

# Műanyagtokozással védett elemek kryptoklimája nedves környezetben I. rész

ETO 62-213-036:532.72

A műanyagtokozás a környezeti tényezők hatásával szembeni védelem hatásos módja. A környezeti tényezők hatásával szemben érzékeny gyártmányok esetében azonban a védelem hatásosságáról meg kell győződnünk. A vizsgálatok ugyanis azt mutatták, hogy a műanyagtokozás sem zárja ki tökéletesen a környezet és a gyártmány mikrotere közötti anyagtranszportot. A műanyagtokozás zártságának, tömítettségének fokától függően ezért a környezet gáznemű légszennyezői bejuthatnak a gyártmány belső terébe (mikroterébe), s a gyártmány megbízható üzemét idővel veszélyeztethetik.

A műanyagtokozás gázáteresztésének két okával foglalkozunk:

a környezet és a mikrotér közötti transzportfolyamatokat lehetővé teszik a műanyag és a fémkivezetések érintkező felületénél, adhéziós hiányosságok által keletkező nyílások,

a másik lehetőség a környezet és a mikrotér közötti anyagtranszportra magának a tokozóanyag-nak a gázáteresztése.

A cikk I. részében az adhéziós hibák révén keletkező nyílásokon át végbemenő transzportfolyamatokkal és azok következményének számításával foglalkozunk. A II. részben vizsgálódásunk tárgya a tokozóanyagként használt műanyag gázáteresztése, a tok gázáteresztése, konkrétan: vízgőzáteresztése,

A környezeti tényezők közül az atmoszférában szinte mindenütt jelenlévő nedvesség szerepe emelkedik ki. A szállítás, raktározás során s az üzemszünetekben a légnedvesség általában igen sok gondot okoz. Környezeti tényezőként ezért a légnedvességet választottuk. A számítások azonban bármely más gáznemű légszennyező esetére is érvényesek.

A számítások célja az, hogy adott kezdeti és peremfeltételek esetére meghatározzuk a vízgőz parciális nyomásának (vagy a relatív légnedvességnek) a mikrotérre vonatkozó időfüggvényét. Ez az időfüggvény fogható fel a gyártmány belső terének kryptoklimájaként. Az időfüggvény birtokában több oldalról is lehet vizsgálni a gyakorlatban felvetődő kérdéseket, a szerepet játszó tényezők hatását, kritériumok megválasztásának szempontjait.

Az [1] cikkben láthattuk, hogy a tokozáson levő nyílás, tömés-hiba  $S$  diffúziós vezetőképessége lineáris, azaz nem függ a vízgőz parciális nyomásától. Ez esetben viszonylag egyszerűen számítható a vízgőz parciális nyomásának, illetve a relatív légnedvességnek a mikrotérre vonatkozó időfüggvénye.

A tokozóanyag, pontosabban a műgyantatok vízgőzáteresztésénél nem lehet a  $p$  parciális nyomástól és a vízgőznek az anyagban kialakuló  $c$  koncentrációjától független, tehát lineáris  $S$  diffúziós vezetőképességet képezni. A formálisan képezhető  $S$  diffú-

ziós vezetőképesség ugyanis csak stacionárius vízgőz-áteresztésre (permeációra) igaz. Ez azonban — mint látni fogjuk — elvileg csak a teljes egyensúly beálltakor következik be. A permeáció folyamata az anyagban a környezet és a mikrotér közötti egyensúly eléréséig az út és az idő bonyolult függvénye: tranziens folyamat. A mikrotér állapotának meghatározásához tehát ez utóbbi esetben sajátos utat kell választanunk.

A cikkben e problémákat bemutatva jutunk majd el a számításra alkalmas megoldásig.

Az adhéziós hibákon át létrejövő domináns transzportfolyamat jellemzői és összefüggései

## Szivárgási sebesség

A műanyagtokozás adhéziós hibái következtében létrejövő nyílások mérete s a nyílás geometriája általában nem ismeretes. A nyílások — a rajtuk keresztül végbemenő transzportfolyamatok szempontjából — a tömítésvizsgálattal [2] meghatározható szivárgási sebességgel jellemezhetők. A szivárgási sebesség [2] szerint annak a száraz gáznak a sebessége, amely egy nyíláson át, a nyílás mentén fennálló ismert nyomáskülönbség hatására, adott hőmérsékleten, egységnyi idő alatt átfolyik. Szó van [2]-ben az  $R$  mért szivárgási sebességről és az  $L$  ekvivalens szivárgási sebességről. Az előbbi előírt gázzal, előírt körülmények között meghatározott szivárgási sebesség, az utóbbi adott gyártmány szabványos szivárgási sebessége, ha a vizsgáló gáz levegő. A szabványos körülmény: 25 °C hőmérséklet, 1 bar nyomáskülönbség.

A szivárgási sebességnek a vizsgálatoknál használt egysége: 1 bar·cm<sup>3</sup>/s (1 bar·cm<sup>3</sup>/s=0,1 Pa·m<sup>3</sup>/s). A cikkben a bar·cm<sup>3</sup>/s egységet használjuk.

## A nyílás vezetőképessége

A környezet és a gyártmány mikrotere között a vízgőz parciális nyomásának  $\Delta p$  különbsége a vízgőz diffúzióját okozza a nyíláson át.

A  $d$  átmérőjű,  $z$  hosszúságú kapillárison át létrejövő diffúziós áramnál, ha teljesül a  $z \gg d$  és a  $d \gg \lambda$  feltétel ( $\lambda$  a molekulák szabad úthossza  $P$  abszolút nyomáson és  $T$  hőmérsékleten), az  $R$  szivárgási sebesség:

$$R = \frac{d^2 \pi}{4} D \frac{\Delta p}{z} \quad \text{bar} \cdot \text{cm}^3/\text{s}. \quad (1)$$

$D$  a vízgőz—levegő rendszer diffúziós állandója [cm<sup>2</sup>/s].

Míthogy (1)-ben  $\Delta p$  feszültség jellegű mennyiség,  $R$ -et áramként foghatjuk fel, s így a

$$\frac{d^2 \pi}{4} \frac{D}{z} = S \quad (2)$$

mennyiség vezetőképesség lesz, mégpedig a rendszer diffúziós vezetőképessége.  $S$  lineáris, nem függ  $p$ -től.

Ha a nyílás  $d$  átmérője (illetve a kapillárisnak az áramlásra merőleges legkisebb mérete) kisebb, mint a molekulák  $\lambda$  szabad úthossza, a diffúziós áram azonos a molekuláris árammal. A szivárgási sebesség ebben az esetben:

$$R_M = \frac{\pi}{12} d^3 \bar{v} \frac{\Delta p}{z} \quad (3)$$

A molekuláris vezetőképesség pedig:

$$S_M = \frac{\pi}{12} \frac{d^2 \bar{v}}{z} \quad (4)$$

$\bar{v}$  a vízgőzmolekula átlagsebessége.

A tokozáson levő nyílást tehát az  $R$  szivárgási sebességéből számítható

$$S = \frac{R}{\Delta p}$$

diffúziós vezetőképességgel jellemezhetjük.

Megjegyzés: -

Az (1) összefüggés megfelel a talán jobban ismert, a Fick I. törvényből adódó alábbi egyenletnek:

$$I = \frac{d^2 \pi D}{4} \frac{\Delta c}{z} \quad (5)$$

ahol

$I$  a diffúziós vízgőzáram az  $F = d^2 \pi / 4$  felületen át [g/s];  $c$  a vízgőzkoncentráció a levegőben [g/cm<sup>3</sup>]. Ha az (5) egyenletet megszorozzuk az  $R_g T$  mennyiséggel, pontosan (1)-et kapjuk:

$$I \cdot (R_g T) = \frac{d^2 \pi D}{4z} \Delta c (R_g T) = \frac{d^2 \pi D}{4z} \Delta p = S \Delta p = R.$$

A gáztörvényből ugyanis  $\Delta c = \Delta p / (R_g T)$ :  $p$  a vízgőz parciális nyomása  $T$  hőmérsékleten,  $R_g$  a vízgőzre vonatkozó gázállandó.

