

от расплава к валку выше $300 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$. При толщинах более 50 мкм наблюдается значительная зависимость скорости охлаждения расплава от теплофизических свойств материала теплоотводящей среды. Показано удовлетворительное совпадение расчетных скоростей охлаждения и полученных в экспериментах, что подтверждает адекватность математической модели измерениям междендритного параметра образца.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработан метод оценки скорости охлаждения расплава при закалке из жидкого состояния, что позволяет определить степень переохлаждения затвердевающего объема перед кристаллизацией, а также оценить возможность фиксирования его аморфного состояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. J. O n e s. Rapid Solidification of Metals and Alloys. — London, 1982. — 86 p. 2. М и р о ш н и ч е н к о И.С. Закалка из жидкого состояния. — М., 1982. — 168 с.

УДК 621.74:669-158.81

Э.А. ГУРВИЧ, Н.П. ЖМАКИН,
А.С. КАЛИНИЧЕНКО, кандидаты техн. наук,
Е.М. ТАЙЦ (БПИ)

ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЗАКАЛКЕ ИЗ ЖИДКОГО СОСТОЯНИЯ

Рассмотрим условия растекания капли расплава при охлаждении ее на металлической подложке в процессе закалки из жидкого состояния. Для удобства анализа возьмем вначале случай нахождения капли на неподвижной подложке (рис. 1, а). Действительная ее форма определяется силами поверхност-

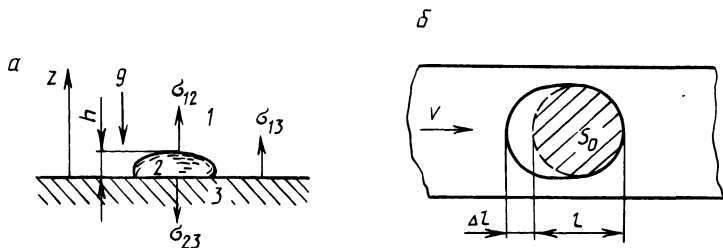


Рис. 1. Расчетная схема:
а — для неподвижной подложки; б — для движущейся подложки

ного взаимодействия между расплавом и подложкой σ_{23} , подложкой и воздухом σ_{13} , расплавом и воздухом σ_{12} , ускорением свободного падения g . Запишем уравнение для энергии:

$$E = E_g + E_\sigma. \quad (1)$$

Составляющие уравнения (1)

$$E_g = S \int_0^h \rho g z dz = 1/2 \cdot \rho g V h;$$

$$E_\sigma = \sigma_{12} S_0 + \sigma_{23} S_0 - \sigma_{13} S_0 = V/h \cdot (\sigma_{12} + \sigma_{23} - \sigma_{13}),$$

где ρ – плотность материала расплава, кг/м³; V – объем капли, м³; h – высота капли, м; $S_0 \approx S_{12} \approx S_{23} \approx V/h$ – площадь соприкосновения капли с подложкой, м².

Тогда полная энергия

$$E = 1/2 \cdot \rho g h V + V/h \cdot (\sigma_{12} + \sigma_{23} - \sigma_{13}).$$

Из условия минимизации энергии $dE/dh = 0$ находим

$$h = \left(\frac{\sigma_{12} + \sigma_{23} - \sigma_{13}}{\rho g} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Площадь контакта

$$S_0 = \frac{V}{h} = V \left(\frac{\rho g}{\sigma_{12} + \sigma_{23} - \sigma_{13}} \right)^{1/2}. \quad (3)$$

Проанализируем случай, когда капля попадает на поверхность, движущуюся со скоростью v . Для этих условий площадь поверхности соприкосновения капли с подложкой

$$S_1 = S_0 (1 + k \Delta l / l), \quad (4)$$

где $k = 0,887 t_{\text{затв}} / (t_{\text{затв}} + t_p)$; $t_{\text{затв}}$ – время охлаждения и затвердевания слоя расплава, с; t_p – условное время формирования поверхности соприкосновения $t_p = h^2/\nu$, с; ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с; $\Delta l = v t_p$; $l = \sqrt{S_0}$.

