

верхности в диффузионном слое формируется или зона, состоящая из смеси карбида титана и титанидов, или слой титанидов железа. Под карбидной зоной образуется темнотравящаяся зона и зона твердого раствора, толщина которой расширяется от 7 до 25 мкм при увеличении температуры насыщения.

Титанирование легированных сталей X12M, 7X3, P6M5, 20X13 приводит к образованию на их поверхности зоны карбида титана, толщина которой может достигать 25, 20, 8 и 7 мкм соответственно. Карбидная зона на стали X12M и 7X3 имеет гетерогенное строение.

Под карбидной зоной на стали X12M образуется зона твердого раствора с выделениями карбидов основы. Микротвердость карбидной зоны достигает $H50 = 2060 \text{ кгс/мм}^2$ (температура насыщения — 1100°C , время — 4 ч). Структура титанированного слоя на стали 7X3 состоит из четырех зон. С поверхности формируется карбидная зона с микротвердостью до $H50 = 2140 \text{ кгс/мм}^2$ (температура насыщения 1000°C , время насыщения — 6 ч). Далее идет темно-травящаяся зона, отделяющая карбидную зону от обезуглероженной. Непосредственно с основной граничит троститная зона с микротвердостью $H50 = 300 \text{ кгс/мм}^2$ и толщиной до 60 мкм.

На всех изученных сталях возможно образование над карбидной зоной интерметаллидного слоя, состоящего из фаз TiFe_2 и Ti_2Fe . Насыщение в смеси, содержащей хлористый цинк в количестве от 2,5 до 7,5%, приводит к появлению титанидов преимущественно тогда, когда количество хлористого цинка находится на верхнем уровне.

Измерение параметра решетки карбида титана, образующегося на сталях У8, X12M, P6M5, 7X3 и 20X13, дало следующие значения соответственно: 4,325...4,331Å; 4,323...4,325Å; 4,319...4,325Å; 4,319...4,321Å; 4,313...4,321Å.

УДК 621.785.5

А.А.Пикман, Б.З.Поляков

ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ ЦЕМЕНТАЦИИ В УСЛОВИЯХ АТЕРМИЧЕСКОЙ ДИФфуЗИИ*

Цементация охлаждающейся в литейной форме отливки является атермической в отличие от широко распространенной изотермической, протекающей при постоянной температуре. Основными факторами, определяющими толщину цементованного слоя и распределение в нем углерода при атермической цементации, являются температура начала T_H и окончания

*Работа выполнена под руководством докт. техн. наук Л.С.Ляховича.

T_K подачи карбюратора в форму, а также скорость охлаждения отливки. При нерегулируемом охлаждении отливки в форме скорость охлаждения зависит от температуры, однако в интервале цементации $T_H \dots T_K$ (850°C) может быть приближенно принята постоянной.

Для разработки технологии цементации в процессе литья необходима методика приближенного расчета толщины диффузионного слоя и распределения в нем углерода в условиях атермической диффузии, включающая зависимость коэффициента диффузии от температуры. В качестве исходной для приближенного расчета толщины цементованного слоя h при атермической цементации используем известную формулу [1]

$$h = k\sqrt{D\tau} - p,$$

где D – коэффициент диффузии углерода в аустените при температуре цементации, $\text{см}^2/\text{с}$; τ – время цементации, с; k – коэффициент, определяемый принятой толщиной слоя (для слоя, включающего заэвтектоидную, эвтектоидную и половину переходной зон, $k = 2$); p – коэффициент, зависящий от насыщающей среды (в нашем случае $p = 0,2$).

Для элементарного промежутка времени $\Delta\tau_i$ приращение толщины слоя

$$(p + \Delta h_i)^2 = 4D\Delta\tau_i.$$

Заменив $\Delta\tau_i$ равным $\Delta T_i/v$, где ΔT_i – элементарный температурный интервал; v – скорость охлаждения поверхности отливки; с учетом зависимости коэффициента диффузии D углерода в аустените от температуры [2]

$$D = (0,04 + 0,08 \cdot C) \exp\left(-\frac{31500}{RT}\right)$$

получим для стали с исходной концентрацией углерода 0,2%

$$h^2 = 0,224 \cdot v^{-1} \int_{T_H}^{T_K} \exp\left(-\frac{31500}{RT}\right) \cdot dt. \quad (1)$$

Результаты расчета толщины цементованного слоя для различных температурных интервалов цементации отливки из сплава Fe + 0,2%С представлены на рис. 1.

Для расчета распределения углерода по глубине цементованного слоя при атермической диффузии используем в качестве исходного уравнение диффузии в условиях неограниченной подачи углерода к поверхности полубесконечной отливки в виде [2]

$$\frac{C_{x\tau} - C_{\text{нач}}}{C_{\text{пред}} - C_{\text{нач}}} = \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{D\tau}}\right), \quad (2)$$

где $C_{\text{пред}}$ – предельная концентрация углерода, устанавливающаяся на поверхности с момента начала цементации и сохраняющаяся постоянной.

