

А. И. Меньшаков

Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург
menshakovandrey@mail.ru,

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ В ПЛАЗМЕ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

Исследован способ низкотемпературной (350–500 °С) цементации нержавеющей стали марки 12X18H10T в плазме широкого (100 см²) низкоэнергетичного (200–300 эВ) электронного пучка в Ar + C₂H₂ газовой смеси. Определены оптимальные параметры обработки, обеспечивающие формирование упрочненного диффузного слоя. Получены модифицированные поверхностные слои твердостью до 11 ГПа толщиной до 60 мкм за 6 ч.

Ключевые слова: ионно-плазменная цементация, низкоэнергетичный электронный пучок, плазменный катод, поверхностное упрочнение.

A. I. Menshakov

LOW-TEMPERATURE CEMENTATION OF STAINLESS STEEL IN A LOW-ENERGY ELECTRON BEAM GENERATED PLASMA

The method of low-temperature (350–500 °C) carburizing of 12X18H10T stainless steel in a plasma of a wide (100 cm²) low-energy (200–300 eV) electron beam in Ar + C₂H₂ gas mixture was studied. The optimal processing parameters were determined, which ensure the formation of a strengthened diffuse layer. Hardened surface layers with a hardness of up to 11 GPa in thickness up to 60 μm for 6 hours are obtained.

Key words: ion-plasma carburizing, plasma cementation, low-energy electron beam, plasma cathode, surface hardening.

На сегодняшний день существует достаточно много способов повышения надежности и долговечности ответственных узлов и деталей машин. Поскольку механическому износу и таким воздействиям рабочей среды, как коррозия, в первую очередь подвергается поверхность детали, постольку экономически более целесообразно не изготавливать деталь из дорогостоящего материала, а формировать на поверхности функциональный слой с требуемыми механическими и другими характеристиками. Плазменная цементация является одним из видов химико-термической обработки и заключается в диффу-

зионном насыщении поверхностного слоя изделий легирующим элементом — углеродом. Это позволяет сформировать вблизи поверхности модифицированный слой, в результате чего значительно улучшаются такие характеристики изделий, как твердость, износостойкость, задиростойкость, усталостная прочность, коррозионная стойкость [1].

Обычно для плазменной цементации используются установки на основе тлеющего разряда [2], а в качестве насыщающей газовой среды чаще всего используются метан (CH_4), ацетилен (C_2H_2), пропан (C_3H_8) [3]. Альтернативным способом генерации плазмы для обработки изделий является использование электронных пучков. Преимуществом такого подхода является возможность задать энергию электронов, соответствующую максимальной величине сечения ионизации атомов рабочего газа электронным ударом, что повысит эффективность генерации плазмы по сравнению с традиционными газоразрядными системами. Авторами работы [4] был разработан метод азотирования в плазме низкоэнергетичного электронного пучка, который не только генерировал плазму, но и нагревал обрабатываемую деталь. В качестве электронного источника использовался плазменный эмиттер электронов с сеточной стабилизацией на основе тлеющего разряда с полым катодом, при этом площадь поперечного сечения пучка составляла примерно 80 см^2 . Важным достоинством такого источника для технологического применения является независимое управление током эмиссии и энергией электронов, давлением и составом газовой среды в рабочей камере в широких пределах, что обеспечивает гибкое управление параметрами генерируемой плазмы. Основным преимуществом нагрева электронным пучком в сравнении с обработкой в тлеющем разряде является отсутствие распыления поверхности высокоэнергетичным ионным потоком, что позволяет обеспечить требуемый уровень чистоты поверхности и повысить эффективность обработки изделий.

Однако для цементации данный подход ранее не применялся, а перспективность этого метода применительно к цементации обусловлена тем, что ускоренные до энергии порядка $100\text{--}200 \text{ эВ}$ электроны более эффективно, чем газовый разряд, обеспечивают возбуждение, ионизацию и диссоциацию молекул и атомов газовой среды.

Данная работа посвящена исследованию нового способа поверхностной цементации сталей и сплавов путем разложения ацетилена в плазме низкоэнергетичного электронного пучка.

Обработка образцов проводилась в аргоно-ацетиленовой плазме, генерируемой низкоэнергетичным электронным пучком, с применением двухступенчатого источника широкого ($D = 100 \text{ мм}$) электронного

пучка с сетчатым плазменным катодом. Схема эксперимента представлена на рис. 1. На начальной стадии зажигался тлеющий разряд в среде аргона ($30 \text{ см}^3/\text{мин}$), после чего между сеткой и разрядной камерой прикладывалось ускоряющее напряжение (U_2). На столик с образцами подавалось напряжение смещения (-350 В относительно разрядной камеры) и в течение 30 мин проводилась ионная очистка и нагрев образцов. На следующей стадии в камеру напускался ацетилен ($Q_{\text{C}_2\text{H}_2} = 1,5 \text{ см}^3/\text{мин}$) и устанавливались параметры пучка (ток I_2 , напряжение U_2 — табл. 1), обеспечивающие нагрев до требуемой температуры ($350, 400, 450$ и $500 \text{ }^\circ\text{C}$), после чего проводилась выдержка образцов в установившемся режиме в течение 6 ч.

