

PREIZKUŠANJE NA VAKUUMSKO TESNOST – NEPORUŠITVENA METODA Z MEHURČKI

Branislav Arsenijević¹, Jože Gasperič²

¹Medivak, d. o. o., Šolska 21, Domžale

²Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, Ljubljana

POVZETEK

V prispevku je podrobno predstavljeno ugotavljanje tesnosti različnih posod, cevovodov, vakuumskih sestavnih delov in naprav z neporušitveno metodo z mehurčki. Poznamo tri glavne načine, in sicer: (1) način s potapljanjem preizkušanca, ki je pod nadtlakom, v preizkusno tekočino, (2) način z omočenjem površine preizkušanca ter (3) vakuumski način. Opisane so prednosti te metode pred drugimi, pa tudi omejitve, načini povečanja občutljivosti ter priprava preizkušancev. Zelo pomembna je tudi izbira tekočin in slednih plinov, ki se pri tem uporabljajo. V splošnem je s to metodo mogoče odkriti netesnosti, ki so večje od 10^{-4} mbar L/s, kar v vakuumski tehniki pomeni, da so vakuumске naprave primerne za uporabo v grobem, srednjem in deloma tudi v visokem vakuumu, tj. do 10^{-6} mbar. Na koncu prispevka je dodana tudi terminologija v slovenščini in angleščini, ki se uporablja pri preizkušanju tesnosti.

Leak testing – Non-destructive bubble test technique

ABSTRACT

In this article we present the leak testing of various vessels, tanks, pipe lines, vacuum components and systems etc. by the non-destructive bubble testing methods. Three main techniques are well known: (1) the liquid immersion technique, where the object is pressurized and submerged in the test liquid, (2) the liquid film application technique, where a thin layer of test liquid is flowed over the low pressure surface of the test object, and (3) the vacuum box technique. The advantages of bubble testing methods as well as their limitations, techniques for the enlargement of the sensitivity and preparation of testing objects are described. Very important role at this technique play the testing liquids and tracer fluids. Generally, by this testing method it is possible to detect and locate leaks greater than 10^{-4} mbar L/s, which means the vacuum systems are applicable for the use in rough, medium and high vacuum up to 10^{-6} mbar. At the end of this article the terminology in leak tightness testing in Slovene and English language is added.

1 SPLOŠNO O PREIZKUSU Z MEHURČKI

1.1 Princip preizkusa na tesnost z mehurčki

Neporušitveni preizkus z mehurčki je verjetno najbolj uporabljena tehnika za ugotavljanje netesnosti oz. netesnih mest različnih posod, cevovodov, rezervoarjev, sestavnih delov vakuumskih in drugih naprav (kratko: **preizkušanci**), ki so izpostavljeni nad- ali podtlaku (vakuumu). Zaradi njegove enostavnosti ga lahko izvajajo delavci z malo treninga. Zaradi majhnih stroškov in hitrih rezultatov je posebno zanimiv pri preizkušanju izdelkov za široko porabo, ker so druge metode predrage. Pri teh preizkusih je treba najprej ustvariti tlačno razliko skozi tlačno pregrado (steno posode in zunanostjo), ki jo preizkušamo. Preizkusna tekočina je vedno na nižji tlačni strani, tako da ji preprečimo vstop in zamašitev netesnega mesta. Opazu-

jemo mehurčke, ki prihajajo skozi netesno mesto. Takoj lahko ugotovimo netesno mesto pri jakosti uhajanja plina (zraka) 10^{-2} – 10^{-4} mbar L/s, pri jakosti 10^{-4} – 10^{-5} mbar L/s pa je čas opazovanja daljši, ker mehurčki nastajajo bolj počasi. Hitrost nastajanja mehurčkov, njihova velikost in hitrost rasti posameznih mehurčkov daje preizkuševalcu (operaterju) občutek o velikosti netesnosti.

