

разовании сплавов.

Характерно, что заметное повышение износостойкости сплавов наблюдается при увеличении добавок серы до 0,1%. С дальнейшим ростом добавок серы износостойкость сплавов изменяется незначительно. Это объясняется тем, что при добавках серы 0,1% и выше в сплавах формируется оптимальная структура: перлитная металлическая матрица с равномерно распределенными включениями пластинчатого графита (при полном устранении междендритного графита). Кроме того, при такой добавке происходит наибольшее измельчение эвтектических зерен. С увеличением добавок серы также значительно снижается коэффициент трения исследуемых сплавов.

Таким образом, оптимальные добавки серы способствуют существенному улучшению структуры и антифрикционных свойств высокоуглеродистых сплавов железа.

УДК 621.74.041

М.Н.Чурик, А.Н. Шинкевич

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ОТЛИВОК

Поверхностное легирование отливок представляет собой целенаправленное воздействие на их поверхностный слой при его формировании, путем изменения содержания в нем определенных элементов для получения требуемых свойств изделий. Упрочненный слой образуется благодаря взаимодействию легирующего материала, находящегося на внутренней поверхности формы, с жидким металлом. При этом формирование глубоких (до 10 мм и выше) легированных слоев возможно только в случае полной пропитки металлом отливки легирующей части (обмазки). Основное условие образования слоя без дефектов может быть записано в виде:

$$t_A \approx t_{охл}, \text{ сек}, \quad (I)$$

где t_A — время пропитки обмазки, сек;

$t_{охл}$ — время охлаждения границы отливка-обмазка до соответствующей температуры $T_{кр}$.

Пропитка пористой обмазки происходит при смачивании распла-
вом зерен легирующего материала (растекании расплава по твердой
поверхности), т.е. при выполнении условия

$$\sigma_{тг} > \sigma_{тж} + \sigma_{жг}, \quad (2)$$

где $\sigma_{тг}$, $\sigma_{тж}$, $\sigma_{жг}$ - поверхностные натяжения на границах газ-
твердое тело, жидкость-твердое тело, жидкость-газ, соответственно.
Процесс растекания характеризуется коэффициентом растекания, ко-
торый целесообразно определять из выражения

$$K_{раст} = \frac{1}{[\sigma_{жг}(\cos \theta - 1)]}, \quad (3)$$

где θ - краевой угол смачивания, град. При $\theta \rightarrow 0^\circ K_{раст} \rightarrow \infty$

В процессе взаимодействия различных фаз смачивание можно
улучшить созданием промежуточной среды на границе контакта. Прак-
тически это достигается при введении во взаимодействующую систе-
му флюсов.

Одним из критериев пропитки металлом обмазки может служить
коэффициент смачивания $\cos \theta$. Высоту подъема расплава в
капилляре цилиндрического сечения с учетом смачивания можно оп-
ределить по формуле

$$h = \frac{2\sigma_{жг} \cos \theta}{R\rho g} \quad (4)$$

где R - радиус капилляра, м; ρ - плотность расплава, кг/м³;
 g - ускорение силы тяжести, м/сек².

Поверхность капилляра в пористой обмазке целесообразно пред-
ставить в виде синусоидальной кривой. В этом случае

$$R = \alpha + \beta \sin \nu h$$

где α, β, ν - постоянные величины.

Как видно из уравнения (4), на процесс пропитки значитель-
ное влияние оказывает величина $\cos \theta$. Условия самопроизволь-
ной пропитки металлом легирующей обмазки имеют вид

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\sigma\phi} - \sigma_{\sigma\mu} > 0; \\ \sigma_{\sigma\phi} \cos \theta > 0; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где $\sigma_{\text{эф}}$, $\sigma_{\text{ом}}$, и $\sigma_{\text{мф}}$ - поверхностные натяжения на границах обмазка-флюс, обмазка-металл и металл-флюс, соответственно.