Az  $S$  diffúziós vezetőképesség tehát akár (1)-ből, akár (5)-ből származtatható:

$$S = \frac{R}{\Delta p} = \frac{I}{\Delta c} \quad (6)$$

Az  $L$  ekvivalens szabványos szivárgási sebességéből adódó diffúziós vezetőképesség

Az  $L$  ekvivalens szabványos szivárgási sebesség — mint tudjuk — az a szabványos szivárgási sebesség, amelynél a vizsgáló gáz levegő. A szabványos feltételek: 25 °C hőmérséklet, a  $\Delta p$  nyomáskülönbség 1 bar. (A különböző módon meghatározott  $R$  szivárgási sebességet az összehasonlíthatóság miatt át kell számítani  $L$ -re.)

$L$  bar·cm<sup>3</sup>/s-ban megadott érték. Minthogy  $\Delta p = 1$  bar,  $L$  számértéke — gondoljunk csak (1)-re — éppen az  $S$  vezetőképesség számértéke cm<sup>3</sup>/s-ban.

Diffúziós áram esetén a levegőre vonatkozó  $L$ ,  $S$  így az  $S$  érték is ugyanaz, mint vízgőzre.

A vízgőzre vonatkozóan a nyílás diffúziós vezetőképességének számértéke az  $L$  ekvivalens szabványos szivárgási sebesség számértékével azonos, dimenziója: cm<sup>3</sup>/s.

Molekuláris áram esetén már nem ez a helyzet:

$$L_g = L(M/M_g)^{1/2};$$

$M$  a levegő,  $M_g$  a víz molekulásúlya.

A vízgőz parciális nyomásának mikrotérre vonatkozó időfüggvénye

Ha a környezetben a vízgőz  $p_k$  parciális nyomása állandó, a mikrotérre vonatkozó  $p(t)$  időfüggvény villamos analógia segítségével könnyen levezethető [3]. A villamos analógia alkalmazása összetettebb esetekben (lásd [3] II. rész) jár lényeges számítási előnyökkel.

A szóban forgó esetben a  $p(t)$  függvény az alábbiak szerint is könnyen megfogalmazható:

A  $V$  térfogatban a parciális nyomás megváltozása  $dt$  idő alatt (1)-et és (2)-t is figyelembe véve:

$$dp = \frac{R}{V} dt = \frac{S}{V} \Delta p \cdot dt = \frac{S}{V} [p_k - p(t)] dt \quad (7)$$

A (7)-ből adódó

$$\frac{dp}{p_k - p(t)} = \frac{S}{V} dt \quad (8)$$

differenciálegyenlet megoldása  $p(0) = p_0$  kezdeti feltételre:

$$p(t) = p_k - (p_k - p_0) \exp(-tS/V) \quad (9)$$

A  $V/S = \Theta$  mennyiség a rendszer időállandója.

A (9) egyenlet, ha a hőmérséklet a környezetben és a mikrométerben azonos, átírható a relatív légnedvesség  $\varphi(t)$  időfüggvényére. A relatív légnedvesség:  $\varphi = p/p_t$  ( $p_t$  a vízgőznyomás telített értéke az adott hőmérsékleten).

A  $\varphi(t)$  függvény (9) átírásával így alakul:

$$\varphi(t) = \varphi_k - (\varphi_k - \varphi_0) \exp(-tS/V) \quad (10)$$

$\varphi_k$  a relatív légnedvesség a mikrotérben állandó;  $\varphi_0$  a relatív légnedvesség a mikrotérben a  $t=0$  időpontban.

Műanyagtokozású félvezető alkatrész vízgőzáteresztése

A következőkben gyakorlati példát mutatunk be [4] alapján, egy konkrét gyártmány vizsgálatakor észlelt adhéziós hiba és műgyanta-permeáció együttes jelentkezésére.