Время $t_{\text{затв}}$ определяется из условия теплового баланса между расплавом и подложкой:

$$t_{\text{затв}} = \frac{(\Delta T c_p + L) \rho h^2 \sqrt{\lambda_p c_p \rho_p}}{\Delta T \lambda_n \sqrt{\lambda_n c_n \rho_n}},$$

где $\Delta T = T_{\text{зал}} - T_{\text{к}}$; $T_{\text{зал}}$, $T_{\text{к}}$ – температура соответственно расплава в момент заливки и подложки, К; λ_n , λ_p – коэффициент теплопроводности материала соответственно подложки и расплава, Вт/(м·К); c_n , c_p – удельная теплоемкость материала подложки и расплава, Дж/(кг·К); ρ_n , ρ_p – плотность материала подложки и расплава, кг/м³.

Тогда выражение (4) с учетом (2) и (3) примет вид

$$S_1 = V \left(\frac{\rho g}{\sigma_{12} + \sigma_{23} - \sigma_{13}} \right)^{1/2} \left[1 + k \frac{v}{\nu} \left(\frac{\sigma_{12} + \sigma_{23} - \sigma_{13}}{\rho g V^{0,4}} \right)^{1,25} \right].$$

Отсюда методом последовательных приближений можно определить S_1 и $h_1 = V/S_1$. Зная толщину заготовки, можно найти скорость охлаждения расплава, что необходимо для оценки переохлаждения расплава перед кристаллизацией и возможности фиксирования его аморфного состояния.

УДК 621. 74.045

Г.Х. БЛЕХМАН,
Л.Ш. ЗАРЕЦКИЙ, канд. техн. наук (НИИЛИТАвтопром),
В.П. КОЖИН, канд. техн. наук (НПО "Центр"),
Ю.А. ЛОСЮК, канд. техн. наук (БПИ)

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ФОРМЫ НА КИНЕТИКУ ОТВЕРЖДЕНИЯ ПЕСЧАНО-СМОЛЯНЫХ СМЕСЕЙ

При литье в облицованные кокили широко применяют песчаные смеси с фенолформальдегидными связующими. На процесс отверждения терморезистивного связующего решающее влияние оказывает температура формы. При этом скорость реакции поликонденсации, лежащей в основе процесса отверждения, описывается кинетическим уравнением второго порядка:

$$\frac{d\varphi}{dt} = A \exp\left(-\frac{E_a}{R_\mu T}\right) (1 - \varphi)^2, \quad (1)$$

где φ — концентрация высокомолекулярного продукта реакции; A — постоянная реакции; E_a — энергия активации; T — температура реакционной среды; R_μ — универсальная газовая постоянная.

Экспериментальное исследование в условиях одностороннего нагрева показало, что время отверждения смеси значительно превышает время достижения в ней квазистационарного температурного поля. Отсюда после интегрирования уравнения (1) и логарифмирования решения получаем

$$\ln t = m/T - \ln \varphi_0,$$

где t — время отверждения смеси; $m = E_a/R_\mu$; $\varphi_0 = A(1 - \varphi)$.

Значения m и φ_0 находятся экспериментально по изменению толщины твердого слоя смеси во времени.

Испытанию подвергалась смесь, состоящая из 97,5 % кварцевого песка марки 1К02А и 2,5 % (по массе) фенолформальдегидного связующего СФП-011Л. Одна плита нагревалась до 220, 250 и 280 °С, температура водоохлаждаемой плиты поддерживалась равной 20 °С. В течение 4 мин через каждые 30 с со стороны холодной плиты в смесь внедряли щупы под давлением 6 МПа. По глубине их проникания определяли толщину твердого слоя. По этим данным строились графики в полулогарифмических координатах $\ln t - 1/T$, с помощью которых вычислялись значения m , φ_0 , E_a , приведенные ниже: