

Műanyagtokozással védett elemek kryptoklimája nedves környezetben II. rész

ETO 62—213.3—036:532.72

A cikk tárgya: műanyag tokozások vízgőzáteresztésének számítása.

Az I. részben [1] a műanyag tokozás vízgőzáteresztésének egyik okával foglalkoztunk. Ez az ok a műgyanta-fémkivezetés érintkezési felületén, a hiányos tapadás (adhézió) következményeként keletkező nyílások vízgőzáteresztése.

A nyílások vízgőzáteresztését diffúziós anyagtranszportként kezeltük. Feltételeztük, hogy e nyílásoknak az áramlásra merőleges legkisebb mérete jóval nagyobb, mint a molekulák szabad úthossza. Feltételeztük továbbá, hogy a környezet és a gyártmány belső tere (röviden: mikrotér) közötti vízgőzdiffúziót a vízgőz parciális nyomásának különbsége hozza létre.

Felírtuk a nyílás S diffúziós vezetőképességét, amely nem függ a p vízgőznyomástól. Értelmeztük a rendszer Θ időállandóját. Levezettük a vízgőz parciális nyomásának — mikrotérre vonatkozó — $p(t)$, illetve a relatív légnedvesség $\varphi(t)$ időfüggvényét. A $p(t)$ és $\varphi(t)$ függvény alapján — adott kezdeti és peremfeltételek figyelembevételével — megvizsgáltuk különböző tényezők és kritériumok hatását a mikrotér fizikai állapotának, pontosabban a mikrotér nedvességének alakulására.

Ebben a cikkben a cél ugyancsak a mikrotér nedvesedésének megismerése, a folyamat számításával való meghatározása. A tokozás vízgőzáteresztésének forrása most azonban a tokozáshoz használt műgyantának, illetve magának a műgyantatoknak a permeációja (vígőzáteresztése).

Ez az eset összetettebb, mint az I. részben tárgyalt, az adhéziós hiányosságok következményének számítása. A d vastagságú tok diffúziós vezetőképessége nem lineáris, ezért a fent említett $p(t)$, illetve $\varphi(t)$ függvény is — mint majd látni fogjuk — csak közvetve tudjuk meghatározni. A számítási nehézségek megértése céljából először megvizsgáljuk a tranziens permeációt. A megoldáshoz, a mikrotér nedvesedésének számításához, az eset modellezésével jutunk el.

A továbbiakban a szóban forgó, a tokozáshoz használt műanyagot egyszerűen anyagnak nevezzük. A tokot d vastagságú, vékony, nagy kiterjedésű lemezként kezeljük. Ennek megfelelően az anyagban — amelyet homogénnek is tekintünk — csak vastagság irányú (x irányú) koncentráció-gradienssel

számolunk. Az anyag D diffúziós tényezőjét állandónak tekintjük. (D korszerű műgyantáknál csak kevésbé függ a c vízgőzkoncentrációtól. $D=D(c)$ esetben, a szóban forgó c tartományra vonatkozó átlag diffúziós állandóval számolhatunk — lásd [2].)

A permeáció kinetikája d vastagságú lemezben, ha a lemez két oldala között a vízgőz parciális nyomásának különbsége állandó

A lemez x irányú koordinátái: határolja egyik oldalról a lemezt az $x=0$, a másik oldalról az $x=d$ felület. A $t=0$ időpontban legyen a vízgőzkoncentráció az anyagban mindenütt c_0 . A lemez egyik oldalán ($x=0$), a légtérben a vízgőz parciális nyomása p_1 , a másik oldalon pedig ($x=d$ -nél) p_2 ; (p_2-p_1) állandó. Feltételezve, hogy a Henry-törvény érvényes — a $c=sp$ összefüggésnek megfelelően —, a vízgőzkoncentráció az $x=0$ felületen c_1 , az $x=d$ felületen c_2 , (c_2-c_1) szintén állandó.

A kezdeti és peremfeltételek tehát — a fentieket a szokásos módon jelölve:

$$\begin{aligned} c &= c_0, & 0 \leq x \leq d, & t=0, \\ c &= c_1, & x=0, & t>0, \\ c &= c_2, & x=d, & t>0. \end{aligned}$$

A vízgőz permeációja a lemezben bizonyos ideig tranziens folyamat, s a vízgőzáram az $x=0$ felületen a t idő függvénye, a vízgőzáram instacioner.