Az ismertetett vizsgálat lényege a következő: A vizsgálat során műanyag tokozású félvezető egység (14 vezetős DIL, „dual-in-line” tokozás) vízgőzáteresztését határozták meg a következő módon:

A tokozott gyártmány felső felületéről a műanyag réteget meghatározott felületrészen koptató lésgugárral eltávolították. A mikroteret ezen a felületen keresztül összekötötték egy olyan térrel, amelyben

a vízgőz parciális nyomása zérus volt (az illető térben száraz nitrogén gázt áramoltattak). A gyártmány többi része 100% relatív légnedvességű térrel érintkezett. Az adhéziós hibákon keresztül áramló és a műgyanta tokon átjutó vízgőz mennyiségét elektrolitikus nedvességmérővel határozták meg. A  $P_t$  teljes vízgőzáteresztésből az adhéziós hibákat reprezentáló nyílásokra jutó  $P_1$  értéket úgy kapták meg, hogy külön meghatározták a műanyagtok  $P_m$  vízgőzáteresztését, és  $P_t$ -ből kivonták a  $P_m$  értéket. A  $P_t$ ,  $P_m$  és  $P_1$  permeációs sebességértékeket  $10^{-6}$  g/hét egységben az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat

Műanyagtokozású félvezető alkatrész vízgőzáteresztése (10<sup>6</sup>.g/168 ó)

A tokozóanyag	$P_t$	$P_m$	$P_1$
Epoxi/anhidrid			
kód: E	85	55	30
G	48	36	12
L/B	160	80	80
Epoxi/novolakk			
kód: M	350	250	100
Szilikon			
kód: J <sub>1</sub>	1500	500	1000
J <sub>2</sub>	650	350	300
J <sub>3</sub>	650	570	80
Szilikon „back filling” J <sub>4</sub>	400	450	- 50

$P_1$  permeációs sebesség az adhéziós hibákon át,  
 $P_m$  permeációs sebesség a műgyantán át,  
 $P_t = P_m + P_1$ .

Megjegyzés: A táblázatban szereplő „back filling” technika azt jelenti, hogy a normál szilikon-gyanta tokozást még vákuumimpregnálásnak vetették alá. Ennek célja az volt, hogy az adhéziós hibákat zérusra csökkentse ( $P_1$  negatív értéke a két külön mérés együttes hibájából adódik, az utóimpregnálás végeredményben megszüntette az adhéziós hibákat).

A táblázatból képet kapunk a vízgőzáteresztés nagyságrendjére. Szembetűnő, hogy a műgyanta vízgőzáteresztését reprezentáló  $P_m$  értékek jelentős hányadot képviselnek a  $P_t$  értékekben. A műgyanta-

tok vízgőzáteresztését, a műgyanta permeációs tulajdonságait tehát nem szabad figyelmen kívül hagyni. (A cikk második részében ez utóbbi kérdést vizsgáljuk meg részletesebben.)

A tokozás szivárgási sebességére, diffúziós vezetőképességére vonatkozó kritériumok kérdése

Az hogy a gyakorlatban milyen adhéziós hiba, illetve annak megfelelő szivárgási sebesség, diffúziós vezetőképesség vagy az egész rendszert jellemző időállandó engedhető meg, nem egyszerűen elhatározás kérdése. A kritériumok megfogalmazásánál a kezdeti és peremfeltételeket, valamint az egyes tényezőknek a (9) összefüggés szerinti kölcsönhatását kell figyelembe venni.

A szivárgási sebesség, az időállandó megengedett (maximális) értékével kapcsolatban a következőkben bemutatunk néhány eligazodást segítő adatot:

a) A tömítésvizsgálatnál a szivárgási sebesség nagysága alapján megkülönböztetnek „gyenge” és „erős” szivárgást. Gyenge szivárgás esetén az ekvivalens szabványos szivárgási sebesség  $L < 10^{-5}$  bar·cm<sup>3</sup>/s, erős szivárgásnál  $L > 10^{-5}$  bar·cm<sup>3</sup>/s.

A gyenge szivárgás vizsgálatára vonatkozó előírásban [2] különböző szigorúsági fokok szerepelnek. A szigorúsági fokozat maga az időállandó ( $\Theta$ ). A különböző időállandókhoz a  $V$  mikrotér függvényében különböző  $R$  és  $L$  értékek vannak hozzárendelve (lásd 2. táblázatot). A 2. táblázat alapján a [2] irányelveknek és a [4] irodalomnak is megfelelően – gyenge szivárgást tételezve fel – az  $L = 5 \cdot 10^{-6}$  bar·cm<sup>3</sup>/s értéket választhatjuk kritériumként. A megfelelő  $S$  diffúziós ellenállás tehát:  $5 \cdot 10^{-6}$  cm<sup>3</sup>/s.

