

$$b_3 = \int_{-1}^1 \frac{E\beta T_2}{1-\nu} (A_3 x - A_2) dx + \int_{\xi} \frac{E \epsilon^P}{1-\nu} (A_3 x - A_2) dx ;$$

при $i = 4$ $a_4 = 0$;

$$b_4 = \frac{1}{\int_{-1}^1 \frac{E x^2 dx}{1-\nu}} \int_{-1}^1 \frac{E\beta T_2}{1-\nu} x dx + \int_{\xi} \frac{E \epsilon^P}{1-\nu} x dx ,$$

где ϵ^P — пластическая деформация:

$$\epsilon_i^P = (1 - \lambda) (\epsilon_i - \text{sign } \epsilon_i | \epsilon_T |) ; \quad (3)$$

λ — параметр упрочнения; E — модуль упругости; ϵ_T — деформация, соответствующая пределу текучести; ν — коэффициент Пуассона; $T_2 = T_2(x, \tau)$ — текущая температура пресс-формы.

Все характеристики при решении задачи принимаются как функции температуры, т. е. $E = E(T_2)$, $\epsilon_T = \epsilon_T(T_2)$ и т. д.

Уравнение, связывающее напряжения и деформации, имеет вид:

$$\sigma_i = \frac{E}{1-\nu} [a_i + b_i x - \epsilon_i^P - \beta T_2(x, \tau)] ; \quad (4)$$

$$\sigma_T = \frac{E \epsilon_T}{1-\nu} . \quad (5)$$

Таким образом, задача сводится к совместному решению дифференциальных и интегральных уравнений теплопроводности и термопластичности при соответствующих условиях закрепления пластины.

Решение поставленной задачи осуществлялось методом сеток. Алгоритм решения реализован на алгоритмическом языке ФОРТРАН. Расчет производился на ЭВМ БЭСМ-6. Счет проводился до установления циклов T_2 , σ_i , ϵ_i , a_i , b_i .

ЛИТЕРАТУРА

1. Ротенберг В.Е., Храменков А.И. Уругопластические деформации плоского кокиля с учетом температурного изменения свойств материала. — В кн.: Теплообмен между отливкой и формой. — Мн.: Выш. шк., 1967, с. 243–255.

УДК 621.746

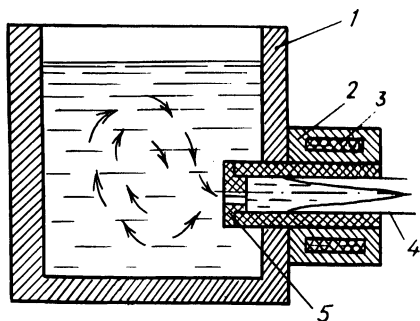
В.И.ТУЛОВ, канд.техн.наук,
В.А.ГРИНБЕРГ, канд.техн.наук,
Е.Б.ДЕМЧЕНКО, А.В.ЮРЧИК (БПИ)

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ

При горизонтальном непрерывном литье формирование заготовки происходит в сборном кристаллизаторе, имеющем металлическую рубашку охлаждения и рабочую графитовую втулку. Неохлаждаемая часть втулки выступает

Рис. 1. Разделительное устройство типа "пробка":

1 — металлоприемник; 2 — металлическая рубашка; 3 — графитовая втулка; 4 — отливка; 5 — пробка



внутри металлоприемника и находится в непосредственном контакте с жидким металлом. Через открытый торец графитовой втулки полость кристаллизатора сообщается с полостью металлоприемника. В зоне интенсивного охлаждения рабочей втулки происходит образование отливки, которая выходит из кристаллизатора, имея жидкую сердцевину.

Известно, что в системе металлоприемник — кристаллизатор при наличии разности температур жидкого металла в металлоприемнике и внутри затвердевающей отливки наблюдается циркуляция тепловых потоков. Потоки горячего металла омывают затвердевшую корку в верхней зоне кристаллизатора, частично охладившись, опускаются в нижнюю зону и выходят в металлоприемник. Верхняя зона перегревается, корка подплавляется и появляется возможность ее прорыва на выходе из кристаллизатора. Развитие термоконвективных потоков зависит от объема заливаемого металла, разности температур в металлоприемнике и кристаллизаторе и высоты проходного сечения отливки. При доливке температура металла в металлоприемнике повышается до $1270\text{--}1290^\circ\text{C}$, затем сравнительно быстро понижается и становится практически постоянной, немного выше температуры кристаллизации ($1210\text{--}1220^\circ\text{C}$). Нестабильность теплового режима металлоприемника, значительное развитие термоконвективных потоков сразу же после доливки очередных порций металла, повышенная опасность прорывов приводят к резкому снижению скорости литья вплоть до прекращения процесса вытяжки. Это в свою очередь приводит к нестабильности структуры и свойств по длине непрерывно-литой заготовки.