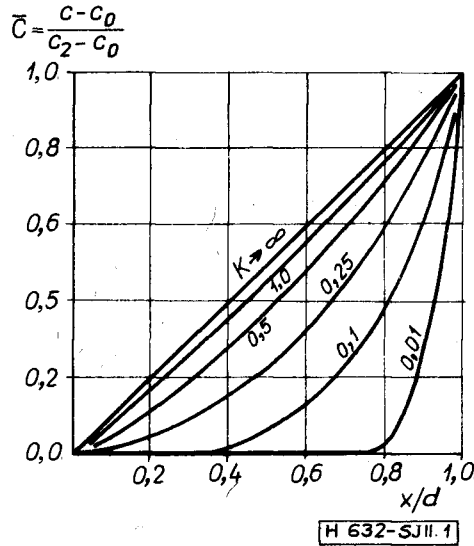
A feladat lényegében a diffúzió differenciálegyenletének megoldása a fenti kezdeti és peremfeltételekre.

Az 1. pontban elmondott feltételezések teljesülése esetén a diffúzió differenciálegyenlete, a Fick II. törvény szerint:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}. \quad (1)$$

A diffúzió (1) differenciálegyenletének megoldása fenti kezdeti és peremfeltételek esetére ismert, pl. [3] szerint:

$$\begin{aligned} c(x, t) &= c_1 + (c_2 - c_1) \frac{x}{d} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{c_2 \cos n\pi - c_1 \sin n\pi}{n} \sin \frac{n\pi x}{d} \cdot \exp(-n^2 \pi^2 D t / d^2) + \\ &+ \frac{4c_0}{\pi} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)} \sin \frac{(2m+1)\pi x}{d} \cdot \exp[-(2m+i)^2 \pi^2 \cdot D t / d^2]. \end{aligned} \quad (2)$$



1. ábra. A d vastagságú lemez permeációjának eredménye: „a koncentráció hálózat”, azaz a \bar{C} dimenzió nélküli koncentráció a lemez vastagsága mentén. $K = \pi Dt/d^2$ dimenzió nélküli időparaméter

Az 1. ábrán — [2]-ből — bemutatjuk a fenti esetre vonatkozó „koncentráció hálózat”-ot.

Az ábrán dimenzió nélküli mennyiségek szerepelnek:

a dimenzió nélküli koncentráció: $\bar{C} = \frac{c - c_0}{c_1 - c_0}$;

a dimenzió nélküli időparaméter: $K = \pi Dt/d^2$;

a dimenzió nélküli útkoordináta: x/d .

*Az ábrából látható, hogy a permeáció elvileg csak $K = \infty$ -nél lesz stacionárius; ekkor lineáris az anyagban is a c vízgőz-koncentráció gradiense. Az ábrából az is látható, hogy $K > 1$ esetén stacionárius permeációval is számolhatunk.

Pontosabb eligazítást kapunk a stacionárius állapot bekövetkezésének idejéről a következőkből.

Az egységnyi felületen t idő alatt átjutó Q_t vízgőz-mennyiség $x=0$ -nál:

$$Q_t = \int_0^t D \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)_{x=0} dt.$$

A (2) egyenlet felhasználásával

$$Q_t = \frac{D(c_2 - c_1)}{d} t + \frac{2d}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{c_2 \cos n\pi - c_1}{n^2} (1 - e^{-n^2 \pi^2 Dt/d^2}) + \frac{4c_0 d}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^2} [1 - e^{-(2m+1)^2 \pi^2 Dt/d^2}]. \quad (3)$$

A permeációs állandó mérésénél általában mind c_0 , mind c_1 zérus. Ezekkel a kezdeti és peremfeltételekkel (3) céljainkra kezelhetőbbé válik:

$$Q_t = \frac{Dc_2}{d} t - \frac{dc_2}{6} - \frac{2dc_2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} e^{-n^2 \pi^2 Dt/d^2}. \quad (4)$$

A 2. ábrán Q_t/dc_2 -t ábráztunk a $T = Dt/d^2$ dimenzió nélküli időtényező függvényében.

