

и подается сигнал на ввод PAI/AIN1 со стороны датчика температуры.

Микроконтроллер из порта PB2 подает сигнал на включение (выключение) вентилятора, а также задает число оборотов в зависимости от изменения температуры охлаждающей жидкости. Данный мониторинг основан на принципе широко импульсной модуляции. С помощью интерфейса RS-232 микроконтроллер подает сигнал на экран вывода информации экипажу боевой машины Т72 – температуру охлаждающей жидкости, расход жидкости в системе охлаждения компрессора АК150МКВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щерба, В.Е. Рабочие процессы компрессоров объемного действия / В.Е. Щерба. – М.: Наука, 2008. – 319 с.

2. Берман, Я.А. Системы охлаждения компрессорных установок / Я.А. Берман. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1984. – 288 с.

3. Горбушкин, Ю.В. Системы охлаждения компрессорных установок: метод. указ. / Ю.В. Горбушкин, А.С. Горшенин. – Самара: СамГТУ, 2008. – 16 с.

4. Пат. 2429378 РФ, МПК F 04 В 39/06. Поршневой компрессор с водяным охлаждением / Хартль Михаэль (DE), Прёль Герхард (DE), Вайссе Дитер (DE); заявитель и патентообладатель Кнорр бремзе зюстеме фюр шиненфар-цойге гмбх (DE), Кнорр бремзе зюстеме фюр нутцфарцойге гмбх (DE). – № 2008128464/06; заявл. 13.12.06; опубл. 20.09.11, Бюл. № 26. – 5 с.

УДК 621.793

Босяков М.Н., Моисеенко А.Н.

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССАХ ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

ФТИ НАН Беларуси, Минск

Ионное азотирование, как метод низкотемпературной химико-термической обработки изделий из стали и чугуна, получил широкое распространение благодаря своей управляемости, то есть возможности оперативно изменять такие параметры технологического процесса, как

состав газовой среды, температура и время изотермической выдержки в течение одного процесса.

В отличие от газового азотирования, применение в ионном азотировании смеси инертных газов, таких как Ar и H₂, позволяет проводить разогрев деталей до рабочей температуры в безазотной среде, что позволяет избежать преждевременного формирования блокирующего слоя нитридов железа на поверхности деталей [1].

Наряду с тем, что свойства получаемой структуры азотированного слоя хорошо изучены [2], ключевым остается вопрос получения заданной структуры упрочненного слоя. Как правило, в литературе при описании процесса ионного азотирования оперируют такими параметрами, как температура, состав газовой среды, давление, время изотермической выдержки [3].

Однако отсутствует взаимосвязь этих параметров с характеристиками тлеющего разряда, который формирует химическую активность газовой среды.

В работе [4] показано, что ключевым параметром разряда является плотность тока, изменяя которую можно управлять структурой азотированного слоя. В свою очередь, в работе [5] показано, что мощность тлеющего разряда не играет роли в формировании азотированного слоя а лишь отражает теплообмен садки со стенкой камеры, а параметром, отвечающим за управление процессом ионного азотирования является плотность тока.

Взаимосвязь плотности тока и газовой среды приведена в работе [6], где за химическую активность газовой среды предлагается считать плотность потока молекулярных ионов азота N₂⁺, которые на поверхности металла вследствие диссоциативной рекомбинации образуют активные атомы азота, взаимодействующие со сталью.

Однако ключевое значение в управлении структурой азотированного слоя имеет взаимосвязь характеристик стали – растворимости в ней азота и коэффициента его диффузии – и активности газовой среды. В работе [7] приводятся данные, позволяющие объединить влияние легирующих элементов в стали с температурой и временем изотермической выдержки на структуру азотированного слоя.

Таким образом учитывая все вышеперечисленные параметры, возможно управлять структурой азотированного слоя.

Исследования проводились на лабораторной установке модели УА- 25- 300/300 производства ФТИ НАН Беларуси [5].

В качестве исследуемого материала использовались сталь марки 38ХНЗМА. Разогрев проводился в смеси Аг и Н₂, поскольку, как было установлено в работе [1], уже на стадии разогрева в азотсодержащей среде может быть сформирован не только диффузионный, но и нитридный слой блокирующий дальнейший процесс азотирования.

Образцы из стали 38ХНЗМА разогревались в среде Аг и Н₂ до температуры 520 °С время изотермической выдержки было 20 часов. Плотность потока молекулярных ионов азота N₂⁺ составила 0,8 и 1,6 л/(ч.×м²)

В работе [7] показано, что плотность потока активного азота, который может быть поглощен сталью, может быть описан следующей формулой (1):

$$P_{N_2} \left(\frac{\text{л}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \right) = \frac{\frac{\sqrt{\tau}}{2} * C_{\alpha\text{Fe}} \left(\frac{\text{л}}{\text{м}^3} \right) \cdot \sqrt{D_{\alpha\text{Fe}} \left(\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right)}}{\sqrt{c}} \quad (1)$$

где С_{α-Fe} – растворимость азота в α-Fe стали, D_{α-Fe} – коэффициент диффузии азота в α-Fe стали, τ – время.

Параметр P_{N2} рассматривается как N_{сг}, то есть критическая плотность потока азота на поверхность азотируемой стали, при которой за некоторое время τ начинает формироваться сплошной слой нитридов железа, в существенной мере блокирующий диффузию азота в глубь металла. В свою очередь С_{α-Fe} и D_{α-Fe} зависят от температуры и концентрации легирующих элементов.

В работе [8] показано влияние концентрации легирующих элементов и температуры на параметр P_{N2}. С использованием данных работ [9, 10] рассчитанный P_{N2} для стали 38ХНЗМА составил – 0,82 л/(ч.×м²). Для расчета P_{N2} использовалась усредненная концентрация легирующих элементов в стали.

По данным работы [6], плотность потока молекулярных ионов азота N₂⁺, которые образуются в разряде, рассчитывался по формуле:

$$P_{N_2} (\text{л/ч} \cdot \text{м}^2) = 0,897 * \left(\frac{\text{л}}{\text{с}} \right) \cdot \left(\frac{\%N_2}{100} \right), \quad (2)$$

где 0,897 – коэффициент пропорциональности, I – ток разряда (А), S – площадь садки (m^2), $\%N_2$ – процент азота в газовой смеси.

Для стали 38ХН3МА установлено, что увеличение потока молекулярных ионов азота N_2^+ в два раза не привело к росту глубины нитридной зоны (рисунок 1).

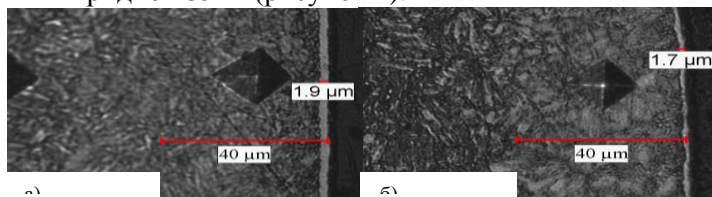


Рисунок 1 – Изменение микроструктуры азотированного слоя стали марки 38ХН3МА (увеличение 400X) после ионного азотирования при температуре 520 °С в течении 20 часов при плотности потока молекулярных ионов азота N_2^+ :
а) $PN_2 = 0,8$, б) $PN_2 = 1,6$ (л/(ч·м²)).

Однако при этом значительно изменилось распределение микротвердости по глубине азотированного слоя и его эффективная глубина (рисунок 2).

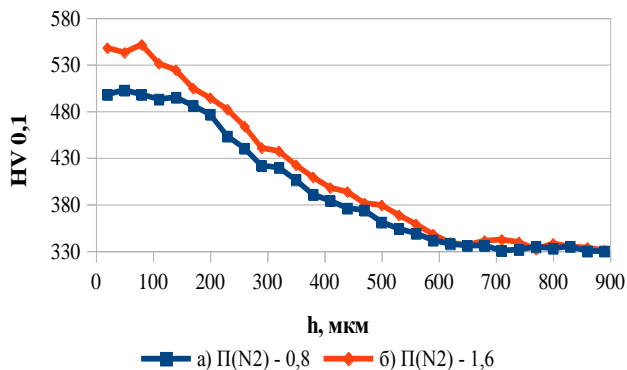


Рисунок – 2 Изменение микротвердости по глубине азотированного слоя стали марки 38ХН3МА после ионного азотирования при температуре 520 °С в течении 20 часов при плотности потока молекулярных ионов азота N_2^+ :
а) $PN_2 = 0,8$, б) $PN_2 = 1,6$ (л/(ч·м²)).