1.2 Načini preizkušanja z mehurčki

Poznamo tri glavne načine preizkušanja, in sicer:

1. *Način s potapljanjem* preizkušanca. Preizkušane (posoda, sestavni del ...), ki je pod nadtlakom, potopimo v preizkusno tekočino. Iz netesnega mesta izhajajo mehurčki, ki se dvigajo proti gladini tekočine.
2. *Način z omočenjem* površine preizkušanca. Pri tem načinu prevlečemo površino, ki je pod nadtlakom, s tanko plastjo preizkusne tekočine oz. raztopine (npr. z milnico). Ta način uporabljamo pri preizkušancih, ki jih ne moremo (npr. zaradi velikosti) ali ne smemo potopiti v preizkusno tekočino.
3. *Vakuumski način* uporabljamo za preizkušance, ki jih ne moremo izpostaviti nadtlaku, bodisi zaradi svoje oblike (plošče, zvari) ali mehanske občutljivosti (enkapsulirani elektronski elementi).

Pri vseh teh načinih pa obstajajo tudi različice. Tako lahko med preizkušanjem povečujemo nadtlak oz. podtlak, torej *tlačno razliko*, in s tem tudi *jakost uhajanja plina* in hitrost nastajanja mehurčkov. Seveda pa moramo pri tem paziti, da ne pretiravamo. V tlačnih posodah (grelnikih za vodo, jeklenkah za komprimirane pline, posodah za tekoči dušik ali helij) sme biti nadtlak le nekoliko večji od delovnega (do 25 %). Tlak v notranjosti zatesnjene preizkušance lahko povečamo z gretjem, vendar obstaja nevarnost, da nastane v njegovi notranjosti prevelik tlak, ki povzroči eksplozijo. Tlačno razliko lahko povečamo tudi s tem, da preizkusno tekočino (potopno tekočino, raztopinsko tanko plast) postavimo v vakuum.

1.3 Prednosti preizkusa z mehurčki

Kot smo že uvodoma omenili, je preizkus z mehurčki enostaven in poceni. Zelo natančno je mogoče ugotoviti *netesno mesto*. Pri pregledu zvarov in ulitkov je treba vedeti, da mesto izhajanja me-

hurčkov ni vedno natančno nasproti mestu vpuščanja na nadtladni strani. Prednost je tudi, da velike netesnosti odkrijemo takoj in da jih je treba najprej odpraviti, šele nato lahko nadaljujemo preizkus in iščemo manjše netesnosti, lahko tudi z drugimi metodami (npr. s helijevim detektorjem netesnosti). Vedno pa iščemo le *resnične (realne) netesnosti*, ne pa *navideznih (virtualnih)*, tj. odplinjevanje (desorpcija) s površin notranjih sten preizkušanca (posode) ali absorbiranih plinov iz njih. Zahtevano znanje in izkušnje operaterja sta minimalni v primerjavi z drugimi, bolj kompleksnimi tehnikami iskanja netesnih mest, kjer se za iskanje uporabljajo sonde, ki jih je treba vleči od točke do točke po površini preizkušanca.

1.4 Omejitve preizkusa z mehurčki

Tako kot ima vsaka metoda svoje omejitve, obstajajo tudi pri preizkusih z mehurčki. Te so:

1. onesnaženje (kontaminacija) površine preizkušanca,
2. neprimerna temperatura površine preizkušanca,
3. onesnaženost ali penjenje preizkusne tekočine,
4. neprimerna viskoznost preizkusne tekočine,
5. majhna površinska napetost preizkusne tekočine, ki je vzrok za manjšo omočljivost površine preizkušanca; težnja take tekočine je, da zaleze v pore, kar lahko vodi do zamašitve netesnega mesta;
6. prevelik vakuum nad površino preizkusne tekočine, ki povzroči njeno vretje, torej nastajanje mehurčkov, ki motijo preizkuševalca (operaterja);
7. predhodno čiščenje površine preizkušanca z uporabo čistilnih tekočin lahko zamaši netesnost. Zato je treba po čiščenju površino dobro sprati, da popolnoma odstranimo čistilno sredstvo, nato pa osušiti, posebno še, če bomo nadaljevali preizkušanje z bolj občutljivimi tehnikami s slednimi plini (npr. s halogeni ali helijem).
8. Zrak, ki je raztopljen v preizkusni tekočini, ali odplinjevanje s korodirane površine preizkušanca lahko povzročita nastanek nepravil ("lažnih") mehurčkov, ki lahko zavedejo operaterja;
9. poroznostne netesnosti s preizkusom z mehurčki ne moremo odkriti zaradi premajhne občutljivosti te metode;
10. predhodni preizkus z mehurčki ali onesnaženje, ki lahko zatesni netesnosti in zmanjša občutljivost drugih, nadaljnjih preizkusnih metod, ki so bolj občutljive.

Učinek onesnažene površine je t. i. "lažno" nakazovanje netesnih mest, ki ga povzročajo: rja, mast, olja, varilna žlindra, oksidna plast, poroznost zvara na zunanji strani stene preizkušanca.

Tudi mehansko lahko povzročimo podobne učinke z brušenjem, tolčenjem, kar lahko začasno zapre netesnosti na kovinski površini. Preizkus na tesnost mora biti opravljen pred barvanjem, galvanizacijo, naparevanjem ali platiniranjem površine, ki lahko prav tako začasno zatesnijo netesnosti.

Onesnažena preizkusna tekočina se navadno tudi peni, nastajajo torej nepravilni ("lažni") mehurčki, ki niso v zvezi z netesnostjo oz. uhajanjem plina skozenjo.

Zamašitev majhnih netesnosti, pri katerih je jakost uhajanja plina manjša od 10^{-4} mbar L/s, lahko nastane zaradi prezgodnje potopitve ali premazovanja preizkušanca, preden je bil izpostavljen nadtlaku oz. preden je bila ustvarjena primerna tlačna razlika (npr. 1000 mbar).

Večina komercialno dosegljivih preizkusnih tekočin ali raztopin ima majhno površinsko napetost, lahko pa jih pripravimo tudi sami.

1.5 Občutljivost različnih načinov preizkusa z mehurčki

Dejavniki, ki vplivajo na občutljivost preizkusa z mehurčki:

1. tlačna razlika,
2. viskoznost slednega plina,
3. preizkusna tekočina, v kateri nastajajo mehurčki,
4. površinsko onesnaženje (barva, umazanija, olja, masti ...) na zunanji ali notranji strani preizkušanca),
5. vremenske razmere (dež, temperatura, vlaga, veter) pri preizkušanju na prostem, ki vplivajo na hitrost izparevanja preizkusne tekočine,
6. osvetlitev preizkušane področja,
7. preizkusna naprava,
8. tehnika in pozornost preizkuševalca.

Lastnosti preizkusne tekočine (raztopine), ki vplivajo na občutljivost:

1. Površinska napetost vpliva na hitrost nastajanja mehurčkov in na njihovo velikost. Če je *majhna*, nastane veliko majhnih mehurčkov, ki se tudi radi delijo. Če pa je *velika*, mehurčki nastajajo počasi in so večji ter se le počasi odlepajo od površine z netesnega mesta; tudi selijo se ne na manjše. Za zmanjšanje površinske napetosti vode se uporabljajo mehčala (detergenti).
2. Dobra omočljivost, ki je naznačena z velikim stičnim kotom med površino preizkušanca in kapljico tekočine na njej. Pri večji površinski napetosti je omočljivost slaba, stični kot je majhen.
3. Viskoznost slednega plina vpliva na velikost rasti mehurčka. Majhna viskoznost, manjši mehurčki, velika viskoznost, večji mehurčki. Za povečanje

viskoznosti preizkusne tekočine (vode) lahko kot dodatek uporabljamo glicerin.

4. Hitrost odparevanja. Tekočina (raztopina) naj ima počasno hitrost odparevanja, da ima preizkuševallec možnost, da prekrije (omoti) čim večjo površino preizkušanca. Hitrost odparevanja je odvisna od temperature. Čim višja je, tem hitrejšje je odparevanje in nasprotno.

1.5.1 Povečanje občutljivosti

V splošnem lahko povečamo občutljivost preizkusa z mehurčki s podaljšanjem časa opazovanja njihovega nastajanja, z izboljšanjem razmer pri tem in s povečanjem količine plina, ki uhaja skozi netesnost.

Povečanje možnosti za opazovanje zagotovimo na naslednje načine:

1. položaj preizkušane površine naj bo čim bolj ugoden za opazovanje;
2. osvetlitev mora biti taka, da se jasno vidijo mehurčki;
3. potopna tekočina mora biti čista in presevana;
4. podaljšanje časa za tvorbo mehurčkov in časa opazovanja;
5. odstranitev nepravilnih ("lažnih") mehurčkov, ki nastanejo zaradi vretja, vnesenega zraka ali onesnaženja preizkusne tekočine;
6. zmanjšanje površinske napetosti, da se lahko pojavijo manjši mehurčki;
7. zmanjšanje tlaka nad opazovano površino, ki poveča posamezne mehurčke;
8. izbira primerne časa za preizkuse na terenu, da bi bile okoliške razmere ugodne (svetloba, temperatura, veter ...);
9. uporaba primernih preizkusnih raztopin, tudi fluorescenčnih ali barvnih, če je treba.