Ha $t \rightarrow \infty$, a (4) egyenlet az alábbi egyenesbe megy át:

$$Q_t = \frac{Dc_2}{d} \left(t - \frac{d^2}{6D} \right). \quad (5)$$

Az egyenes (tulajdonképpen a Q_t görbe asszimptótája) a t_L időpontban metszi az időtengelyt. A

$$t_L = \frac{d^2}{6D} \text{ értéket} \quad (6)$$

„időkésés”-nek is nevezik, jellemző a permeáció transziens szakaszának elhúzódására.

A 2. ábrából is kivehető, hogy az állandósult állapot, a stacionárius permeáció $t > t_L$ -nél, a $Dt/d^2 = 0,45$ értéktől kezdődik.

A permeációs állandó

A permeációs állandó fogalmához a stacionárius permeációra vonatkozó összefüggéseket kell megismernünk. A vízgőz parciális nyomása az $x=0$ felület menti légtérben, mint láttuk, p_1 , $x=d$ -nél pedig p_2 . A megfelelő vízgőz-koncentráció az anyag felületén, a Henry-törvénynek megfelelően: $c_1 = s \cdot p_1^*$; $c_2 = s \cdot p_2^*$ (s az ún. oldódási tényező. Az n kitevőt műgyanták esetében 1-nek vehetjük [2]).

A J diffúziós áramsűrűség (az egységnyi felületen egységnyi idő alatt átáramló vízgőzmennyiség) a Fick I. törvény szerint

$$J = -D dc/dx. \quad (7)$$

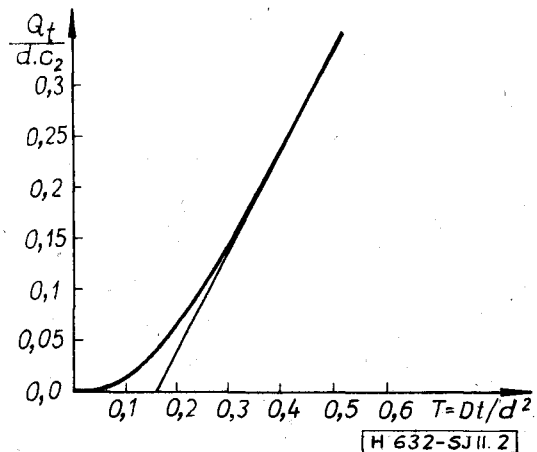
D a diffúziós tényező, dc/dx a vízgőz-koncentráció x irányú gradiense az anyagban.

A (7) differenciálegyenlet megoldása stacionárius esetben:

$$J \int_0^d dx = Jd = - \int_{c_1}^{c_2} D dc = -D(c_2 - c_1). \quad (8)$$

J abszolút értéke a $c = s \cdot p$ helyettesítéssel:

$$J = Ds \frac{p_2 - p_1}{d} = P \frac{p_2 - p_1}{d}. \quad (9)$$



2. ábra. Fajlagos vízgőzáram az $x=0$ felületen a T időparaméter függvényében

$P = sD$ a permeációs állandó (áteresztési tényező). Ha J [g/cm²·s], p [dyn/cm²] és d [cm], akkor P [gcm/dyn·s]. P dimenzióját gyakran [g/cm·h·Hgmm]-ben adják meg (1 Hgmm = 133,322 Pa = 133,322 N/m² = 1333,22 dyn/cm²).

Diffúziós ellenállásszám

Azonos körülmények között μd levegőréteg egy-egy négyzetméterének J_g stacionárius vízgőzárama megegyezik a d vastagságú anyag egységnyi felületének (9) szerinti J vízgőzárásával:

$$J_g = D_e \frac{c_{g2} - c_{g1}}{\mu d} = \frac{D_g}{R_g T} \cdot \frac{p_2 - p_1}{\mu d} = P_g \frac{p_2 - p_1}{\mu d} \quad (10)$$

(9) szerint

$$J = P \frac{p_2 - p_1}{d}$$

Mint ahogy

$$J_g = J, \quad P = P_g / \mu \quad (10a)$$

μ az ún. diffúziós ellenállásszám.

