

1.3. ТЕРМОВАКУУМНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Цель лекции: дать определение термовакuumных процессов, их роли в высковакуумных технологических процессах, а также описать их физическую сущность.

1.3.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ВАКУУМЕ

Термовакuumными называются процессы, которые обеспечивают получение требуемого давления и состава рабочей среды в вакуумированном объеме и сохранение этих параметров в течение регламентированного периода времени.

К термовакuumным технологическим процессам относятся

- удаление газов и паров из вакуумированного объема;
- обезгаживающий прогрев материалов, находящихся в вакууме;
- обработка катодов.

К физическим процессам в вакууме, на которые существенно влияет температура, относятся:

- *сорбция* — поглощение газа или пара твердым телом или жидкостью;
- *адсорбция* — поглощение газа или пара поверхностью твердого вещества или жидкости;
- *абсорбция* — поглощение газа объемом твердого тела или жидкости;
- *физическая сорбция* — сорбция под действием физических сил, при которой не образуются химических связей;
- *хемосорбция* — сорбция, при которой образуются химические связи;
- *десорбция* — освобождение газов или паров, сорбированных каким-либо материалом;
- *диффузия газа* — движение газа в другой среде под влиянием градиента концентраций.

1.3.2. РАСТВОРИМОСТЬ ГАЗОВ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ

Растворимость — свойство газа растворяться до насыщения в определенном объеме твердого тела.

Растворимость зависит от свойств газа и материала.

1. В неметаллах газ растворяется в молекулярном состоянии и объемная концентрация газа C пропорциональна давлению p :

$$C = Sp,$$

где S — коэффициент растворимости;

2. В металлах молекулы газа сначала диссоциируют на атомы, а затем растворяются, поэтому для двухатомных газов объемная концентрация газа C пропорциональна $p^{1/2}$:

$$C = Sp^{1/2}.$$

В общем случае

$$C = Sp^{1/j},$$

где j — число атомов в молекуле газа (закон Фрейндлиха).

Коэффициент растворимости:

$$S = S_0 \exp\left(\pm \frac{Q_S}{jRT}\right),$$

где S_0 — константа растворимости; Q_S — энергия активации растворимости (знак «+» — для газов, образующих с материалом химические соединения (H_2 в Ti); знак «-» — для газов, образующих истинные растворы (H_2 в Fe, Cu, Ni, газы в металлах)); j — число атомов в молекуле газа, для металла $j = 2$, для неметалла.

1.3.3. ДИФФУЗИЯ ГАЗОВ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ. ЗАКОНЫ ФИКА

Газ, растворенный в твердом теле, диффундирует из области с большей концентрацией в область с меньшей концентрацией за счет явления диффузии.

Стационарный процесс диффузии имеет место, когда концентрация газа C неизменна во времени в каждой точке твердого тела: $C(t) = \text{const}$. Этот процесс описывается первым законом Фика. Удельный поток газа через единичную площадку

$$q' = -\frac{\partial}{\partial x}(DC),$$

где D — коэффициент диффузии, m^2/c ; C — концентрация газа в точке на расстоянии x от начала координат.

Если D не зависит от x , то

$$q' = -D \frac{\partial C}{\partial x},$$

где $\frac{\partial C}{\partial x}$ — градиент концентрации газа в твердом теле.

На основании первого закона Фика получим выражение для удельного потока газопроницаемости через стенку.

Удельный поток газопроницаемости через тонкую стенку (рис. 1.3):

$$q' = -D \frac{\partial C}{\partial x} = -D \frac{C_{\text{атм}} - C_{\text{вак}}}{z},$$

где $C_{\text{атм}}$ — объемная концентрация газа в материале у поверхности, соприкасающейся с атмосферой; $C_{\text{вак}}$ — объемная концентрация газа в материале у поверхности, соприкасающейся с вакуумом; z — толщина стенки.