Жидкий металл отливки, проникая в обмазку, прогревает ее до высоких температур. Большое значение имеет величина перегрева металла, определяемая температурой заливки: при большом перегреве может произойти объемное легирование отливки (распределение частиц обмазки по всему объему отливки), при невысоком перегреве металл не пропитывает пасту на всю толщину, легированная поверхность содержит дефекты типа пригара, раковин и др. Приближенное выражение для определения оптимальной температуры заливки, соответствующей условию $\{I\}$ и устанавливающей связь между основными технологическими параметрами, находится из уравнения теплового баланса системы отливка-обмазка-форма и имеет вид

$$T_{\text{заал}} = \frac{\sqrt{\frac{n_2}{4\lambda_2}} \beta_2 T_{2\text{пер}} \sqrt{\epsilon_n} + \chi_3 \rho_3 (1 - \Pi_3') (C_3 \nu_{\text{кр}} + r_3)}{\chi_1' c_1' \rho_1'} + \frac{\frac{\beta_2}{c_1'} \chi_3 \rho_3 \frac{R_n}{100} (1 - \Pi_3') (C_n \nu_{\text{кр}} + r_1)}{\chi_1' c_1' \rho_1'} - \frac{K \cdot r_1}{c_1'} + T_{\text{кр}} \text{ } ^\circ\text{K}, \quad (6)$$

где n_2 - показатель степени параболы, характеризующей закон распределения температуры в форме; β_2 - коэффициент аккумуляции тепла материалом формы, $\text{вт.сек}^{1/2}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$; $T_{2\text{пер}}$ - средняя за процесс температура границы обмазка-форма, $^\circ\text{K}$; $\nu_{\text{кр}}$ - избыточная температура кристаллизации металла отливки, $^\circ\text{K}$; χ_3 - толщина обмазки, м; χ_1' - половина толщины отливки (без обмазки), м; Π_3 - эффективная пористость обмазки (относительный объем, занимаемый порами и наполнителями); c_1' , c_3 и c_n - удельные теплоемкости жидкого металла, легирующего вещества и наполнителя, соответственно, $\text{дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$; ρ_1' и ρ_3 - плотности жидкого металла и легирующего вещества, $\text{кг}/\text{м}^3$; r_1 , r_3 и r_n - удельные теплоты плавления металла отливки, легирующего вещества и наполнителя, $\text{дж}/\text{кг}$; R_n - содержание наполнителя в обмазке, %; K - коэффициент; для чугунных отливок $K = 0,3$.

Расчет технологических параметров при поверхностном легировании отливок следует вести исходя из необходимой концентрации легирующих элементов в слое, которой в конечном итоге определяются служебные свойства отливок. Содержание элементов в слое зависит в основном от концентрации его в легирующем материале $C_{\text{аб}}$ и от пористости обмазки. По известным величинам χ_3 , ρ_1' , ρ_3 ,

$C_{об}$ находится эффективная пористость обложки Π'_3 , при которой средняя концентрация легирующего элемента в слое будет равна требуемой $C_{сл}$. Например, принимая приближенно толщину слоя равной толщине обложки, имеем

$$\Pi'_3 = \frac{\rho_3 (C_{об} - C_{сл})}{\rho_3 (C_{об} - C_{сл}) + \rho_1 C_{сл}} \quad (7)$$

Найденное значение пористости используется при расчете температуры заливки по форме (6).

Сравнение расчетных значений температуры заливки с экспериментальными данными, полученными при легировании чугунных отливок толщиной 20–45 мм ферромарганцем и феррохромом, показало, что различие между ними не превышает 7%.

УДК 621.74.002.6

О.С.Комаров, В.Д.Тулъев

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ МОДИФИЦИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЯ

Графитизирующее действие ферросилиция различные авторы объясняют по-разному. Одни исследователи утверждают, что он связан с наличием Al и Ca , которые при вводе модификатора в расплав образуют окислы или сульфиды, являющиеся подкладками для центров кристаллизации. Другие связывают графитизирующий эффект с образованием неустойчивых карбидов кремния, которые, распадаясь, выделяют атомарный углерод и создают предпосылки для появления зародышей графита. Третья группа исследователей объясняет действие ферросилиция связыванием в устойчивые соединения растворенного кислорода, снижающего термодинамическую активность углерода. Обработка расплава раскисляющими добавками ферросилиция приводит к удалению кислорода, повышению термодинамической активности углерода и пресыщению расплава углеродом, в результате чего из него выделяются включения графита.

Для проверки перечисленных гипотез были поставлены эксперименты по следующей методике. В силитовую печь помещали две квар-