(10)-ben D_g a vízgőz-levegő rendszer diffúziós állandója, c_g a vízgőzkoncentráció a levegőben T hőmérsékleten. A gáztörvény szerint $c_g = p / (R_g \cdot T)$, ahol p a vízgőz parciális nyomása T hőmérsékleten, R_g a vízgőzre vonatkozó gázállandó.

A d vastagságú, F felületű lemez diffúziós (permeációs) vezetőképessége

Alakítsuk át (9)-et úgy, hogy p helyére a $p = c_g R_g T$ kifejezés kerüljön, és szorozzuk meg J -t a lemez F felületével. Az F felület I [g/s] vízgőzárására a következő kifejezést kapjuk:

$$I = \frac{P(R_g T) F}{d} (c_{g2} - c_{g1}) \quad (11)$$

Mint ahogy I áram, $(c_{g2} - c_{g1})$ pedig feszültség jellegű mennyiség, villamos analógia alapján,

$$\frac{P(R_g T) F}{d} = S_p \quad (12)$$

vezetőképesség jellegű mennyiség. S_p hasonlít a tömítéshiba (F felületű, d hosszúságú nyílás) $S = D \cdot F / d$ diffúziós vezetőképességére (lásd [5]). A $P(R_g T)$ mennyiség dimenziója azonos a D diffúziós állandóéval. S_p -t analóg módon a tok diffúziós (permeációs) vezetőképességének nevezhetjük. Az S_p vagy az

$$S_p / F = P(R_g T) / d \quad (13)$$

érték jellemző egy adott anyagból készült tok vízgőz-áteresztésére.

Szükséges mindjárt megjegyezni, hogy míg a tömítéshiba esetében az S diffúziós vezetőképesség lineáris, azaz nem függ a vízgőz parciális nyomásától (a c_g vízgőz-koncentrációtól), addig az S_p érték nem lineáris. S_p értéke csak a stacionárius permeáció szakaszában állandó, egyébként — mint láthattuk is — az anyag c vízgőz-koncentrációjának, tehát az útnak és időnek bonyolult függvénye.

S_p formális képzése tehát csak stacionárius vízgőz-áteresztés esetére lehetséges.

A permeáció stacionárius szakasza kialakulásának idejére vonatkozó számítási példa

Fontos annak ismerete, hogy mennyi ideig tart a permeáció tranziens szakasza.

Vizsgáljuk meg egy számítási példa kapcsán, hogy milyen mértékű a korábbiakban bemutatott, a (6) összefüggés szerinti t_L időkézés, és mennyi idő kell a stacionárius permeáció kialakulásához. Ezek ismerete igen fontos. Az anyagok P permeációs állandójának helyes értékét ugyanis csak ezek ismeretében határozhatjuk meg.

Legyen a kérdéses anyag vastagsága: $d = 0,1$ cm. A D diffúziós állandót, a [4]-ben szereplő kritérium figyelembevételével választottuk meg: $D = 10^{-5}$ (cm²/ó).

A (6) összefüggés szerinti időkézés ezekkel az értékekkel:

$$t_L = d^2 / 6 \cdot D = 0,1^2 / 6 \cdot 10^{-5} = 166,67 \text{ ó} \approx 7 \text{ nap.}$$

A stacionárius permeáció — [3] szerint, de a 2. ábrából is kivehető — a $Dt/d^2 = 0,45$ értéktől számítható. A 0,45-höz tartozó t_A idő a példabeli adatokkal:

$$t_A = 0,45 \cdot 0,1^2 / 10^{-5} \text{ ó} = 450 \text{ ó} = 18,75 \text{ nap.}$$

A példa szerinti idők figyelmen kívül hagyása hiba lenne. A P permeációs állandó mérésénél tehát ezeket az időket — D becslésével — célszerű meghatározni, hogy a P számításához szükséges mennyiségeket lehetőleg az állandósult állapot (stacionárius vízgőzáteresztés) megközelítésekor mérjük.

Másik gyakorlati haszon a permeáció kinetikájának ismeretéből:

Ha az $x=0$ felületen átáramló vízgőzmennyiséget a t idő függvényében meg tudjuk határozni, felrajzolhatjuk a $Q_t = f(t)$ görbét. A görbe asszimptótája (2. ábra) a t tengelyből a (6) összefüggés szerinti t_L -t metszi ki. t_L ismertében viszont a D diffúziós állandó meghatározható.

