

# Procesy ve stěnách vakuových systémů

## 1. Absorpce plynu

Při popisu kapilární kondenzace jsme se věnovali porézním látkám, které se samozřejmě pro stěny vakuových systémů nepoužívají. Ale i neporézní látka může obsahovat póry, kanálky, štěrby, trhliny - tzv. **netěsnosti**, způsobené výrobou, montáží, atd.

Do vakuové aparatury pak vniká vzduch z okolního prostředí prouděním i migrací netěsnostmi, přičemž určitý vliv na tento proces má i adsorpce a kapilární kondenzace na stěnách kanálků.

Ovšem i zcela kompaktní stěny bez netěsností mohou propouštět plyny, neboť stejně jako při migraci se adsorbované molekuly přemisťují na neobsazená místa na povrchu – tak molekuly mohou přecházet i na volná místa uvnitř pevné látky.

Těmito místy mohou být :

- chybějící částice mřížky pevné látky (substituce)
- mezipolohy v krystalické mřížce (intersticiální místa)
- hrany krystalů u polykrystalických látek.

Většinou nastávají všechny uvedené možnosti současně - výsledkem je vnikání molekul plynu do pevné látky - plyn se v pevné látce rozpouští, vzniká pevný roztok – tzv. proces **absorpce plynu**.

Plyny přitom zůstávají buď v molekulární formě (silikáty - křemen, sklo), nebo dochází k disociaci molekul (v kovech).

Matematický popis absorpce je velmi komplikovaný, neboť uvedené procesy závisejí různě na teplotě, druhu plynu a pevné látky. Popíšeme proto obecně probíhající procesy jen ve dvou prakticky důležitých případech :

- pevná látka v plynu
- stěna vakuového systému.

## 2. Pevná látka v plynu

Pevná látka je obklopena plynem o koncentraci  $n$ . Molekuly adsorbované na povrchu vnikají do vnitřku objemu pevné látky a jejich neuspořádaný pohyb způsobí proces analogický difuzi příměsi v objemu plynu – bude to **difuze plynu v pevné látce** – bude popsána stejnými rovnicemi jako v plynu (1. Fickův zákon) :

$$J_{dif} = -D \cdot S \cdot \frac{dn_p}{dx}$$

Difuzní proud bude tedy směřovat proti gradientu koncentrace molekul plynu v pevné látce, tedy od povrchu do hloubky objemu pevné látky. Po určité konečné době se zřejmě pevná látka plynem nasýtí a nastane rovnovážný stav – v objemu pevné látky bude koncentrace plynu  $n_p$  a bude v rovnováze s povrchovou koncentrací adsorbovaných molekul  $n_s$ , která opět v rovnováze s koncentrací v objemu plynu  $n$ .

Tento rovnovážný stav tedy charakterizují tři koncentrace stejných molekul plynu – v objemu pevné látky, na povrchu pevné látky a ve vnějším objemu plynu.

Rozlišují se dva základní případy :

1. Jestliže molekuly v pevné látce zůstávají v nezměněném stavu, tedy nerozpadají se, nedisociují, pak platí zřejmá úměra mezi všemi koncentracemi:

$$n_p \approx n_s \approx n$$

Tedy platí úměra i mezi krajními veličinami – koncentrace v pevné látce je úměrná koncentraci v obklopujícím objemu plynu :

$$n_p = s \cdot n$$

Koeficient  $s$  se nazývá **rozpustnost plynu** v pevné látce.

2. V případě disociace molekul v pevné látce na atomy platí rovnice :

$$n_p = s \cdot \sqrt{n}$$

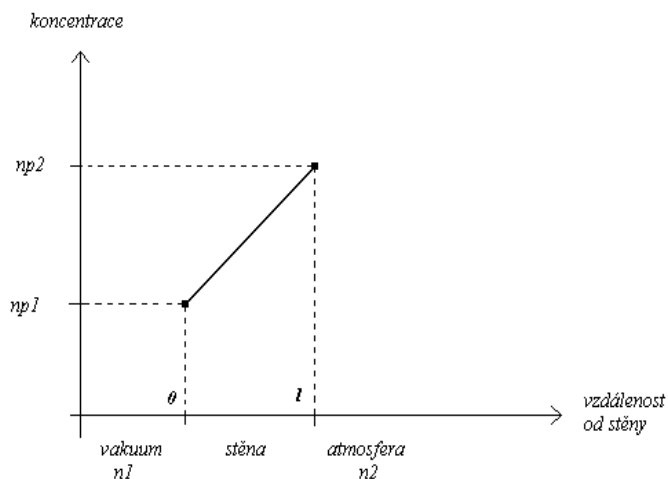
Je důležité, že s rostoucí teplotou rozpustnost roste (u silikátů málo, u kovů hodně - exponenciálně) a při změně skupenství se mění skokem (při tání roste, při tuhnutí klesá).

