

Интенсификация теплообмена при литье в кокиль

Студент гр. 10404116 Горбань И.Н.

Научный руководитель Калининченко А.С.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Литье в кокиль отличается от литья в песчаные формы более высоким качеством отливки, в частности, точностью. Использование кокилей позволяет повысить производительность труда благодаря исключению таких операций, как изготовление формовочных смесей и их рециклинг, очистка отливок от следов формы и т.д. Кроме того, возможно уменьшение припусков на механическую обработку. Процесс литья в кокиль легко автоматизируется, повышая безопасность условий труда.

К недостатком кокильного литья относится высокая стоимость формы и оснастки, ограниченная стойкость. Тепловые процессы, имеющиеся быть при литье в кокиль, определяют во многом структуры отливок. Управляя тепловыми режимами затвердевания можно обеспечить формирование плотной мелкозернистой структуры, которая обеспечивает высокие физико-механические свойства.

Одним из важных факторов, оказывающих влияние на качество получаемых отливок, является размерная стабильность кокильной оснастки. Несмотря на применение защитных обмазок, в кокиле возникают значительные термические напряжения, которые могут вызвать его коробление и выход из строя. Чаще всего кокиль изготавливается из серого чугуна СЧ20. Хотя более предпочтительным является ферритный чугун с вермикулярной формой графита, поскольку он обладает меньшую склонность к окислению и короблению при повышенной температуре. Установлено, что вермикулярная форма графита обеспечивает повышение сопротивления термической усталости на 25-40% по сравнению с перлитным графитом. Возникающие напряжения в кокиле с вермикулярным графитом на 100 МПа ниже, чем для чугуна с пластинчатой формой графита.

Проанализируем влияние системы охлаждения на величины тепловых потоков в процессе литья. Рассмотрим кокиль для получения отливки из алюминиевого сплава. Кокиль снабжен пробкой, формирующей внутреннюю полость.

Масса кокиля с пробкой составляет 57 кг. Масса расплава – 2,7 кг. Среднюю температуру кокиля с пробкой t_p определим из уравнения теплового баланса:

$$r \cdot m_p + c_p m_p (t_{01} - t_p) = c_T m_T (t_p - t_{02}).$$

Подставляя исходные данные из справочников для температуры окружающей среды $t_{02} = 20$ °С, получаем $t_p = 111$ °С. В действительности в начальный период заливки сплава температура будет выше.

Количество подводимого тепла кокилю при принятой температуре окружающей среды будет равно $Q_p = 3,14 \cdot 10^6$ Дж. Примем время заполнения кокиля расплавом равным 30 – 60 с. Тогда тепловой поток будет находиться в интервале $q = 52.3 - 105$ кВт.

Общая наружная поверхность кокиля и пробки составляет $F_{\text{тп}} = 0,106$ м². Для данной площади средняя плотность теплового потока будет лежать в интервале $q' = 0.493 - 0.991$ кВт/м².

При заливке алюминиевого сплава в кокиль значение коэффициента теплоотдачи α_m и плотности теплового потока q' выбираются согласно рекомендациям справочников равные:

$$\alpha_m = 10 - 20 \text{ кВт}/(\text{м}^2\text{К}) \text{ и } q' = 1,2 - 2,5 \text{ кВт}/\text{м}^2.$$

С целью повышения производительности процесса изготовим пробку по принципу работы тепловой трубы. В качестве теплоносителя выбираем вещество, характеризующееся значением коэффициента теплоотдачи при испарении и конденсации равным $\alpha_{\text{и}} = \alpha_{\text{кн}} = 10 - 20$ кВт/(м²К) при температуре 120 – 150 °С. Температуру металла принимает равной 660 °С.

Толщина стенки пробки в зоне нагрева составляет $\delta_1 = 12 \cdot 10^{-3}$ м, а коэффициент теплопроводности примем $\lambda_1 = 36$ Вт/(м·К).

В зоне охлаждения применяем медную трубку со следующими параметрами: $\delta_2 = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м, коэффициент теплопроводности $\lambda_2 = 300 - 350$ Вт/(м·К), $l = 0,15$ м, $d_n = 18 \cdot 10^{-3}$ м, площадь наружной оребренной поверхности $F_o = 25,43 \cdot 10^{-3}$ м² при $\varepsilon = 3$.

Примем температуру окружающей среды равной 30 °С. Отвод теплоты от устройства осуществляется воздухом со скоростью $w = 3$ м/с.

Теплообмен на наружной поверхности трубки описывается критериальным уравнением:

$$Nu = 0,25Re^{0,6}Pr^{0,38}(Pr/Pr_c)^{0,25}$$

Параметры воздуха при 30 °С составляют:

$\rho = 1,127$ кг/м³, $C = 1000$ Дж/(кг·К), $\lambda = 2,65 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К), $\mu = 18,68 \cdot 10^{-6}$ Па·с, $\nu = 16,58 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $Pr = 0,71$.

После подстановки в вышеприведенное выражение исходных данных получаем:

$$Re = 3260, Nu = 2,82 \text{ и } \alpha = 4,15 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

Применение оребрения позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи с поверхности пробки примерно на 15% (без оребрения коэффициент теплоотдачи равен $\alpha = 3,55$ Вт/(м²К).

Таким образом, кокильное литье имеет ряд преимуществ перед литьем в песчаные формы, обеспечивая высокое качество и точность отливок. Применение многопозиционных кокильных машин позволяет повысить производительность, снизить себестоимость и повысить конкурентоспособность продукции. Наиболее успешно литье в кокиль применяется при получении отливок из алюминиевых сплавов и других с невысокой температурой затвердевания. Литье в кокиль дорого применять для литья высокотемпературных сплавов из-за низкой их стойкости при высокой стоимости форм и оснастки.

Совершенствование конструкции систем охлаждения элементов кокиля, формирующих внутреннюю поверхность отливки, позволяет интенсифицировать тепловые процессы литья в металлические формы, снижая себестоимость отливок при сохранении всех преимуществ литья в кокиль.