

5. Кривцов В.С. Состав газа в плазмотроне с ламинарным потоком плазмообразующего инертного газа / В. С. Кривцов, С. И. Планковский, Е. В. Цегельник, Е. К. Островский, А. А. Таран, А. В. Лоян // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2005. – № 4 (20). – С. 19–24.
6. Планковский С. И. Методика расчета основных газодинамических параметров потока инертного газа в плазмотроне / С. И. Планковский, Е. В. Цегельник, Е. К. Островский, В. А. Максименко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 7 (43). – С. 94–98.
7. Ваграфтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Ваграфтик. – М. : Наука, 1972. – 721 с.
8. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математикера / М. Я. Выгодский. – М. : Наука, 1977. – 872 с.
9. Жуков М. Ф. Электродуговые нагреватели газа (плазмотроны) / М. Ф. Жуков, В. Я. Смоляков, Б. А. Урюков. – М. : Наука, 1973. – 232 с.

Одержано 01.10.2009

E. V. Tsegelnyk, E. K. Ostrovsky, V. O. Garin

A GAS-DYNAMIC SHUTTER OF ATMOSPHERIC AIR IN LOW TEMPERATURE PLASMA SOURCES - PLASMATRONS

Проведено математичне моделювання процесу молекулярної дифузії атмосферного повітря в зустрічному потоці захисного інертного газу на ділянці газодинамічного затвору в каналі викиду плазми із плазмотрона. Показано, що при масовій витраті інертного газу аргон, аж до 10^{-3} кг/с, течія у каналі залишається ламінарною. Встановлено, що основним джерелом надходження атмосферного повітря в плазмотрон, яке отруєє катод, є його дифузія в зустрічному потоці інертного газу в зливному каналі плазми на ділянці газодинамічного затвору атмосферного повітря. Найбільш інтенсивно молекулярна дифузія повітря відбувається в прикордонному шарі біля стінок зливного каналу плазми, що на своїй початковій ділянці виконує функції газодинамічного затвору.

Ключові слова: низькотемпературна плазма, катод, термоелектронна емісія, дуговий розряд, газовий потік, ламінарна течія, плазмотрон.

The mathematical modeling of atmospheric air's molecular diffusion process in oncoming rare gas stream on the gas-dynamic lock region of the plasmatron is carried out. It is shown, that during the rare gas's argon mass-consumption up to 10^{-3} kg/s, the laminar flow in channel remains. It was determined, that the main source of an atmospheric air's entry in the plasmatron is the air's diffusion in oncoming rare gas stream on the gas-dynamic lock region. The molecular air diffusion takes place with the most intensity in the boundary layer near the walls of the confluent plasma's channel, which is the above mentioned gas-dynamical lock.

Key words: low temperature plasma, cathode, termo-electrical emission, arc digit, gas stream, laminar flow, plasmatron.

УДК 621.793

П. И. Можаяев, канд. техн. наук Е. Я. Швец, д-р техн. наук В. Н. Михайлин,
Л. Л. Веревкин, канд. техн. наук Н. В. Светанько

Государственная инженерная академия, г. Запорожье

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОЦИНКОВЫХ ФАЗ В ДИФфуЗИОННЫХ ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЯХ

Предложен новый метод расчета эффективности экранирования железоцинковых фаз в термодиффузионных цинковых покрытиях от электромагнитного излучения.

Ключевые слова: железоцинковые фазы, диффузия, ферромагнетик, диамагнетик, бинарная система, гомогенность, эвтектоидное превращение.

Анализ достижений

Диффузионное цинковое покрытие, полученное в расплаве цинка, состоит из нескольких железоцинко-

вых фаз и слоя почти чистого цинка. При этом строение покрытия повторяется даже при самой кратковременной выдержке стали в расплаве цинка.

Железо используют для изготовления корпусов, экранов полупроводниковых приборов, работающих при температуре до 500 °С, ферромагнетик.

Zn по магнитным свойствам относится к диамагнетикам, магнитная проницаемость отрицательна и не зависит от напряженности внешнего магнитного поля.

Диамагнетический эффект является проявлением закона электромагнитной индукции на атомном уровне. Численное значение магнитной восприимчивости диамагнетиков составляет (10^{-6} - 10^{-7}). Магнитная проницаемость (μ_{zn}) незначительно отличается от единицы.

Исследование бинарной системы железо-цинк занимались многие исследователи [1]. Представленная на рис. 1 диаграмма состояния системы железо-цинк предложена Рейнором [1].

Из рассмотрения диаграммы видно, что в системе железо-цинк имеются следующие фазы: α , γ , Γ , δ_1 , δ , ζ , η .

Наконец, при высоких концентрациях цинка на диаграмме Fe-Zn находится область η - фазы (почти чистый цинк). Она представляет собой твердый раствор железа в цинке. Максимальная растворимость железа в цинке равна 0,008 % (по массе) [1], но с повышением температуры до 400 °С она возрастает до 0,028 % (по массе).