Modell a tok és a mikrotér nedvesedésének számítására

Az anyagban lejátszódó permeáció kinetikáját vizsgálva megállapítottuk, hogy az anyag vízgőz-áteresztésének folyamata viszonylag hosszú ideig tranziens abban az esetben is, amikor a d vastagságú anyag két oldalán, a légtérben, a vízgőz parciális nyomásának különbsége állandó. A mikrotérben azonban, az anyag $x=0$ felületén átáramló $I(t)$ vízgőzárám hatására a vízgőz parciális nyomása is megváltozik. Ez a tény új egyensúlyi helyzetet kíván meg az anyag $x=0$ felületén, és következésképpen magában az anyag belsejében is. Mint ahogy a (12) kifejezés szerinti diffúziós (permeációs) vezetőképesség nem lineáris (nem független a vízgőz p parciális nyomásától), a mikrotér nedvesedésének számítása, a $p(t)$, illetve a $\varphi(t)$ függvény meghatározása az [1]-ben leírt módon már nem lehetséges.

Olyan utat kell tehát választanunk, amellyel a szóban forgó esetet olyan esetre vezethetjük vissza, amelyre a diffúzió egyenlete matematikailag megoldott.

Gyakorlati számítások céljára egyébként is lehetőleg könnyen kezelhető matematikai formula megtalálása a cél.

A tokozást, a d vastagságú tokot és a mikrotér V légterét, a számítások céljára a következő modellel helyettesítjük:

A mikrotér h szélességű légterét két oldalról d vastagságú anyag fogja közre. A h vastagságú levegőréteget egyenértékű h' anyagvastagsággal helyettesítjük.

Így $(2d+h')$ vastagságú anyagot kapunk, amelynek koordinátái x irányban: $x = \pm \left(d + \frac{h'}{2}\right)$.

A modell szerinti „anyag” tranziens diffúzióját kell megvizsgálni az alábbi kezdeti és peremfeltételekre:

$$\begin{aligned} c &= c_0, & -(d+h'/2) < x < +(d+h'/2), & t=0, \\ c &= c_2, & x = -(d+h'/2) \text{ és } x = +(d+h'/2), & t>0, \\ \partial c / \partial x &= 0, & x=0, & t>0. \end{aligned}$$

A vízgőz-koncentráció $c(t)$ időfüggvénye $x=0$ -nál, közvetve a mikrotér légtere nedvességének folyamataát írja le.

A modell alkalmazhatóságának indoka:

- az anyag–mikrotér határon a $c=s \cdot p$ összefüggésnek megfelelő egyensúlyi állapot, ha nem is egy pillanat alatt, de nagyon gyorsan létrejön. Az anyag–légtér határon végbemenő párolgási folyamat és a h vastagságú légtérben a diffúzió időállandója az anyagban végbemenő diffúzióéhoz képest elhanyagolhatóan kicsi;
- az előzőekben láthattuk, hogy azonos diffúziós vízgőzáramot figyelembe véve, a d vastagságú anyag μd levegőréteggel egyenértékű. A mikrotér h nagyságú légtérnek tehát $h' = h/\mu$ anyagvastagság felel meg. Tudjuk azonban, hogy a tokozásra használt műgyanták esetében μ értéke igen nagy (pl. $10^4 - 10^5$), ugyanakkor kis mikrotereknel a h levegőréteg nagysága a d vastagság nagyságrendjébe esik. Ebből az következik, hogy h' olyan kicsire adódik, hogy el is hanyagolható (de figyelembevétele sem okoz számítási nehézségeket).

A mikrotér légtere nedvesedésének folyamatát tehát a modellnek megfelelően, a tok anyagának tranziens diffúziója alapján határozzuk meg úgy, hogy kiszámítjuk a $2d$ (vagy a $2d+h'$) vastagságú anyag közepén a vízgőz-koncentráció $c(t)$ időfüggvényét.

A tokozást a φ_2 relatív légnedvességű térbe helyezve, az anyag $\pm d$ felületén a vízgőz-koncentráció $c_2 = s \cdot p_2$ lesz. A diffúzió (1) egyenlete a szóban forgó esetre matematikailag – pl. [3] szerint megoldott.

