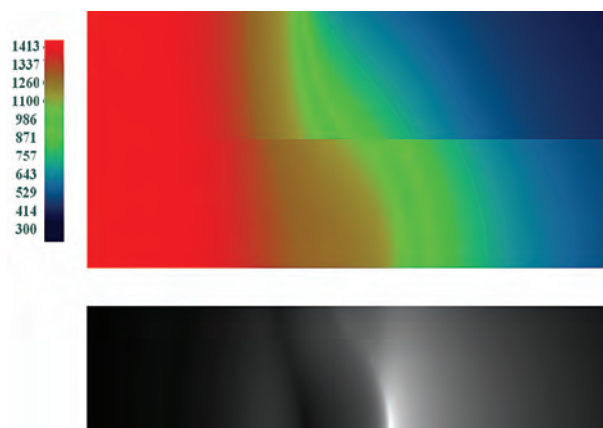


Рис. 6. Цветовое отображение температурного поля в отливке и кристаллизаторе в установившемся режиме литья (верх); аппроксимация скорости убывания температуры в отливке (низ), яркость пропорциональна скорости

между отливкой и графитовой вставкой. На рис. 6 (вверху) приведено цветное отображение температурного поля в отливке и кристаллизаторе в установившемся режиме литья и аппроксимация скорости убывания температуры в отливке яркостью (внизу).

Проведен экспериментальный и расчетный тепловой анализ работы установки непрерывного литья бронзовых трубных заготовок. Показано, что стабильный процесс литья трубных заготовок с наружным диаметром 109 мм и внутренним диаметром 80 мм протекает при скоростях литья 0,1–0,2 м/мин при шаге вытяжки отливки 10–20 мм и температуре расплава в миксере 1140 °С.

Литература

1. 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.
2. Марукович Е. И., Брановицкий А. М., Лебединский Ю. А., Чешко Л. В. Оценка тепловых потоков в осевом направлении при непрерывном литье трубной заготовки // *Литье и металлургия*. 2003. № 1. С. 81–85.
3. Марукович Е. И., Брановицкий А. М., Лебединский Ю. А., Дементьев В. А. Численное моделирование затвердевания непрерывнолитой бронзовой отливки // *Литье и металлургия*. 2009. № 3. С. 57–60.
4. 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.
5. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. М.: Атомиздат, 1968.
6. ASM ready reference. Thermal properties of metals / prepared under the direction of the ASM International Materials Properties Database Committee; Fran Cverna, technical editor. Materials Park, Ohio: ASM International, 2002.