Фаза η имеет гексагональную плотноупакованную решетку с двумя атомами в элементарной ячейке и достаточно пластична [1]. Микротвердость ее $H_{\mu} \approx 363 \text{ Мн/м}^2$ (37 кГ/мм²).

В области высоких концентраций цинка, т. е. 100–99,9 % (по массе), при 419,4 °С идет эвтектическая кристаллизация жидкости с образованием механической смеси $\zeta + \eta$. Эвтектическая температура всего на 0,05 град ниже температуры затвердевания цинка [1].

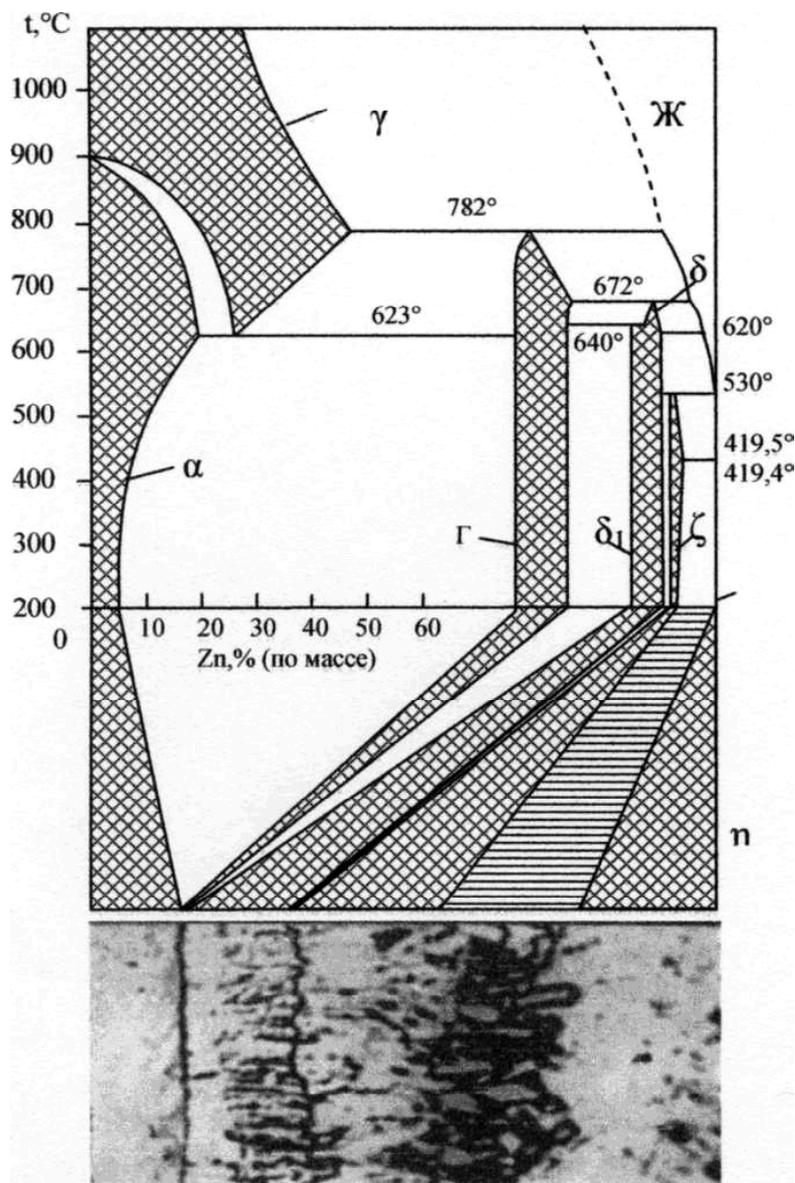


Рис. 1. Диаграмма состояния системы железо-цинк

Основная часть

Расчет эффективности диффузионного экрана

Переходной зоной от основного металла (Fe) к слою покрытия является зона:

α – фаза содержащая 20 % Zn + 80 % Fe;

γ – фаза содержащая 27,5 % Zn + 72,5 % Fe;

Γ – фаза содержащая 72 % Zn + 28 % Fe;

δ_1 – фаза содержащая 90 % Zn + 10 % Fe;

δ – фаза содержащая 92 % Zn + 8 % Fe;

ζ – фаза содержащая 94 % Zn + 6 % Fe;

η – фаза содержащая 99,99 % Zn + 0,01 % Fe;

При добавлении 0,12 % Al, большую часть покрытия составляет почти чистый цинк (η -фаза). Добавление Al в расплав цинка замедляет процесс образования железоцинкового сплава.

