

УДК 621.746.6:669.15-196.5:517.977

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООБМЕНА
ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ ОТЛИВКИ НА ВОЗДУХЕ

В. А. ПУМПУР, П. Ю. ДУВАЛОВ, В. М. АНДРИЕНКО

Институт технологии металлов НАН Беларуси

Могилев, Беларусь

Целью математического моделирования является создание математической модели теплообмена при литье из износостойкого хромистого чугуна (ИЧХ) типовых крупногабаритных защитных деталей дробильно-размольного оборудования для последующей оценки влияния момента извлечения (выбивки) отливки из формы и способа охлаждения на воздухе на скорость ее охлаждения. Особенно важно оценить скорость охлаждения отливки из ИЧХ сразу после выбивки в диапазоне температур 750 °С...800 °С, т. е. выше температуры распада аустенита на ферритокарбидную смесь.

Неизвестными параметрами теплообмена при охлаждении отливки на воздухе после выбивки являются коэффициент теплоотдачи излучением $\alpha_{изл}$, коэффициент теплоотдачи за счет естественной (свободной) конвекции $\alpha_{св.к}$ и коэффициент теплоотдачи за счет искусственной (вынужденной) конвекции $\alpha_{вын.к}$. Указанные параметры теплообмена требуют идентификации. С этой целью была разработана методика параметрической идентификации теплообмена при охлаждении отливки из ИЧХ на воздухе после выбивки.

Как известно, значение общего коэффициента теплообмена между отливкой и воздухом $\alpha_{об}$, Вт/(м²·К), можно определить по формуле

$$\alpha_{об} = \alpha_k + \alpha_{изл}, \quad (1)$$

где α_k , $\alpha_{изл}$ – коэффициенты теплообмена отливки с воздушной средой конвекцией и излучением соответственно.

$$\alpha_{изл} = \frac{C_1 \left[\left(\frac{t_{омл}}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_в}{100} \right)^4 \right]}{t_{омл} - t_в}, \quad (2)$$

где C_1 – коэффициент лучеиспускания поверхности отливки; $t_{омл}$, $t_в$ – температура поверхности отливки и воздуха.

На первом этапе исследований определяли усредненный коэффициент теплообмена за счет свободной конвекции $\alpha_{св.к}$, исходя из критериев подобия теории теплообмена, используя критерии Нуссельта Nu , Грасгофа Gr и Прандтля Pr , при различных значениях температуры поверхности отливки из ИЧХ в момент ее выбивки из формы. В результате определили, что $\alpha_{св.к} = 17$ Вт/(м² · К).

На втором этапе определяли значения общего коэффициента теплообмена между поверхностью отливки и воздухом $\alpha_{об}$ при его свободной конвекции в виде кусочно-непрерывной функции $\alpha_{об} = f(t_{омл})$. С этой целью были проведены

экспериментальные исследования при литье и охлаждении отливки-образца. В качестве образца принималась отливка в виде квадратной плиты с длиной сторон $l = 250$ мм и толщиной $b = 40$ мм. Толщина образца принималась примерно равной толщине сечения типовых крупногабаритных защитных деталей дробильно-размольного оборудования.

Значения $\alpha_{об}$ определялись на основе использования экспериментальных данных о температуре, снимаемой с термопары, установленной в центральном сечении отливки-образца на глубине 1 мм от верхней поверхности. Выбивку осуществляли при температуре поверхности отливки равной 850 °С.

Общий коэффициент теплообмена между отливкой и воздухом $\alpha_{об}$ и коэффициент теплоотдачи от отливки в воздушную среду излучением $\alpha_{изл}$ идентифицировали на основе разработанной математической модели теплообмена при затвердевании и охлаждении отливки-образца, адаптированной по показаниям термопары для условий свободной конвекции. Адаптация проводилась путем поиска значения коэффициента лучеиспускания C_1 поверхности отливки в (2), обеспечивающего минимум критерия K :

$$K(\alpha_{изл}) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{(t_{1,pi} - t_{1,эi})}{t_{1,эi}} \right)^2, \quad (3)$$

где n – число сравниваемых значений температур; $t_{1,pi}$, $t_{1,эi}$ – расчетные и измеренные значения температур в месте установки термопары.

Полученные результаты при $C_1 = 3,572$ представлены в табл. 1.

Табл. 1. Полученные значения коэффициентов теплообмена при свободной конвекции

$t_{омл},$ °С	600	700	800	900	1000	1100
$\alpha_{изл}$	35	47	60	77	95	117
$\alpha_{об}(t_{омл}),$ Вт/(м ² ·К)	52	64	77	94	112	134

На третьем этапе на основе экспериментальных данных, снятых с термопары, и уже известных значений $\alpha_{изл}$ определяли значение коэффициента теплообмена между отливкой и воздухом $\alpha_{об}$ при использовании вентиляционной установки в процессе охлаждения отливки путем подбора среднего значения $\alpha_{вын.к}$ в (1), обеспечивающего минимум критерия (3). Результаты представлены в табл. 2.

Табл. 2. Полученные значения коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции

$t_{омл},$ °С	600	700	800	900	1000	1100
$\alpha_{об}(t_{омл}),$ Вт/(м ² ·К)	73	85	98	115	133	155

В результате идентификации получили $\alpha_{вын.к} = 38$ Вт/(м²·К), что соответствует скорости потока воздуха от вентилятора, равной ≈ 7 м/с.