A megoldás az alábbi kezdeti és peremfeltételekre

$$\begin{aligned} c &= c_0, & -d \leq x \leq +d, & t=0, \\ c &= c_2, & x = \pm d, & t>0, \\ \partial c / \partial x &= 0, & x=0, & t>0. \end{aligned}$$

$x=0$ -nál a következő:

$$\frac{c-c_0}{c_2-c_0} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \exp[-(2n+1)^2 \pi^2 Dt / 4d^2]. \quad (14)$$

A végtelen sorozat (14)-ben nagy t időknél, illetve nagy Dt/d^2 értékeknél gyorsan konvergál.

A következő (15) egyenlet ugyancsak megoldása (1)-nek. Az $x=0$ -ra vonatkozó megoldás – [3]-ból – a következő:

$$\frac{c-c_0}{c_2-c_0} = 2 \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \left\{ 1 - \Phi \left[\frac{(2n+1)d}{2\sqrt{Dt}} \right] \right\}. \quad (15)$$

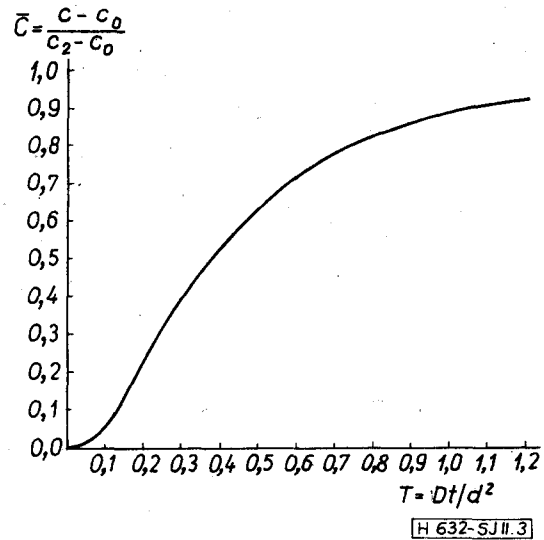
$\Phi(x)$ a Gauss-féle hibaintegrál:

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-\xi^2} d\xi. \quad (16)$$

(Az angolszász irodalomban $[1 - \Phi(x)]$ -re az $\text{erfc } x$ jelölést használják!)

A (15) egyenlet érdekessége (14)-gyel szemben az, hogy a végtelen sorozat kis t időknél, illetve kis Dt/d^2 értékeknél konvergál gyorsan.

Az $x=0$ -ra vonatkozó $c(t)$ függvénnyel való számítások céljára a 3. ábrán a (14) egyenlet szerinti megoldást ábrázoltuk, dimenzió nélküli mennyiségekkel:



3. ábra. A $2d$ vastagságú lemez közepére vonatkozó $\bar{c} = f(T)$ függvény

$$\bar{c} = \frac{c-c_0}{c_2-c_0} \text{ a dimenzió nélküli koncentráció,}$$

$$T = Dt/d^2 \text{ a dimenzió nélküli időtényező.}$$

A számításokat a 3. ábra segítségével gyorsan el lehet végezni. Célszerű azonban az eredményt, T értékétől függően vagy (14), vagy (15) alapján ellenőrizni.

A mikrotér nedvesedését meghatározó tényezők kölcsönhatásának bemutatására vonatkozó példák

Kezdeti és peremfeltételek a példákhoz

A mikrotérben a relatív légnedvesség a $t=0$ időpontban: $\varphi_0 = 0,4$. A $c=s \cdot p$ összefüggésnek megfelelően a vízgőz-koncentráció az anyagban: $c_0 = s \cdot 0,4 \cdot p_1$, p_1 a vízgőznyomás telített értéke T hőmérsékleten.

A környezetben a relatív légnedvesség $\varphi_2=0,9$. Az ennek megfelelő vízgőz-koncentráció az anyag $x=+d$ felületén: $c_2=s \cdot 0,9 \cdot p_1$.