Как видно из представленного профиля твердости, при одинаковой температуре и времени изотермической выдержки, микротвердость у поверхности увеличилась на 50 единиц HV0,1, а эффективная глубина – на 100 мкм. Отсутствие увеличения глубины слоя нитридов железа можно объяснить тем, что использованные в экспериментах значения плотности потока азота, оказались меньше, чем необходимо для формирования нитридного слоя.

Таким образом, изменяя плотность потока молекулярных ионов азота N_2^+ , можно формировать заданную структуру азотированного слоя. Поскольку плотность потока молекулярных ионов азота N_2^+ связана с плотностью тока разряда, которая в свою очередь зависит от мощности разряда и площади садки, то этот параметр может являться универсальным инвариантом для проведения процесса ионного азотирования на установках с различными размерами рабочей камеры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Босяков, М.Н. Влияние состава газовой смеси, на стадии разогрева садки, на параметры азотированного слоя стали 38X2MЮА при ионном азотировании / М.Н. Босяков, А.Н. Моисеенко. – Современные методы и технологии создания материалов. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2015, № 2. – С. 170–177.
2. Герасимов, С.А. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов / С.А. Герасимов. – Москва, 2014. – 580 С.
3. Skonieski, A.F.O. Metallurgical Response of an AISI 4140 Steel to Different Plasma Nitriding Gas Mixtures / Skonieski A.F.O., Santos G. R., Hirsch T.K., Rocha A.S. – Materials Research, 2013, 16(4), P. 884–890.
4. Parucker, M.L. Estudy of the gas atmosphere in plasma nitriding of steel aisi H13 / M.L. Parucker. – P. 1–5.
5. Босяков, М.Н. Выбор режима упрочняющей обработки на установках ионного-азотирования промышленного типа / М.Н. Босяков, А.Н. Моисеенко, И.Л. Поболь. – Современные методы и технологии создания материалов. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2016, № 2. – С. 50–58.

6. Bosyakov, M.N. Nitrogen transfer during ion nitriding / M.N. Bosyakov, A.A. Kozlov, I.L. Pobol. – Surface Engineering, 2015, № 3. – P. 3–10.

7. Sun, Y. Computer Prediction of Threshold Nitriding Potential Curves / Y. Sun, T. Bell. – Heat Treatment of Metals, 1997, № 2. – P. 43–49.

8. Босяков, М.Н. Влияние концентрации легирующих элементов в конструкционных сталях на их азотируемость / М.Н. Босяков, А.Н. Моисеенко // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования, тезисы докладов. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2016. – С. 32–34.

9. Лахтин, Ю.М. Расчет влияния легирующих элементов на растворимость и диффузию азота в стали при азотировании в α и ϵ – фазах / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган, А.А. Булгач // Труды МАДИ. Азотирование в машиностроении. – 1974, № 174. – С. 42–59.

10. Моисеенко, А.Н. Кинетика поглощения азота в процессах ионного азотирования / А.Н. Моисеенко. – Современные методы и технологии создания материалов. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2015, № 2. – С. 170–177.

УДК 632.95.025.4

Воробьева Е.В.

СИНЕРГИЗМ АНТИОКСИДАНТОВ И ИНЕРТНЫХ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ В ПОЛИОЛЕФИНАХ ПРИ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА МАТЕРИАЛ

ГГУ им. Ф. Скорины, Гомель

Для повышения термоокислительной стойкости полиолефинов в них состав вводят ингибиторы или антиоксиданты. Эти вещества являются достаточно дорогостоящими, поэтому целый ряд исследований направлен на поиск способов повышения их эффективности в материале и синергических эффектов. Синергический эффект выражается в том, что если индукционный период окисления (ИПО) полимера в присутствии одного антиоксиданта составляет τ_1 , в присутствии второго вещества – τ_2 ,