Приближенный метод расчета эффективности экрана K можно представить в виде суммы отдельных составляющих

$$K = K_{\text{погл}} + K_{\text{отр}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{погл}}$ – эффект экранирования за счет поглощения электромагнитного поля

$$K_{\text{погл}} = 8,7d(\pi f \mu_m)^{0,5} \sigma, \quad (2)$$

где σ – удельная проводимость; d – толщина слоя; f – частота;

для цинка $\mu_{\text{zn}} = 1$; $\sigma_{\text{zn}} = 0,06$ для металла $\mu_{\text{Fe}} = 600$; $\sigma_{\text{Fe}} = 0,1$ [2];

$K_{\text{отр}}$ – эффект экранирования за счет отражения электромагнитного поля

$$K_{\text{отр}} = 20 \log Z_m / 4Z_m \quad (3)$$

для металлов

$$Z \approx \left(2\pi \cdot f \cdot \frac{\mu_m}{\sigma} \right)^{0,5}. \quad (4)$$

Коэффициент эффективности экранирования для каждой фазы диффузионных цинковых покрытий в общем виде, можно представить так:

$$K = 8,7d(\pi \cdot f \cdot \mu_m)^{0,5} \cdot \sigma + 20 \log \left(\frac{\mu_m}{\varepsilon_m} \right)^{0,5} / 4 \cdot (2\pi \cdot f \cdot \frac{\mu_m}{\sigma})^{0,5}. \quad (5)$$

Для расчета эффективности экранирования железоцинковых фаз определяем μ и σ для каждой фазы:

для α фазы – $\mu_m = 0,8\mu_{\text{Fe}} + 0,2\mu_{\text{Zn}}$ $\sigma_\alpha = 0,8\sigma_{\text{Fe}} + 0,2\sigma_{\text{Zn}}$;

для γ фазы – $\mu_m = 0,73\mu_{\text{Fe}} + 0,27\mu_{\text{Zn}}$ $\sigma_\gamma = 0,73\sigma_{\text{Fe}} + 0,27\sigma_{\text{Zn}}$;

для Γ фазы – $\mu_m = 0,28\mu_{\text{Fe}} + 0,72\mu_{\text{Zn}}$ $\sigma_\Gamma = 0,28\sigma_{\text{Fe}} + 0,72\sigma_{\text{Zn}}$;

для δ фазы – $\mu_m = 0,1\mu_{\text{Fe}} + 0,9\mu_{\text{Zn}}$ $\sigma_\delta = 0,1\sigma_{\text{Fe}} + 0,9\sigma_{\text{Zn}}$;

для ζ фазы – $\mu_m = 0,06\mu_{\text{Fe}} + 0,94\mu_{\text{Zn}}$ $\sigma_\zeta = 0,06\sigma_{\text{Fe}} + 0,94\sigma_{\text{Zn}}$;

для η фазы – $\mu_m = \mu_{\text{Zn}} = 1$ $\sigma_\eta = \sigma_{\text{Zn}} = 17$.

η – верхний слой (99,9 %) почти чистый цинк. При добавлении 0,12 % алюминия большую часть покрытия составляет почти чистый цинк (η -фаза). Магнитная проницаемость μ_{zn} незначительно отличается от 1.

Удельная проводимость σ – обратно пропорциональна удельному сопротивлению ρ .

$$\rho_{\text{zn}} = 0,06 \text{ [3]}, \text{ то } \sigma_{\text{zn}} = \frac{1}{0,06} = 17 \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}};$$

$$\rho_{\text{Fe}} = 0,1 \text{ [3]}, \text{ то } \sigma_{\text{Fe}} = 10 \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}};$$

$$\mu_{\text{zn}} = 1 \quad \mu_{\text{Fe}} = 600.$$

Выводы

Можно определить значения μ_m и σ_m для каждой железоцинковой фазы и подставив их в формулу (5) рассчитать эффективность экранирования для любых заданных термодиффузионных покрытий Zn и других материалов.

Перечень ссылок

1. Проскуркин Е. В. Диффузионные цинковые покрытия / Е. В. Проскуркин, Н. С. Горбунов. – М. : Металлургия, 1972. – 247 с.
2. Можаяев П. И. Использование материалов с термодиффузионными покрытиями для экранирования электромагнитных волн : сб. науч. тр. / П. И. Можаяев. – Запорожье : Запорожск. инж. академия, 2006. – Вып. 13. – С. 144–146.
3. Пасынков В. В. Материалы электронной техники / В. В. Пасынков, В. С. Сорокин ; [изд. 2-е, перераб. и доп.]. – М. : Высшая школа, 1986. – 367 с.

Одержано 13.04.2010

P. I. Mozhaev, E. Ya. Shvets, V. N. Mykhaylin, L. L. Verevkin, N. V. Svetanko

CALCULATION MODEL OF FERROZINC PHASE SCREENING EFFICIENCY IN DIFFUSION ZINC COATINGS

Запропоновано новий метод розрахунку ефективності екранування залізоцинкових фаз у термодифузійних цинкових покриттях від електромагнітного випромінювання.

Ключові слова: залізоцинкові фази, дифузія, ферромагнетик, діаманетик, бінарна система, гомогенність, евтектоїдне перетворення.

The new efficiency calculation method for ferrozinc phase screening from electromagnetic radiation in thermal-diffusion zinc coatings is offered.

Key words: ferrozinc phases, diffusion, ferromagnetic, diamagnetic, binary system, homogeneity, eutectoid transformation.