Z toho plyne, že při tuhnutí se musí z objemu látky uvolnit značný objem plynu. Pokud tuhnutí proběhne rychle, plyn zůstane uvnitř a vytvoří v materiálu bublinky a póry – vznikne nekvalitní porézní látka, nevhodná pro vakuové použití.

Je tedy nutno velmi pomalu ochlazovat roztavený materiál a současně neustále odčerpávat uvolňovaný plyn – to je princip tzv. **vakuového odlévání**.

### 3. Stěna vakuového systému

Koncentrace plynu (vzduchu) u vnějšího a vnitřního povrchu stěny vakuového systému jsou různé - tím vzniknou i různé koncentrace molekul ve vnitřku stěny pod těmito povrchy – důsledkem bude spád koncentrace molekul v celém objemu stěny (viz obr.)



Gradient objemové koncentrace plynu ve stěně směřuje k vnějšímu povrchu stěny, proto difúzní proud molekul vzduchu ve stěně bude směřovat do komory

Důsledek spádu koncentrace a neuspořádaného pohybu molekul v pevné látce je opět pohyb molekul proti směru gradientu, nastává difúze plynu v pevné látce.

Dosadíme do rovnice difúze (jen s kladnými hodnotami) :

$$J_{dif} = D \cdot S \cdot \frac{dn_p}{dx} = D \cdot S \cdot \frac{n_{p2} - n_{p1}}{l}$$

Koncentrace u povrchů stěn lze považovat po určité době za ustálené, dosadíme proto :

$$n_{p1} = s \cdot n_1 \qquad n_{p2} = s \cdot n_2$$

Pak dostaneme :

$$J_{dif} = D \cdot S \cdot s \cdot \frac{n_2 - n_1}{l} = \frac{D \cdot S \cdot s}{kT} \cdot \frac{p_2 - p_1}{l} = P \cdot S \cdot \frac{p_2 - p_1}{l}$$

kde bylo označeno :

$$P = \frac{D \cdot s}{kT} \quad \text{koeficient permeace (pronikání) plynu přes stěnu vakuového systému}$$

Jestliže tuto veličinu osamostatníme v předchozí rovnici, můžeme určit její přesný smysl - je to  $pV$ -proud plynu stěnou tloušťky  $1\text{ mm}$ , o ploše  $1\text{ m}^2$  a při rozdílu tlaků  $1\text{ bar}$  :

$$P = J_{dif} \cdot \frac{l}{S \cdot (p_2 - p_1)}$$

a rozměrově:

$$[P] = \left[ \frac{\text{mbar} \cdot l}{s} \frac{\text{mm}}{\text{m}^2 \cdot \text{bar}} \right]$$

Obecně koeficient permeace závisí na druhu plynu a pevné látky a roste s teplotou. Například pro teplotu  $20^\circ\text{C}$  :

- kovy: - nejlépe proniká  $\text{H}_2$  přes paladium .....  $P \approx 1.10^{-3}$
- $\text{H}_2$  přes ocel .....  $P \approx 1.10^{-6}$
- $\text{O}_2, \text{N}_2$  přes ocel .....  $P \approx 1.10^{-6}$
  
- sklo a keramika: - He přes křemenné sklo .....  $P \approx 1.10^{-5}$
- $\text{H}_2$  přes křemenné sklo .....  $P \approx 1.10^{-7}$
- $\text{O}_2, \text{N}_2$  přes křemenné sklo .....  $P \approx 1.10^{-15}$

Vzduch obsahuje málo vodíku a helia, je tedy zřejmé, že kovy, sklo a keramika jsou pro vzduch prakticky neprostupné až do teplot několika set °C - toho se s výhodou využívá pro odplyňování.

Z důvodu křehkosti křemenného skla se ovšem skleněné ultravakuové aparatury nevyrobí.

I když pronikání vzduchu stěnami tedy lze i při odplyňování lze zanedbat, může být však významné uvolňování vzduchu z objemu stěn - kterým se stěna nasýtila při dlouhém otevření aparatury, při výrobě nebo skladování.

Z této kapitoly tedy vyplývají další doporučení pro vakuovou praxi :

- požadovat vakuovou tavbu materiálů pro vakuové aparatury
- nebo konstrukční materiály dodatečně odplyňovat (dostí obtížné, trvá mnoho desítek hodin při vysokých teplotách, podle druhu materiálu, např. 1 000 °C)
- skladování materiálu ve vakuu
- co nejkratší doba zavzdušování vakuového systému

Těsnění přírub : - těsnicí kroužky z elastomerů – co nejmenší plocha přiléhající do vakua

• silikon. guma (20 °C).....  $P = 3 \cdot 10^{-1}$

• perbunan (20 °C)... ..  $P = 2 \cdot 10^{-2}$

• viton (20 °C).....  $P = 3 \cdot 10^{-3}$

- pro ultravakuum se užívají kovové (měděné) těsnicí kroužky.