Ne smemo pa pri tem pozabiti na dobro razpoloženje preizkuševalca (operaterja), ki vpliva na njegovo zbranost pri delu.

1.5.2 Povečanje hitrosti uhajanja slednega plina

Občutljivost lahko povečamo tudi tako, da uporabimo drug sledni plin, ki ima manjšo viskoznost in maso. Hitrost uhajanja pa lahko najbolj povečamo s povečanjem tlačne razlike (npr. s povečanjem tlaka v preizkušancu), temperature ali z zmanjšanjem tlaka na nizkotlačni strani.

S primerno kombinacijo slednega plina in potopne tekočine lahko ugotovimo jakost uhajanja tudi 10^{-7} mbar L/s, ki je sicer 10^{-4} – 10^{-5} mbar L/s, pri načinu z omočenjem pa 10^{-4} mbar L/s (navadno 10^{-1} – 10^{-3} mbar L/s).

Pri kapilarnih netesnostih se lahko zgodi, da se mehurčki v preizkusni tekočini raztopijo tako hitro, da jih ni mogoče videti.

V splošnem pa je težko definirati občutljivost načina oz. metode preizkusa z mehurčki, ki je odvisna tudi od sposobnosti preizkuševalca (operaterja) in njegove motivacije. V ugodnih okoliščinah ne bi smelo biti težav pri odkrivanju netesnih mest pri načinu s potapljanjem z jakostjo uhajanja plina 10^{-5} mbar L/s.

1.6 Priprava preizkušancev

Pred preizkusom je treba s preizkušanca odstraniti vse nečistoče, zaščitne prevleke, skratka vse, kar bi povzročilo zaprtje netesnih mest ali izvir plinov. Treba je zatesniti vse odprtine, razen tistih, ki so potrebne za uvajanje preizkusnega (slednega) plina za ustvarjanje nadtlaka. Pri delu s preizkušanci, ki so izpostavljeni nadtlakom, pa je treba zagotoviti varnost in upoštevati predpise, ki so povezani s tem.

1.6.1 Čiščenje pred preizkusom

Preiskovane površine ne smejo biti mastne, naoljene, pobarvane ali drugače onesnažene, kar bi lahko prekrilo (maskiralo) netesno mesto, ne smejo biti rjaste ali imeti ostanke varilne žilindre in kemikalij, kar lahko povzroča nastanek "lažnih" mehurčkov.

Odstraniti je treba vse možnosti predhodne zamašitve netesnih mest zaradi poprejšnjih hidrostatskih preizkusov, čiščenja s tekočinskimi čistilnimi sredstvi. Preizkušanca ne smemo hraniti v vlažnih prostorih, kjer se nabira kondenzat. S sušenjem se da odstraniti vlaga, ki bi lahko prodrla v porozna mesta.

1.6.2 Zatesnitev odprtin preizkušanca

Zatesniti je treba vse odprtine s slepimi prirobnicami, pokrovi, čepi, tesnilnimi voski itd., razen tistih, ki jih bomo priključili na sistem za komprimiranje. Preizkušanca moramo opremiti z ventilom in umerjenim (!) mehanskim merilnikom tlaka.

1.6.3 Predhodni pregled

Predhodni pregled in preizkus preizkušanca ter priprav oz. naprav, ki jih bomo uporabili pri preizkusu na tesnost, je tudi pomembno opravilo. Preizkušanc moramo pred potopitvijo v preizkusno tekočino oz. omočenjem njegove površine napolniti s preizkusnim (slednim) plinom do dovoljenega nadtlaka, da bi preprečili dostop preizkusne tekočine (raztopine) v netesna mesta. Če bi se to zgodilo, bi lahko netesnost odmašili le z zelo velikim nadtlakom, kar pa že lahko ogrozi varnost pri delu.