b) Az előző pontban ismertett vizsgálatot az M219B jelű postai előírás szerint végezték el. Ebben az előírásban a vizsgált tokozásokra  $P_1$  permeációs sebesség megengedett értékére  $70 \cdot 10^{-6}$  g/168 ó-t adtak meg. Ahhoz, hogy ezzel az értékkel tudjunk mit kezdeni, egy kis számítást kell végeznünk:

A permeációs sebességnek nevezett  $P_1$  lényegében vízgőzáram (tömeg/idő), amely a környezet és a mikrotér közötti diffúzió eredménye abban az esetben,

2. táblázat

A tömítésvizsgálat szigorúsági fokozatai [2]

Szigorúsági fokok (időállandók)								$L$ bar cm <sup>3</sup> /s
6 ó $\Theta = 2 \cdot 10^4$ s		60 ó $\Theta = 2 \cdot 10^5$ s		600 ó $\Theta = 2 \cdot 10^6$ s		1000 ó $\Theta = 4 \cdot 10^6$ s		
$V$ cm <sup>3</sup>	$R$ bar cm <sup>3</sup> s	$V$ cm <sup>3</sup>	$R$ bar cm <sup>3</sup> s	$V$ cm <sup>3</sup>	$R$ bar cm <sup>3</sup> s	$V$ cm <sup>3</sup>	$R$ bar cm <sup>3</sup> s	
0,01—	10 <sup>-6</sup>	0,1—	10 <sup>-7</sup>	1,0—	10 <sup>-8</sup>	2—	10 <sup>-8</sup>	5 · 10 <sup>-7</sup> —
0,1-ig		1-ig		10-ig		20-ig		1,5 · 10 <sup>-5</sup> -ig
> 0,1	2 · 10 <sup>-5</sup>	> 1	5 · 10 <sup>-6</sup>	> 10	5 · 10 <sup>-7</sup>	> 20	10 <sup>-7</sup>	5 · 10 <sup>-6</sup> —
	5 · 10 <sup>-5</sup>		10 <sup>-5</sup>		10 <sup>-6</sup>		5 · 10 <sup>-7</sup>	1,5 · 10 <sup>-5</sup> -ig
								5 · 10 <sup>-6</sup> —
								1,5 · 10 <sup>-5</sup> -ig

amikor a vízgőz parciális nyomásának különbsége a két tér között

$$\Delta p = p_t - 0,$$

illetve a vízgőzkoncentráció különbsége

$$\Delta c = c_t - 0 = c_t.$$

$p_t$  és  $c_t$  adott hőmérsékleten a telített értékek.

A  $P$  jelölés kissé megtévesztő, e jelölést ugyanis a permeációs állandóra szokták alkalmazni.  $P$  helyett használjuk inkább az  $I$  jelölést ( $I$  tehát a diffúziós áram — pl. g/ó-ban).

A vizsgált esetre is érvényes (5), amely szerint az  $I$  diffúziós áram:

$$I = \frac{d^2 \pi D}{4z} \Delta c = S \cdot \Delta c.$$

A fenti kifejezésbe az  $I = I_{\max} = 70 \cdot 10^{-6}$  g/168 ó és a  $\Delta c = c_t = 23 \cdot 10^{-6}$  g/cm<sup>3</sup> ( $T = 298$  °K-on) értékeket behelyettesítve, az  $S_{\max}$  vezetőképességre az alábbi érték adódik:

$$S_{\max} = \frac{I_{\max}}{c_t} = \frac{70 \cdot 10^{-6}}{168 \cdot 23 \cdot 10^{-6}} = 0,0181 \text{ (cm}^3/\text{ó)} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ (cm}^2/\text{s)}.$$

Érdekes módon az  $a$ ) pontban ismertetett  $S_{\max}$  és a fenti  $S_{\max}$  lényegében azonos, talán a két kritérium összehangolása folytán.

c) A kezdeti és peremfeltételek és különböző kívánalmak teljesítéséhez kis  $V$  mikroterű tokozások esetében nem biztos, hogy elegendő az  $L$  ekvivalens szabványos szívárgási sebességre vonatkozó, az  $a$ ) pontban ismertetett  $5 \cdot 10^{-6}$  bar·cm<sup>3</sup>/s kritériumérték. Ezt a problémát a következő példa alapján szeretnénk bemutatni:

