



The dependencies for calculation of the eutectoid inversions time in castings of different dimension-type at cooling in the air are received.

А. М. БОДЯКО, П. И. ЗИМОНИН, И. А. МЕЛЬНИКОВ, А. А. СУПОНЕВ,
ИТМ НАН Беларуси

УДК 621.746.27

РАСЧЕТ ЭВТЕКТОИДНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ОТЛИВКАХ ПРИ ЛИТЬЕ МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНО-ЦИКЛИЧЕСКОГО ЛИТЬЯ НАМОРАЖИВАНИЕМ

В работе [1] выполнена оценка изменения температуры отливки из чугуна в камере отжига. При достижении заданной температуры отливка извлекается на воздух. Скорость охлаждения на воздухе в значительной мере определяет ее конечную структуру и свойства.

Проведем теоретический анализ процесса охлаждения отливки на воздухе (рис. 1).

При остывании отливка теряет количество теплоты [2]:

$$\Delta Q_1 = c_1 \rho_1 \xi \left(1 - \frac{\xi}{2R_1} \right) F_1 \Delta T_1, \quad (1)$$

где ρ_1 и c_1 – плотность и удельная теплоемкость материала отливки; ξ и F_1 – толщина стенки и площадь поверхности отливки; T_1 – температура отливки.

Данное количество теплоты передается лучеиспусканием и воздушной конвекцией. Количество теплоты, передаваемое лучеиспусканием и воздушной конвекцией, составляет

$$\Delta Q_2 = \left(C_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] + \alpha_c (T_1 - T_c) \right) F_1 \Delta t, \quad (2)$$

где C_1 – коэффициент лучеиспускания поверхности отливки; T_1 и T_c – температуры отливки и окружающей среды; α_c – коэффициент теплоотдачи соприкосновением.

Составляем уравнение теплового баланса

$$c_1 \rho_1 \xi \left(1 - \frac{\xi}{2R_1} \right) \Delta T_1 = \left(C_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] + \alpha_c (T_1 - T_c) \right) \Delta t. \quad (3)$$



Рис. 1. Охлаждение отливок на воздухе

Интенсивность теплообмена на поверхности отливки характеризуется суммарным коэффициентом теплоотдачи:

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_n. \quad (4)$$

Величина коэффициента теплоотдачи лучеиспусканием может быть определена по уравнению

$$\alpha_n = \frac{C_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right]}{T_1 - T_c}. \quad (5)$$

Решая совместно уравнения (2) и (3), имеем

$$\Delta t = \frac{c_1 \rho_1 \xi \left(1 - \frac{\xi}{2R_1} \right) \Delta T_1}{\left(C_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] + \alpha_c (T_1 - T_c) \right)}. \quad (6)$$

Полученная зависимость позволяет рассчитывать время охлаждения Δt при изменении температуры поверхности отливки на величину ΔT . Эвтектоидное превращение является экзотермическим процессом и происходит при постоянной температуре.

Поэтому формулу (6) можно использовать отдельно в интервале температур от извлечения из камеры отжига до температуры эвтектоидного превращения и от эвтектоидного превращения до температуры окружающей среды.

При охлаждении отливки следует учитывать теплоту эвтектоидного превращения.

Составляем уравнение теплового баланса:

$$\rho_1 \xi \left(1 - \frac{\xi}{2R_1} \right) q_{эв} F_1 = \left(C_1 \left[\left(\frac{T_{эв}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] + \alpha_c (T_{эв} - T_c) \right) t_{эв} F_1, \quad (7)$$

где $T_{эв}$, $t_{эв}$, $q_{эв}$ – соответственно температура, время и удельная теплота эвтектоидного превращения:

$$t_{эв} = \frac{q_{эв} \rho_1 \xi \left(1 - \frac{\xi}{2R_1} \right)}{C_1 \left[\left(\frac{T_{эв}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] + \alpha_c (T_{эв} - T_c)}. \quad (8)$$

Полученные зависимости позволяют провести расчеты охлаждения отливки в диапазоне температур от извлечения из камеры отжига до температуры окружающей среды.

В качестве примера выполним расчет охлаждения маслостных заготовок из серого чугуна (C – 3,05%; Si – 1,78; Mn – 0,89; Cr – 0,17; Cu – 0,46; Ni – 0,19; S – 0,03; P – 0,16%) для уплотнительных колец с крючковым замком диаметром 185 мм (отливка №1) и торцовых уплотнительных колец диаметром 97 мм (отливка №2) трансмиссий пропашных тракторов МТЗ 1522 и К-700 соответственно. Геометрические размеры литых заготовок приведены ниже.