1.7 Izpostavitev preizkušancev nadtlaku

Tlak preizkusnega plina, ki je lahko zrak, dušik, helij, argon, hladilniški plini, amonijak ali drugi sledni plini glede na posebne zahteve, moramo v preizku-

šancu počasi povečevati od polovice do polne obremenitve. Najmanjši (minimalni) nadtlak je 1000 mbar, največji (maksimalni) pa je dovoljeni delovni tlak v preizkušancu. Pri uporabi zraka kot slednega plina smemo uporabiti le tistega iz brezoljnih kompresorjev. Ni priporočljiva uporaba zraka iz kompresorskih linijskih vodov, ker je zrak naoljen in navlažen.

Čas polnjenja je 15 min, pri zelo velikih preizkušancih pa je hitrost polnjenja največ 3 s/m^3 . Temperatura preizkušanca sme biti 15 % višja ali nižja od tiste pri normalni uporabi.

Izjema od vsega navedenega je preizkušanje manjših delov, ki se uporabljajo v zamrzovalni (kriogenski) tehniki. Te preizkušance je treba v celoti zatesniti, nato pa potopiti v tekoči dušik, ki zaide skozi netesna mesta v notranjost. Nato potopimo tak del v alkoholno kopel pri sobni temperaturi. Tekoči dušik v notranjosti preizkušanca se ogreje, uplani in poveča tlak. Plinasti dušik uhaja skozi netesna mesta in tako nastajajo mehurčki.

1.8 Pogoji za vidno (vizualno) opazovanje izhajanja mehurčkov

Opazovana površina preizkušanca naj bo oddaljena 60 cm od oči opazovalca, kót pa ne manjši od 30° glede na ravnino opazovanja. Lahko se uporablja tudi leče (za majhne mehurčke) in zrcala (za težko dostopna mesta). Osvetlitev naj bo najmanj 1000 lx, preiskovana površina preizkušanca pa naj bo vodoravna in zgoraj. Pri načinu s potapljanjem naj bo opazovana površina najmanj 25 mm pod gladino preizkusne tekočine.

Pri načinu z omočenjem naj tekočina leži na površini brez odkapanja, presežek lahko odteče, na opazovani površini pa mora vedno ostati kontinuirna plast. Pri velikih posodah, ki jih ni mogoče premikati, pa to ne velja.

Hitrost pregledovanja zvarov naj bo 12 mm/s, manjših valjastih preizkušancev 35 min za kvadratni meter površine, sicer pa $0,1 \text{ m}^2/\text{min}$.

1.9 Vakuumski način preizkusa z mehurčki s potapljanjem

Tlačna razlika, ki je značilna za preizkuse z mehurčki, je 1000 mbar, kar velja tudi za hermetično zatesnjene manjše izdelke, ki imajo znotraj atmosferski tlak. Da bi ustvarili tlačno razliko, jih najprej potopimo v preizkusno tekočino, nato pa posodo s tekočino in potopljenimi izdelki postavimo v vakuumsko komoro (steklen zvon ali kovinsko posodo z oknom), ki jo izčrpamo do tlaka malo nižjega od 1000 mbar, pri katerem preizkusna tekočina še ne zavre.

Opazujemo izhajanje toka mehurčkov ali le posamezne.

1.10 Način z omočenjem preizkušanca brez potapljanja

Pri tem izvajamo postopek preizkušanja v treh fazah:

1. preizkušanec napolnimo s plinom (zrakom) do nadtlaka najmanj 1000 mbar;
2. naneseemo (nalijemo ali obrizgamo s pršilom) preizkusno tekočino (raztopino) v tanki neprekinjeni plasti na preizkušanec;
3. opazujemo mehurčke, ki pokažejo na netesno mesto.

Obstajajo komercialno dosegljive preizkusne raztopine. Lahko pa si jo pripravimo sami, tako da zmešamo 1 del detergenta, 1 del glicerina in 4,5 dela vode prej kot v 24 h pred preizkusom. Po preizkusu je treba površino oprati.

Ta način preizkušanja na tesnost se uporablja pri plinovodih pod nadtlakom, pri velikih posodah, cisternah, kompresorjih, črpalkah in posodah tam, kjer potapljanje ni priporočljivo ali mogoče.