Обеспечить достаточную стабильность процесса можно созданием направленного подвода жидкого металла в полость кристаллизатора разделительным устройством (рис. 1), которое представляет собой графитовую вставку с отверстиями, соединенную с неохлаждаемой частью рабочей втулки с помощью заглушек. Сечения отверстий рассчитаны исходя из потребности в металле, необходимом для заполнения полости кристаллизатора при одном цикле вытяжки. Ось их расположена на $0,2\text{--}0,5$ высоты сечения отливки для направления потока металла в нижнюю зону кристаллизатора. Испытания устройства проводили на Каунасском заводе "Центролит" при отливке детали "стол фрезерного станка" на линии непрерывного горизонтального литья чугуна ЛНЛЧ-2, при следующих постоянных параметрах: температура заливаемого металла ($t_{\text{зал}} = 1300\text{--}1320^\circ\text{C}$), содержание кремния в чугуне — (2,17–2,2 %), твердость — (210–220 НВ), периодичность доливки металла — (12–15 мин), расход охлаждающей воды в рубашке охлаждения. В ходе экспериментов фикси-

ровались: мгновенная скорость, продолжительность движения и остановки отливки.

Установлено, что использование разделительных устройств позволяет увеличить скорость вытяжки заготовки с 0,24–0,26 до 0,28–0,34 м/мин за счет уменьшения продолжительности остановки при доливке металла в металлоприемник и увеличения продолжительности вытяжки заготовки. Резко сократились прорывы корки на выходе из кристаллизатора, и повысилась стойкость рабочей графитовой втулки.

Таким образом, разделение жидкого металла в системе металлоприемник – кристаллизатор с помощью разделительного устройства типа “пробка” уменьшает влияние термоконвективных потоков, что позволяет стабилизировать процесс литья и увеличить скорость вытяжки на 15–18 %. Сокращение продолжительности остановок при доливке металла в металлоприемник или их полная ликвидация позволяет не только увеличить скорость литья, но и получить более равномерную структуру по длине непрерывно-литой заготовки. Уменьшение проходного сечения предотвращает попадание шлака и воздуха в отливку при доливке свежих порций металла, а также позволяет устранять возможные прорывы корки на выходе из кристаллизатора. В качестве материала для пробки можно использовать графит, шамот, керамику и др.

УДК 621.746

**И.В.ЗЕМСКОВ, канд.техн.наук,
А.Н.КРУТИЛИН, В.Д.ТУЛЬЕВ, канд.техн.наук,
Г.И.СТОЛЯРОВА (БПИ)**

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЧУГУНА НЕПРЕРЫВНО-ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

Исследовали влияние химического состава и технологических параметров на структуру серого чугуна в условиях вертикального непрерывного литья полых цилиндрических заготовок с различной толщиной стенки (10–25 мм) в медный водоохлаждаемый кристаллизатор. Металл выплавляли в индукционной высокочастотной печи Л32-67 в тигле с кислой футеровкой вместимостью 50 кг. Температуру чугуна регистрировали термопарой погружения с диаметром электродов 0,5 мм и прибором ЭПП-09. Скорость извлечения заготовки из кристаллизатора измеряли с помощью линейки и секундомера. Химический состав чугуна определяли по результатам параллельных анализов в разных заводских химических лабораториях.

С целью сокращения объема экспериментальных заливок и получения математической модели зависимости процесса структурообразования от химического состава и технологических параметров была реализована матрица плана типа 2⁵⁻².

При этом химический состав чугуна изменяли в пределах (массовая доля, %): углерод – 3,1–3,7, кремний – 1,6–2,4, марганец – 0,5–0,9, а технологические параметры выдерживали следующими: перегрев над ликвидусом (температура заливки) – 60–140 °С, скорость извлечения заготовок – 0,3–0,7 м/мин.