УДК 621.746.64:669.15-196.5:669.112.227.3:519.633

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ВЫБИВКИ ОТЛИВКИ ИЗ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. А. ПУМПУР, П. Ю. ДУВАЛОВ, В. М. АНДРИЕНКО
Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

Одним из способов повышения эксплуатационных свойств крупногабаритных защитных деталей дробильно-размольного оборудования (ДРО) из износостойкого хромистого чугуна (ИЧХ) является ускоренное охлаждение отливок, имеющих температуру, превышающую температуру превращения аустенита в ферритокарбидную смесь, которая находится в диапазоне от 800 °С до 700 °С. Осуществить такое ускоренное охлаждение можно, применяя раннее извлечение (выбивку) отливки из литейной формы. Момент выбивки определяет скорость охлаждения отливки на воздухе и градиенты температур по сечению отливки. Особенно важно предотвратить распад аустенита в чугуне при ускоренном охлаждении сразу после выбивки.

Объектом исследований являлась крупногабаритная защитная деталь ДРО «Воронка» массой 27,6 кг цилиндрической формы толщиной 25 мм и наружным диаметром, равным 340 мм, с так называемой юбкой высотой 20 мм (рис. 1).

Математическая модель теплообмена при формировании такой отливки представляет собой уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах с допущением теплообмена, симметричного относительно оси симметрии отливки. При решении задачи теплопроводности в этом случае достаточно рассматривать половину центрального сечения отливки (рис. 2).

Рис. 1. Защитная деталь ДРО «Воронка»

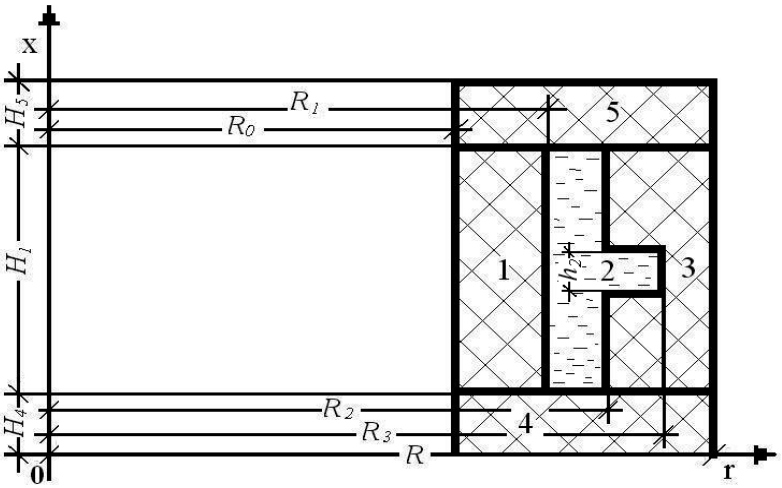

Рис. 2. Схема к расчету теплообмена при формировании отливки в форме: области 1, 3–5 – песчаная форма (ХТС); область 2 – отливка

Для этапа формирования отливки в форме на границах всех расчетных областей принимались граничные условия третьего рода с постоянными

коэффициентами теплообмена. Коэффициент контактного теплообмена между отливкой и песчаной формой принимался равным $2 \cdot 10^4$ Вт/(м^2·К). Коэффициент конвективного теплообмена между формой и воздушной средой $\alpha_в$ принимался равным 10 Вт/(м^2·К). Для этапа охлаждения извлеченной из формы отливки общий коэффициент теплообмена задавался в виде кусочно-непрерывной функции для каждой из поверхностей отливки по результатам ранее проведенной идентификации параметров теплообмена.

Тепловыделение при кристаллизации сплава ИЧХ учитывалось путем введения эффективной теплоемкости двухфазной зоны.

На основе разработанного программного обеспечения, реализующего математическую модель формирования и охлаждения крупногабаритной детали «Воронка», выполнена оценка влияния момента выбивки на среднюю скорость охлаждения отливки от момента выбивки до достижения среднеинтегральной температурой поверхности отливки верхней границы диапазона температур аустенитного превращения хромистого чугуна – 800 °С. Оценка проводилась для условий свободной и вынужденной конвекции воздуха вдоль поверхности отливки.

Предполагалось, что отливка извлекается из формы при определенном значении среднеинтегральной температуры поверхности отливки $T_{сри}$, в частности, рассматривались варианты извлечения отливки при $T_{сри} = T_{п.изв} = 700$ °С, 800 °С, 900 °С, 1000 °С и 1100 °С, где $T_{п.изв}$ – среднеинтегральная температура поверхности отливки в момент извлечения $\tau_{изв}$.

На основе анализа полученных результатов установлено, что сразу после извлечения из формы при $T_{п.изв} = 700$ °С и при $T_{п.изв} = 800$ °С температурное поле отливки находится в критическом диапазоне температур превращения аустенита в ферритокарбидную смесь, что может привести к неэффективности применения ранней выбивки отливки. При извлечении с $T_{п.изв} = 1000$ °С обеспечивается более высокая средняя скорость охлаждения до достижения отливкой температуры в 700 °С, чем при извлечении с $T_{п.изв} = 1100$ °С. В результате установили наиболее приемлемый диапазон среднеинтегральной температуры поверхности отливки при извлечении $T_{п.изв}$ – от 1000 °С до 900 °С при соответствующих временах выбивки $\tau_{изв}$ от 6 до 9 мин от момента окончания заливки расплава в форму.

При охлаждении отливки детали «Воронка» в условиях свободной конвекции максимальная средняя скорость ее охлаждения при $T_{п.изв} = 1100$ °С составила 3,77 К/с, а в условиях вынужденной конвекции при минимальной скорости потока воздуха от вентилятора $V_в = 10$ м/с при $T_{п.изв} = 1000$ °С – 4,57 К/с, т. е. скорость возросла на 21 %. При более высоких скоростях конвективного потока воздуха, создаваемого вентилятором, средняя скорость охлаждения отливки значительно возрастает – на 24 % и 46 % при увеличении $V_в$ от 10 м/с до 15 и 22 м/с соответственно.

Проведенные в дальнейшем исследования микроструктуры отливки подтвердили правильность рассчитанного времени выбивки отливки.