1.11 Preizkus z mehurčki majhnih preizkušancev s potapljanjem v tople kopeli

Pri preizkušanju majhnih elektronskih sestavnih delov (npr. polprevodnikov, uporov, integriranih vezij ...), ki so hermetično zaprti v ohišjih pri normalnem tlaku (1 bar), potopimo v toplo kopel vode pri 95°C ali mineralnega olja pri 125°C oz. silikonskega olja pri 150°C . Ko se ogrejejo, v njih naraste tlak. Nastane tlačna razlika od 100 (pri $T = 50^\circ\text{C}$) do 440 (pri $T = 150^\circ\text{C}$) mbar.

Zveza med temperaturo in tlakom plina oz. zraka (Charlesov zakon) je podana z enačbo:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_{20}}{T_{20}} = \frac{1000}{293} = \frac{p_2}{T_2} \quad \text{oz.}$$

$$p_2 = \frac{1000 \cdot T_2}{293} = 3,413 T_2 \quad (p/\text{mbar}; T/\text{K})$$

pri tem je p_1 začetni tlak, ki je navadno enak p_{20} pri sobni temperaturi T_{20} , p_2 pa tlak pri višji temperaturi T_2 .

Če pa tak preizkus izvedemo pod vakuumom, je tlačna razlika sicer občutno večja, sam postopek pa ni več tako enostaven.

2 NAČIN S POTAPLJANJEM – TEORIJA

2.1 Princip

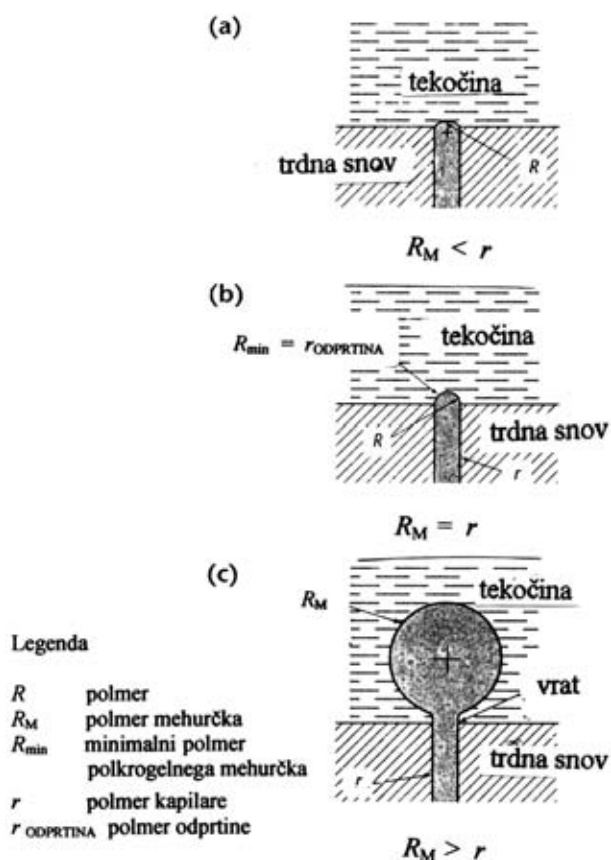
Način preizkušanja na tesnost z mehurčki s potapljanjem uporabljamo v primerih, kjer objekt (posode), ki ga pred preizkusom tesno zapremo ali je sam hermetično zaprt, lahko potopimo v posodo s preizkusno tekočino. Ta način zahteva, da objekt (preizkušavec) pred preizkusom izpostavimo nadtlaku. Mehurčki, ki nastajajo pri potopitvi so indikacija, da obstaja netesnost, skozi katero uhaja plin. Ugotavljamo torej obstoj netesnosti in njeno mesto. Čeprav je postopek enostaven, pa ni primeren za velike preizkušance. Nastanek mehurčkov ni odvisen samo od tlačne razlike, ampak tudi od fizikalnih lastnosti preizkusne tekočine, v kateri se tvorijo. Odvisen je tudi od slednega plina, ki uhaja skozi netesnost in oblikuje mehurčke.

Velika površinska napetost preizkusne tekočine zmanjša nastajanje mehurčkov. Čim hitreje se tvorijo mehurčki, tem lažje so vidni.

Občutljivost metode z mehurčki lahko spreminjamo s spremembo slednega plina ali potopne tekočine.