Перейдя от C к коэффициенту растворимости S , получим

$$q' = -DS \frac{p_{\text{атм}}^{1/j} - p_{\text{вак}}^{1/j}}{z}.$$

Если $p_{\text{вак}} \ll p_{\text{атм}}$, то $q' = -DS \frac{p_{\text{атм}}^{1/j}}{z}$.

Коэффициент диффузии D

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_D}{jRT}\right),$$

где Q_D — энергия активации диффузии.

Таким образом,

$$q' = -\Pi \frac{p_{\text{атм}}^{1/j}}{z},$$

где Π — коэффициент проницаемости,

$$\Pi = \Pi_0 \exp\left(-\frac{Q_{\Pi}}{jRT}\right),$$

Π_0 — константа проницаемости,

$$\Pi_0 = D_0 S_0,$$

Q_{Π} — энергия активации проницаемости, $Q_{\Pi} = Q_D \pm Q_S$, где знак «+» — для химического соединения газа и материала, «-» — для истинного раствора.

Нестационарный процесс диффузии наблюдается при обезгаживании материала или, напротив, при поглощении им газа и описывается *вторым законом Фика*:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

или, если D не зависит от x ,

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}.$$

При этом обычно рассматривают плоское полубесконечное тело.

Распределение концентрации газа в твердом теле для различных значений времени $C = f(x, t)$.

Толщина обезгаженного слоя (рис. 1.4) $\delta = \sqrt{\pi Dt}$.

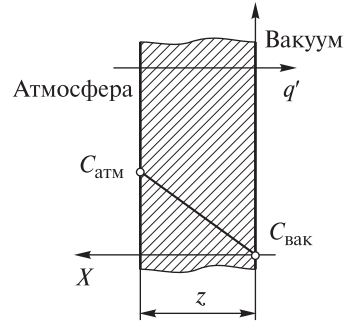


Рис. 1.3. Распределение объемной концентрации газа в тонкой стенке

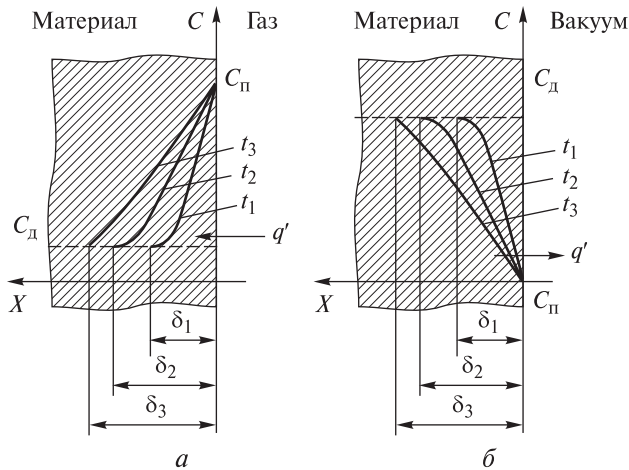


Рис. 1.4. К определению толщины обезгаженного слоя ($\delta_1, \delta_2, \delta_3$) в различные моменты времени (t_1, t_2, t_3): *a* — газопоглощение; *б* — газовыделение; C_d, C_n — концентрация газа при газопоглощении и газовыделении соответственно

По номограммам, представленным на рис. 1.4, определяют толщины обезгаженного слоя для случаев газопоглощения и газовыделения.

Тесты к лекции 3

1. Растворимость газа в твердом теле это:

- свойство газа растворяться до насыщения в определенном объеме твердого тела
- равномерное распределение газа в твердом теле;
- перемешивание в твердом теле различных газов.

2. Диффузия газа в твердом теле это:

- движение газа в среде вследствие градиента концентрации;
- встраивание атомов газа в кристаллическую решетку твердого тела;
- перемешивание в твердом теле растворенных в нем газов.

3. Первый закон Фика описывает:

- стационарный процесс диффузии;
- градиент концентрации газа в твердом теле;
- поток газопроницаемости через стенку.

4. Второй закон Фика описывает:

- нестационарный процесс диффузии;
- растворение газа в полубесконечном теле;
- толщину обезгаженного слоя.