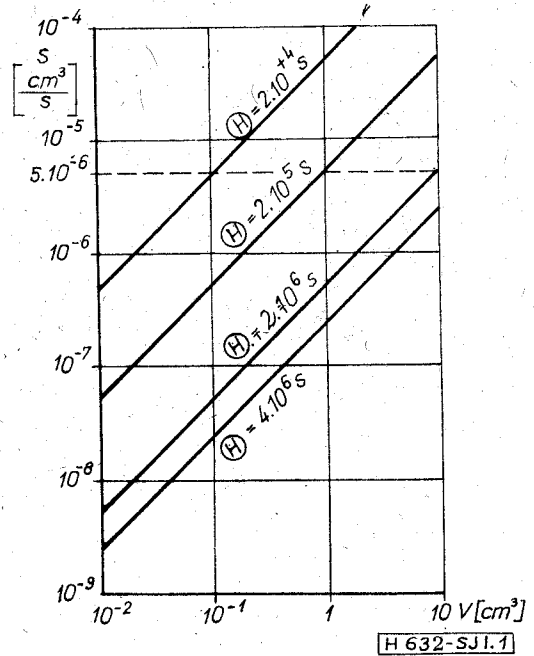
Tegyük fel, hogy adott nedves klímán vagy tartósan nedves környezetben legalább 28 napig (672 ó) kell számolni 95% relatív légnedvességgel ( $T = 298$  °K-on). Kérdés: milyen legyen a tokozás  $\Theta = V/S$  időállandója ahhoz, hogy a mikroterben a relatív légnedvesség 28 napig kisebb legyen, mint a kritikuskak tekinthető  $\varphi_1 = 0,8$ ?

A kezdeti és peremfeltételek:

$$\varphi(0) = 0,5; \quad \varphi_k = 0,95; \quad \varphi_1 = 0,8; \quad t_1 = 672 \text{ ó.}$$

A  $\Theta = V/S$  időállandó a (10) egyenletből kifejezve és a fenti adatokat behelyettesítve:

$$\Theta = -t_1 / \ln \left[ \frac{\varphi_k - \varphi_1}{\varphi_k - \varphi_0} \right] = -672 / \ln \left[ \frac{0,95 - 0,8}{0,95 - 0,5} \right] = 672 / 1,1 = 611 \text{ (ó)}.$$



1. ábra. Az  $S$  diffúziós vezetőképesség a mikroter  $V$  térfogatának függvényében, különböző  $\Theta$  időállandó-értékeknél

Az 1. ábrán a [2]-ben szereplő időállandókhoz tartozó  $S(V)$  függvényeket ábrázoltuk (lásd a 2. táblázatot). Az ábrából látható, hogy ha a mikroter  $V$  térfogata kisebb, mint 10,8 cm<sup>3</sup>, a tokozás  $L$  ekvivalens szabványos szívárgási sebességének kisebbnek kell lennie, mint az előzőekben kritériumként szóba kerülő  $5 \cdot 10^{-6}$  bar·cm<sup>3</sup>/s ahhoz, hogy a  $\Theta = 600$  ó időállandót biztosíthassuk.

A (9) és (10) kifejezés segítségével a gyakorlat igénye alapján sokféleképpen feltehető kérdésre lehet választ kapni. Az adhéziós hibák következményeit meghatározó tényezők szerepének vizsgálatára az [1]-ben bemutatott számítási példák is jól felhasználhatók.

#### I R O D A L O M

- [1] Sulyok J.: Tokozások gázzívárgása következményének számítása. HÍRADÁSTECHNIKA, 1979. 1. sz.
- [2] IEC 68—2—17, Test Q; MSz 8888/15. és 16. ; KGST 9010-es vizsgálati módszer
- [3] Sulyok J.: Diffúziós folyamatok tanulmányozása villamos analógiák segítségével. Finommechanika-Mikrotechnika, 17/1978/5. sz.
- [4] Harrison, I. C.: Control of the Encapsulation Material. Microelectronics and Reliability, 1977