Номер отливки	D_1 , мм	ξ , мм	H , мм
1	185	20	175
2	97	20	175

Теплофизические характеристики материала отливок, а также неизвестные параметры теплообмена принимали согласно рекомендациям [2], где $T_1=880$ °C; $T_c=20$ °C; $\alpha_c=8$ Вт/(м²·град); $C_1=5$ Вт/(м²·K⁴); $\rho_1=7200$ кг/м³; $c_1=755$ Дж/(кг·град); $q_{эв}=8,5$ кДж/кг.

Результаты расчетов показали (рис. 2, а), что отливка с меньшим диаметром охлаждается быстрее и промежуток времени достижения эвтектоидного превращения у нее меньше. В отливке №1, имеющей большую массу и диаметр, время эвтектоидных превращений $t_{эв}=68$ с, а в отливке №2 $t_{эв}=60,5$ с.

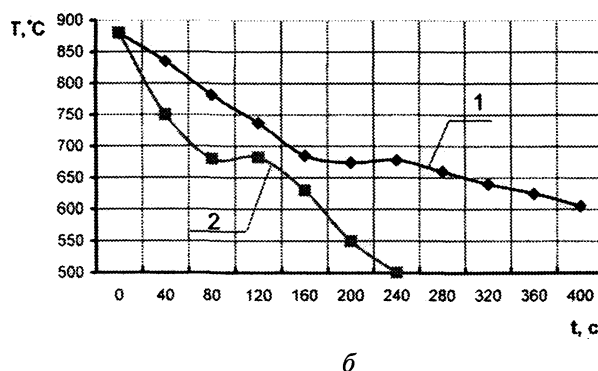
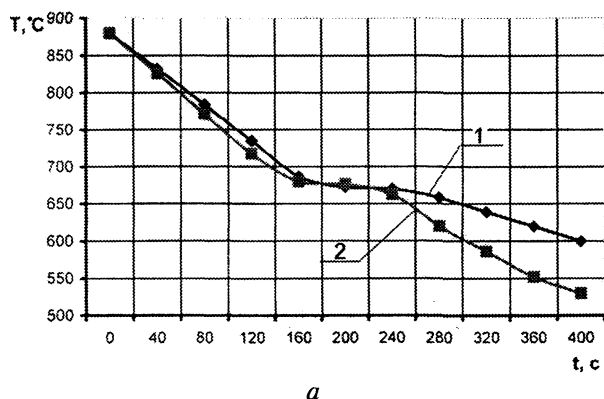


Рис. 2. Изменение температуры отливки в процессе охлаждения на воздухе: а – 1 – отливка №1 (диаметр 185 мм); 2 – отливка №2 (диаметр 97 мм); б – результаты эксперимента: 1 – естественные условия охлаждения; 2 – при обдуве воздухом

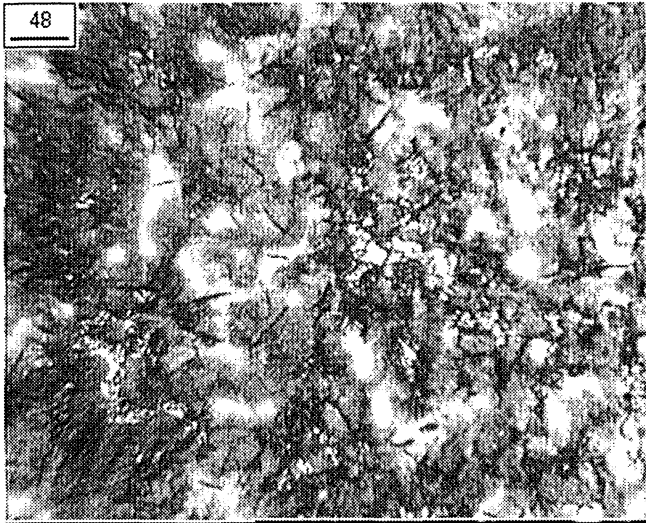
Экспериментальным путем установлено, что образующаяся конечная структура отливок этих диаметров характеризуется следующим образом: металлическая основа – тонкопластинчатый перлит П100-95 в отливке меньшей массы (диаметр 97 мм) и перлит П95-92 в отливке большей массы (диаметр 185 мм); графит равномерно распределенный ПГр1, пластинчатой или завихренной формы ПГф1,2 длиной ПГд24-45.