A kezdeti és peremfeltételek az anyagra vonatkozóan:

$$\begin{aligned} c &= c_0, & -d \leq x \leq +d, & t=0, \\ c &= c_2, & x = \pm d, & t > 0, \\ \partial c / \partial x &= 0, & x=0, & t > 0. \end{aligned}$$

További adatok a példákhoz

A tok vastagsága: $d=0,1$ cm.

A műgyanta D diffúziós állandóját a [4]-ben szereplő kritérium alapján választottuk meg. Nedves környezetben — [4] szerint — azok a szigetelőanyagok mondhatók alkalmasnak, amelyeknek D diffúziós állandója $< 10^{-5}$ cm²/ó (ezt a követelményt a korszerű műgyanták kielégítik).

D -re a kritérium határesetét jelentő 10^{-5} cm²/ó értéket választottuk a példák céljára.

Másik érdekes kritérium a relatív légnedvesség kritikus értéke. A kritikus érték azt jelenti, hogy a kritikusként felfogott relatív légnedvességnél nagyobb értéktartományban kell számolni feltétlen károsodással. A példákhoz a kritikus relatív légnedvességet $\varphi_1=0,7$ -re választottuk. A hőmérséklet mind a környezetben, mind a mikrotérben azonos: $T=298$ °K.

a) A mikrotérben a kritikus légnedvesség kialakulása t_1 idejének számítása (1. példa)

Kérdés: Mennyi idő alatt éri el a vízgőz-koncentráció $x=0$ -nál a $\varphi_1=0,7$ kritikus relatív légnedvességnek megfelelő c_1 vízgőz-koncentráció értéket, az adott kezdeti és peremfeltételek mellett?

A \bar{C} dimenzió nélküli koncentráció az adatokkal:

$$\bar{C} = \frac{c_1 - c_0}{c_2 - c_0} = \frac{0,7 - 0,4}{0,9 - 0,4} = 0,6.$$

A 3. ábrából, a $\bar{C}=f(T)$ görbéből, $\bar{C}=0,6$ -hoz a $T=0,47$ dimenzió nélküli időtényező érték tartozik. $T=Dt/d^2$, a kérdéses t_1 idő tehát:

$$t_1 = Td^2/D = 0,47 \cdot 0,1^2 / 10^{-5} = 470 \text{ ó} = 19,58 \text{ nap.}$$

A (14) egyenlet alapján ellenőriztük t_1 helyességét.

b) A vízgőz-koncentráció fajlagos növekedése $x=0$ -nál előírt igénybevételi idő után (2. példa)

Nedves környezetben alkalmazott gyártmányoknál előírják azt, hogy milyen idejű nedves-meleg igénybevételt kell alkalmazni a gyártmány nedvességállóságának ellenőrzésére. (Ha a nedves-meleg igénybevétel hőmérséklete magasabb, mint 298 °K, pl. 313 °K, akkor a példa szerinti D értéket meg kell növelni. Feltételezzük, hogy D a hőmérséklet 3/2-ik hatványával növekszik, D tehát $1,076 \cdot 10^{-5}$ cm²/ó lesz e példában.)

Legyen a vizsgálati idő 7 nap = 168 ó.

Számítsuk ki, hogy a vízgőz-koncentráció növekedés az $x=0$ felületen maximálisan lehetséges növekedés ($c_2 - c_0$), hány százaléka lesz 7 nap után.

A feladat lényegében a $\bar{C}=(c-c_0)/(c_2-c_0)$ érték meghatározása.

Határozzuk meg \bar{C} -t a (15) egyenlet segítségével. Minthogy a $Dt/d^2=1,076 \cdot 10^{-5} \cdot 168/0,1^2=0,18$ érték kicsi, (15)-ben a végtelen sorozat első tagja is megfelelő eredményt biztosít. (15)-ből tehát a következő egyszerűbb összefüggést nyerjük:

$$\begin{aligned} \bar{C} &= 2 \left[1 - \Phi \left(\frac{d}{2\sqrt{Dt}} \right) \right] = 2 \left[1 - \Phi \left(\frac{0,1}{2\sqrt{1,076 \cdot 10^{-5} \cdot 168}} \right) \right] \\ \bar{C} &= 2[1 - \Phi(1,176)] = 0,1938. \end{aligned}$$

A koncentráció növekedése tehát 19,38%.

