

УДК 620.22

М. В. Майсурадзе, М. А. Рыжков, О. А. Сурнаева

УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург
spirallog@gmail.com

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ГАЗОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ СТАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ

АННОТАЦИЯ

Изучен процесс насыщения стальной пластины углеродом при каталитической газовой цементации. Определена зависимость толщины диффузионного слоя от продолжительности насыщения. Установлены профили концентрации углерода по сечению пластины на основании данных по измерению микротвердости мартенсита. Выполнено численное моделирование процесса цементации и установлена расчетная зависимость коэффициента диффузии от продолжительности выдержки при цементации.

Ключевые слова: моделирование, газовая цементация, сталь

ABSTRACT

The carburization of a steel plate by catalytic gas carburizing process was studied. The dependence of the case hardened layer depth on the carburizing time was determined. The carbon concentration profiles over the steel plate cross section were obtained from the martensite hardness data. The numerical simulation of the carburizing process was performed to establish the calculated dependence of diffusion coefficient on carburizing time.

Keywords: modelling, gas carbonization, steel

Каталитическая газовая цементация (КГЦ) применяется в промышленности РФ сравнительно недавно. В основе КГЦ лежит процесс активации газового карбюризатора при прохождении через катализатор, в качестве которого используются соединения никеля, кобальта или редкоземельных металлов. По аналогии с каталитическим газовым азотированием, при КГЦ образуются активные ионы насыщающего газа, которые быстрее адсорбируются поверхностью детали, тем самым существенно сокращая продолжительность цементации и повышая качество поверхностного слоя. Еще одна особенность КГЦ – отсутствие эндогенератора для приготовления атмосферы. Карбюризатор (смесь природного газа и воздуха) смешиваются в подводящем трубопроводе и подаются непосредственно в печь, проходя через катализатор. Это позволяет сократить издержки на проведение химико-термической обработки, уменьшает габариты оборудования, упрощает технологический процесс.

Изучение процесса цементации пластин размером $20 \times 50 \times 2$ мм из стали Ст3 производилось следующим образом. В шахтной муфельной электрической печи устанавливалась температура цементации 940°C и углеродный потенциал $0,7\% \text{C}$. Через отверстие в крышке в муфель печи загружались одновременно 5 пластин. Затем по очереди пластины вынимались из печи и охлаждались в воде для получения мартенситной структуры. Продолжительность насыщения пластин составила 1, 3, 4, 5 и 6 ч.

Установлено, что после цементации в течение 1 ч концентрация углерода на поверхности пластины составила $0,7\%$, т. е. было достигнуто равновесие с печной атмосферой. Эффективная толщина диффузионного слоя (расстояние от поверхности пластины до точки с твердостью 50 HRC) в процессе выдержки увеличилась от $0,4$ мм при продолжительности выдержки 1 ч до $0,9$ мм при 4 ч. При выдержке более 4 ч наблюдается сквозное насыщение пластины, т.е. твердость мартенсита в сердцевине составляет более 50 HRC (рис. 1, а).

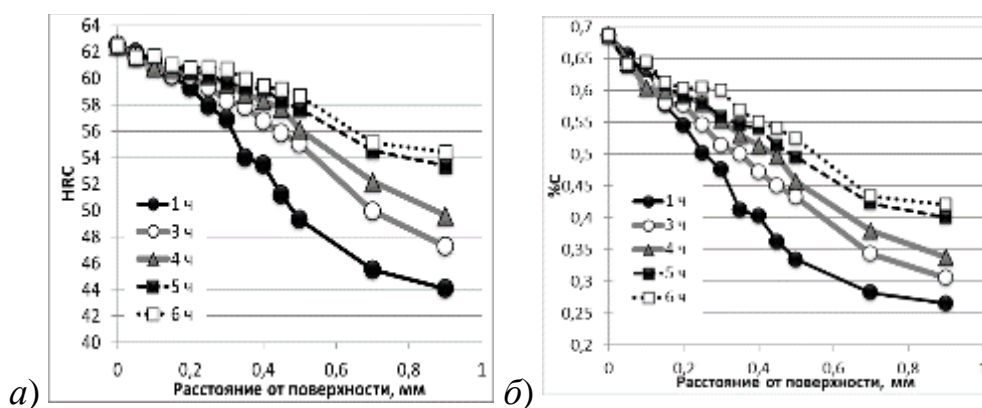


Рис. 1. а) Зависимость распределения твердости б) концентрации углерода по сечению пластины от продолжительности цементации

Используя зависимость твердости мартенсита от содержания в нем углерода [1], можно определить изменение концентрации углерода по сечению пластины в процессе цементации (рис. 1, б). Полученные данные были использованы для численного моделирования процесса каталитической газовой цементации пластины из стали Ст3.

Численное моделирование процесса диффузии в одномерной постановке выполнено посредством решения дифференциального уравнения диффузии методом конечных разностей [2]. Поскольку при цементации в течение 1 ч достигается равновесие между атмосферой печи и поверхностью пластины, то для моделирования процесса насыщения продолжительностью более 1 ч достаточно использовать граничные условия первого рода (концентрация углерода на поверхности пластины в каждый момент времени постоянна и равна углеродному потенциалу атмосферы).

Расчет производился в следующей последовательности:

1. Пластина разбивалась на j расчетных слоев по толщине.
2. В начальный момент времени принималось, что во всех рассматриваемых слоях ($c_1 \dots c_j$) концентрация углерода в аустените составляет c_γ .

3. Задавалось значение коэффициента диффузии (первоначальное значение было принято равным $2,1 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$, согласно [3]).

4. Определялся шаг по времени $\Delta\tau$, с:

$$\Delta\tau = \frac{\Delta x^2}{2D},$$

где Δx – толщина одного расчетного слоя, м; D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$.

5. Определялась концентрация углерода во всех расчетных слоях изделия ($c_1 \dots c_j$) в каждый последующий момент времени $\tau + \Delta\tau$:

$$c_{i,n} = \frac{(c_{i-1,n-1} - c_{i+1,n-1})}{2},$$

где i – номер расчетного слоя; n – номер шага по времени.

Расчет повторялся до тех пор, пока не было получено удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных.

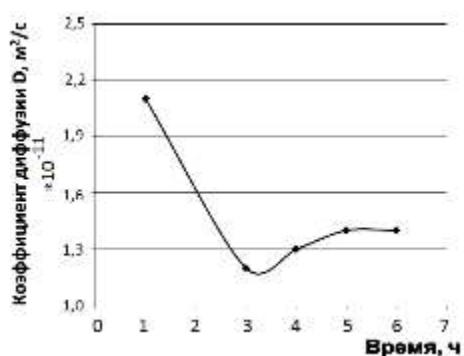


Рис. 2. Расчетная зависимость коэффициента диффузии углерода от времени выдержки при цементации

В результате установлено, что наиболее адекватное совпадение расчетных и экспериментальных профилей концентрации углерода достигается при использовании переменного во времени коэффициента диффузии (рис. 2). Это связано с изменением коэффициента диффузии в зависимости от концентрации углерода в аустените, которая изменяется в процессе цементации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Totten G.E. Steel Heat Treatment: Metallurgy And Technologies. – USA: 2006. – 800 P.
2. Майсурадзе М. В., Юдин Ю. В., Рыжков М. А, Дюхина Е. М., Фирсова Е. С. Численное решение дифференциального уравнения диффузии при цементации стали // В сборнике трудов XXII Уральской школы металловедов-термистов. – Оренбург: ОГТУ, 2014. – С. 19–21.
3. Steel and its Heat Treatment: A Handbook. Swerea IVF. – 2012. – 832 p.