Существенным для расчета по (2) является значение предельно достижимой концентрации $C_{\text{пред}}$. В приближенных расчетах изотермической цементации $C_{\text{пред}}$ принимают равной углеродному потенциалу, предельной растворимости углерода в аустените или соответствующим цементиту. Из (2) следует, что $C_{\text{пред}}$ является эмпирическим коэффициентом, вводимым вместо $C_{\text{пов}}$ для приближения результатов расчета к экспериментальным данным. Следовательно, $C_{\text{пред}}$ может принимать значения, отличные от указанных выше. Для определения $C_{\text{пред}}$ применительно к условиям атермической диффузии рассчитаем по (1) практическую толщину слоя и, подставив ее в (2), найдем

$$\Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) = \Phi\left(\frac{h}{2\sqrt{Dt}}\right) = \Phi 1.$$

Принимая $C_h = 0,5\%$, $C_{\text{нач}} = 0,2\%$, получим

$$C_{\text{пред}} = 0,2 + \frac{0,4}{\Phi 1}.$$

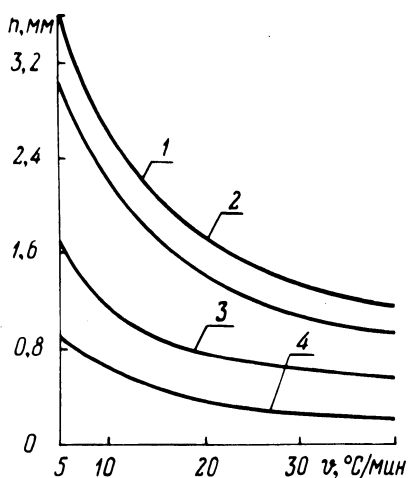


Рис. 1. Зависимость толщины цементованного слоя (h) от начальной температуры цементации и скорости охлаждения (v) отливки T_H и V :

1 - 1450°C ; 2 - 1400°C ; 3 - 1300°C ; 4 - 1200°C .

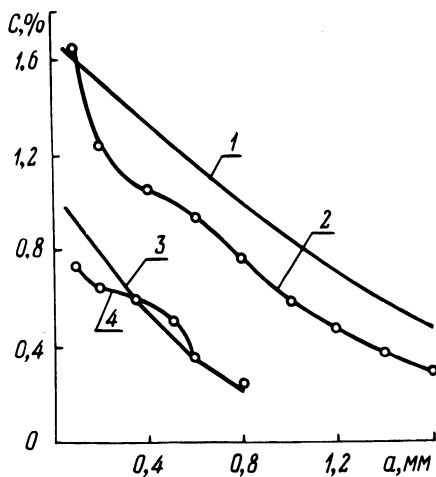


Рис. 2. Распределение углерода в цементованном слое:

1, 2 - расчет и эксперимент для $T_H = 1400^\circ\text{C}$ и $V = 15^\circ\text{C/мин}$; 3, 4 - расчет и эксперимент для $T_H = 1250^\circ\text{C}$ и $V = 25^\circ\text{C/мин}$.

Решая далее (2) относительно $C_{x, \tau}$, получим распределение углерода в цементованном слое, для чего необходимо подставить в (2) вычисленное для данного режима интегральное значение \sqrt{Dt} и для конкретных x опре-

делить значение правой части. Обозначив $\Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$ через Φ_2 , получим

$$C_{x,t} = 0,2\left[1 + \frac{\Phi_2}{\Phi_1}\right]. \quad (3)$$

На рис. 2 представлены расчетное и экспериментальное (определенное послойным химическим анализом) распределение углерода в поверхностном слое стали 20Л при охлаждении ее в керамической литейной форме с одновременной цементацией в интервале 1400...850°C и 1250...850°C со скоростями охлаждения 15 и 25 °/мин соответственно. Расчет распределения углерода по предложенной методике удовлетворительно соответствует эксперименту для поверхностной зоны слоя при относительно небольших скоростях охлаждения и больших значениях начальной температуры цементации T_H , а для цементованного слоя, напротив, — при больших скоростях охлаждения и меньших T_H .

Анализ результатов расчетов показывает, что определяющее влияние на толщину цементованного слоя оказывает скорость охлаждения отливки. Температура поверхности отливки существенно влияет до 1150°C, при более низких температурах интенсивность цементации стремится к нулю. Весьма перспективной является организация технологического процесса с регулируемой скоростью охлаждения — замедленной в интервале 1400...1300°C для обеспечения цементации и дальнейшей повышенной с уменьшенной подачей карбюризатора для предотвращения обезуглероживания поверхности отливки.

Л и т е р а т у р а

1. З а м я т и н М.М. Расчет процессов химико-термической обработки стали на основе теории диффузии. — Л., 1966. 2. П о п о в А.А. Теоретические основы химико-термической обработки стали. — Свердловск, 1962.

УДК 669.018.25

Б.З.Поляков, А.А.Пикман, В.А.Штукарь

АЗОТИРОВАНИЕ СТАЛИ 40ХЛ В ПРОЦЕССЕ ЛИТЬЯ

Нами исследовано влияние массивности отливки из стали 40ХЛ и последующей закалки на твердость азотированного в процессе литья поверхностного слоя. Керамические формы после заливки их сталью 40ХЛ продували аммиаком в течение 60 мин с расходом 240 л/ч при давлении 0,5 кгс/см². Исследованные отливки диаметром 57, 77, 96 и 112 мм имели