Экспериментальные кривые (рис. 2, б) показывают, что при обдуве воздухом в сравнении с охлаждением в естественных условиях скорость охлаждения заметно возрастает, а промежуток времени эвтектоидных превращений сокращается. В результате при одинаковом химическом составе

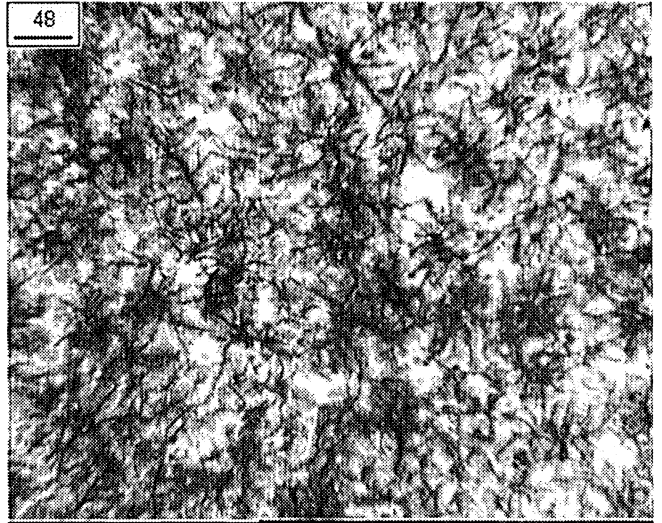
и геометрических размерах в структуре отливки, охлажденной потоком сжатого воздуха, перлита на 10–15% больше в сравнении с охлажденной в естественных условиях (рис. 3, а–г).

Аналогичные результаты расчетов и экспериментов получены также и при охлаждении отливок других типоразмеров.

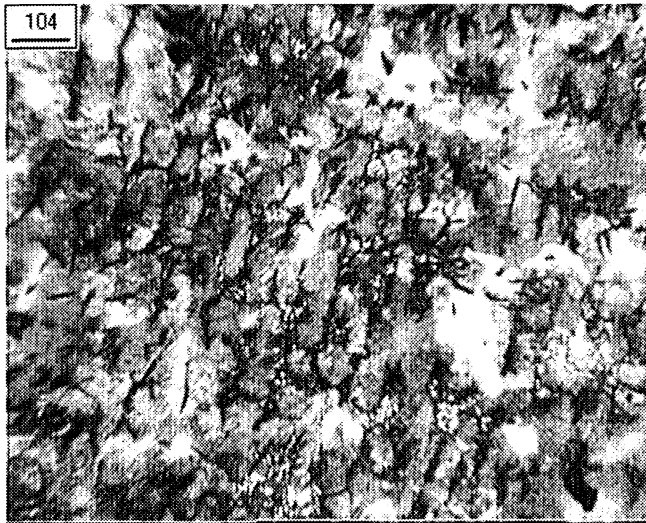
Таким образом, полученные расчетные зависимости, подтвержденные экспериментальными данными, позволяют достаточно точно определять время эвтектоидных превращений, что в свою очередь дает возможность управлять процессом структурных превращений и влиять на конечную структуру и свойства отливок, меняя в них соотношение перлита и феррита.



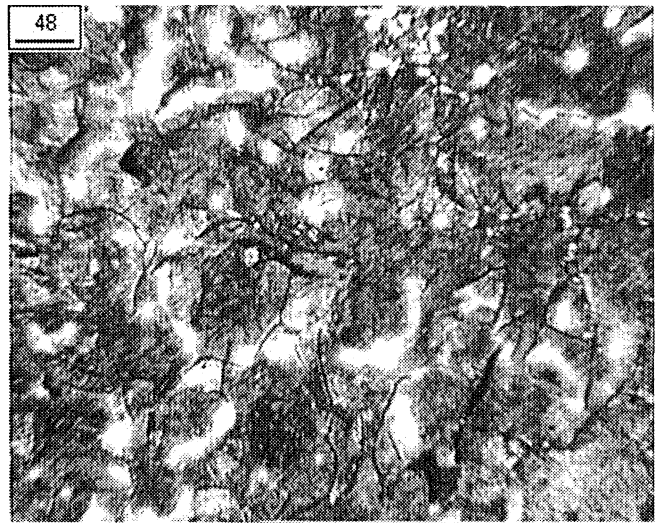
a



б



в



г

Рис. 3. Структура отливок из СЧ (травление 4%-ным раствором азотной кислоты в спирте). Естественные условия охлаждения: *a* – наружная зона отливки; *б* – внутренняя зона отливки. При обдуве воздухом: *в* – наружная зона отливки; *г* – внутренняя зона отливки. $\times 160$

Литература

1. Бодяко А.М., Зимонин П.И., Мельников И.А., Супонев А.А. Расчет вторичного охлаждения

отливки при литье методом непрерывно-циклического литья намораживанием // Литье и металлургия. 2005. №3.

2. Анисович Г.А. Затвердевание отливки. Мн.: Наука и техника, 1979.