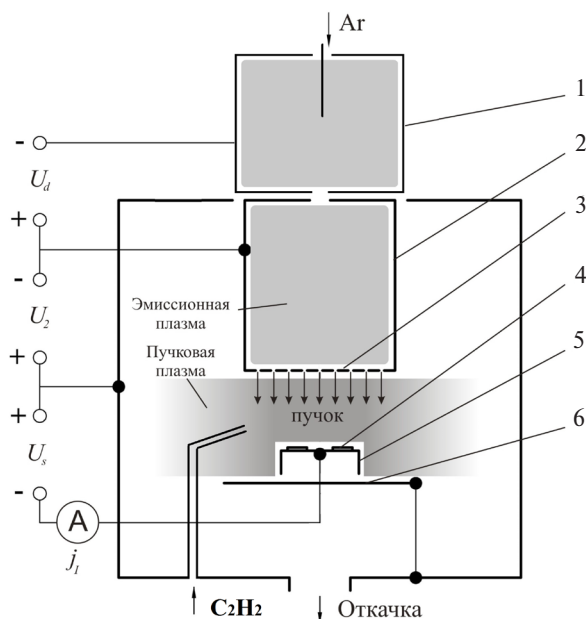


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 — полый катод; 2 — полый анод; 3 — сетка плазменного катода; 4 — образцы;
5 — изолированный стол; 6 — коллектор

Величина потока ацетилена была выбрана на основе предварительных экспериментов и определялась при больших $Q_{\text{C}_2\text{H}_2}$ осаждением графита на поверхности образца, блокирующего поступление к ней атомов углерода из газовой фазы, а при низких $Q_{\text{C}_2\text{H}_2}$ существенным снижением скорости формирования упрочненного слоя. Потенциал смещения на образцах в процессе обработки составлял $-(140...150)$ В относительно коллектора пучка для стравливания динамического оксидного слоя,

блокирующего поступление активных частиц к обрабатываемой поверхности. Давление газовой смеси составляло $1 \cdot 10^{-3}$ торр.

Таблица 1

Режимы обработки образцов

Режим	$T, ^\circ\text{C}$	I_2, A	U_2, B	$j_i, \text{mA/cm}^2$
1	350	2,9	200	3,4
2	400	3,3	210	3,8
3	450	3,6	280	4,2
4	500	4,3	310	5

В результате обработки, вблизи поверхности формируется упрочненный слой толщиной до 80 мкм и твердостью до 11 ГПа (рис. 2).

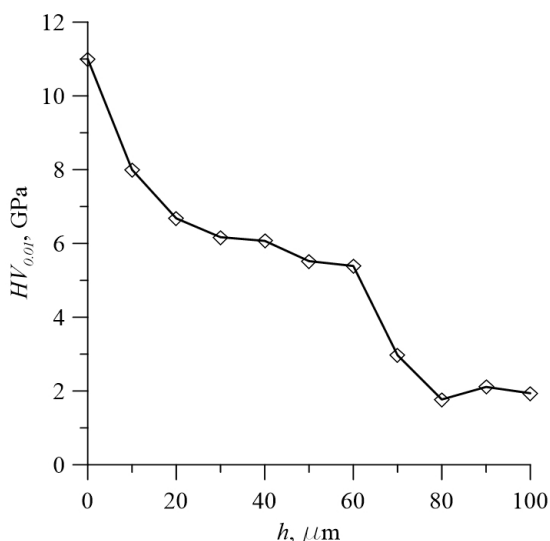


Рис. 2. Профиль микротвердости образца из стали 12Х18Н10Т после цементации (температура 500 °С, время обработки 6 ч)

Показана возможность применения низкоэнергетичных электронных пучков для плазменной цементации нержавеющей стали. Предложенный способ позволяет независимо и в широких пределах менять различные условия обработки: температуру, давление и состав газовой смеси, энергию ионного потока. При этом важным параметром, определяющим не только скорость, но и саму возможность формирования упрочненного слоя, является величина потока ацетилена.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, № 18-38-00561_мол_а.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лахтин Ю. М., Арзамасов Б. Н. Химико-термическая обработка металлов. М. : Металлургия, 1985. 256 с.
- 2 Sun Y. Tribocorrosion behavior of low temperature plasma carburized stainless steel // Surface & Coatings Technology. 2013. Vol. 228. P. 342–348.
- 3 Берлин Е. В., Коваль Н. Н., Сейдман Л. А. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей // М. : Техносфера, 2012. 464 с.
- 4 Гаврилов Н. В., Мамаев А. С., Медведев А. И. Азотирование аустенитной нержавеющей стали в низковольтном пучковом разряде // Известия высших учебных заведений. Физика. № 11/2. 2009. С. 166–171.