c) A műgyanta tok nedvességfelvételének az átlagos vízgőz-koncentráció alapján való számítása (3. példa)

Az anyagban a vízgőz-koncentráció alakulásának, $c(x, t)$ -nek vagy a mikrotérben a vízgőz parciális nyomásának, illetve a relatív légnedvesség alakulásának mérésével való követése elég nehéz feladat lenne. Könnyebben megoldható a műgyanta tok által felvett vízgőz mennyiség mérése (az anyagban az átlag vízgőzkoncentráció változásának mérése). Ha ismerjük a nedvességfelvétel törvényszerűségét, és a folyamatokban domináns a Fick-törvényt követő diffúzió, tehát az anyag nedvesedése is követi a nevezett törvényszerűséget, a szóban forgó anyag vízfelvételének mérésével jól ellenőrizhető a számunkra érdekes $c(x=0, t)$ függvény alakulása.

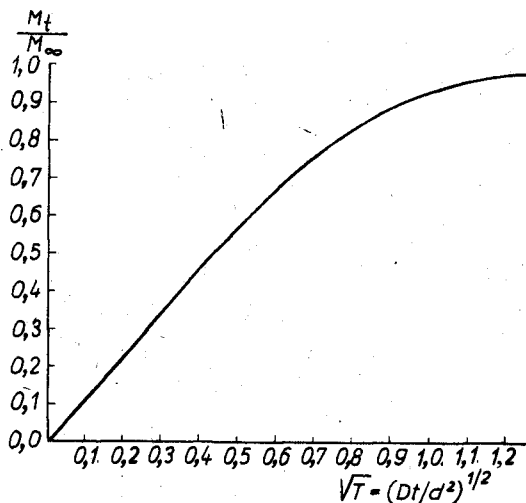
A (14) egyenlettel leírt esetben a vízgőz M_t teljes mennyisége, amely t idő alatt a d vastagságú lemezbe diffundál, a következő kifejezéssel írható le:

$$M_t = M_\infty \left\{ 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp[-(2n+1)^2 \pi^2 Dt / 4d^2] \right\},$$

M_∞ a végtelen idő alatt felvett vízgőz mennyiség.

A 4. ábrán az $M_t/M_\infty = f(\sqrt{T})$ összefüggést ábrázoltuk, $T=Dt/d^2$.

Az 1. példában [lásd a) pont] a mikrotérben



H 632-SJ II. 4

4. ábra. A $2d$ vastagságú lemez átlagos vízgőz-koncentrációjának és fajlagos nedvességfelvételének változása a T dimenzió nélküli időtényező függvényében

($x=0$) a kritikus relatív légnedvesség kialakulásának idejét határoztuk meg; t_1 -re 470 ó-t kaptunk. Számítsuk ki, hogy ugyanezen idő alatt milyen M_t/M_∞ értéket kellene kapnunk (D , d és t értéke ugyanaz, mint az 1. példában).

$$\sqrt{T} = (Dt/d^2)^{1/2} = 10^{-5} \cdot 470/0,1^2 = 0,6855.$$

A 4. ábrából ehhez a \sqrt{T} értékhez $M_t/M_\infty = 0,745$ tartozik.

A cikkben megfogalmazottak birtokában még nagyon sokféle vizsgálódásra van lehetőség. A cikk korlátai miatt a példákkal csak illusztrálni kívántuk ezeket. Konkrét gyakorlati esetek analizálását ki-ki

maga is elvégezheti. Ehhez kívántunk a cikkben alapot adni, legalábbis indító gondolatokat megfogalmazni.

IRODALOM

- [1] Sulyok J.: Műanyagtokozással védett elemek kryptoklimája nedves környezet esetén. I. rész
HIRADÁSTECHNIKA, XXX. (1979) 3. sz. 79—82. old.
- [2] Klopfer, H.: Wassertransport durch Diffusion in Feststoffen. Bauverlag 1974
- [3] Crank, J.: The mathematics of Diffusion. Oxford, 1970
- [4] Szigetelőanyagok vízgőzdiffúziója. (Nem publikált jelentés)
- [5] Sulyok J.: Tokozások gázszivárgása következményének számítása. HIRADÁSTECHNIKA, XXX. (1979) 1. sz. 10—14. old.