2.1.1 Velikost mehurčkov

Večji mehurji nastajajo, če so na površini preizkušanca mastni madeži, ki preprečujejo omočenje



Slika 1: Nastanek mehurčka nad netesnim mestom v preizkusni tekočini: (a) mehurček s polmerom, manjšim od polmera kapilare, (b) polkrogla, (c) kroglasti mehurček ⁽¹⁾

površine, zmanjša se *pogostost (frekvenca)* nastajanja, tj. število mehurčkov v časovni enoti, ki je obratno sorazmerno z njegovo prostornino, in sicer s tretjo potenco polmera mehurčka. Pogostost mehurčkov je lahko v organskih tekočinah do 100-krat večja kot v vodi. Metilni in etilni alkohol imata težnjo, da omočita večino trdnih snovi bolj kot voda, mehurčki pa so zato manjši. Pri vodi je treba zmanjšati površinsko napetost npr. z detergenti, pri čemer se zmanjša tudi velikost mehurčkov in njihova težnja, da se zadržujejo na površini preizkušanca.

Pogoj, da nastane mehurček in da se odlepi od površine, je, da je tlak uhajajočega plina večji od vsote hidrostatičnega tlaka tekočine (ki je odvisen od globine potopitve) in sile zadrževanja zaradi površinske napetosti tekočine. Za *kapilarno netesnost* velja naslednja enačba:

$$p = p_a + \rho gh + 2\sigma/r \quad (1)$$

pri čemer je p/Pa tlak plina v kapilari in tvori mehurček, p_a/Pa tlak nad preizkusno površino (navadno atmosferski tlak ali vakuum), $\rho/(kg/m^3)$ gostota preizkusne tekočine, $g/(m/s^2)$ zemeljski pospešek, h/m globina potopitve pri netesnem mestu, r/m polmer kapilarne netesnosti, $\sigma/(N/m)$ pa površinska napetost tekočine.

2.1.2 Mehanizem nastajanja mehurčka v preizkusni tekočini

Ko plin uhaja iz netesnosti, se začne tvoriti mehurček, ki se stalno veča. Predstavljamo si ga lahko kot del krogle (krogelni odsek). Tik preden se odtrga, ima obliko krogle, ki je pripeta z vratom na rob netesnega mesta (slika 1c). V začetku je polmer mehurčka manjši od polmera kapilarne netesnosti (slika 1a). Najmanjši mehurček, ki bi se odtrgal z roba kapilare, bi imel polmer enak kapilarnemu: $R_M = r$. Tedaj doseže izraz $2\sigma/r$ v enačbi (1) svoj maksimum. To pa se ujema z največjo vrednostjo prekoračenja tlaka. Nato se polmer R_M veča in tvori kroglo s prostornino $V = 4\pi/3 \cdot R_M^3$ (slika 1c). Ko je sila vzgona F (ki je enaka teži izpodrinjene tekočine), ki jo izpodrine mehurček, večja od zadrževalne sile površinske napetosti ($2\pi r\sigma$) pri vratu mehurčka, se le-ta odtrga in splava na površje tekočine. Za kapilarno netesnost lahko zapišemo kot teoretični približek enačbo:

$$F = 4\pi/3 \cdot R^3\rho g - 2\pi r\sigma = 0 \quad (2)$$

pri čemer je R polmer mehurčka pri odtrganju, r pa polmer krožne luknje kapilare. Pri bolj natančni opredelitvi bi morali upoštevati še dejstvo, da viskoznost preizkusne tekočine vpliva na velikost mehurčka pri drugih enakih preskusnih razmerah. Za večino netes-

nosti pa je ta vpliv zanemarljiv. Z naraščanjem viskoznosti se le malo poveča velikost mehurčkov.

Navadno sta tlaka p_a (atmosferski tlak) in ρgh (hidrostatični tlak) konstantna. Vpliv hidrostatičnega tlaka je navadno majhen zaradi majhne potopne globine h . Zato je najvišji tlak v nastajajočem mehurčku, ki mora biti dosežen, da bi se lahko raztegnil (ekspanziral) preko svoje polkrogelne oblike, pri najmanjšem polmeru mehurčka R_{\min} , ki je enak polmeru odprtine kapilare oz. luknjice (slika 1b). Ta pogoj je omejitvev za preizkuse z mehurčki.

Zgled:

Atmosferski tlak $p_a = 1000$ mbar, tlak v notranjosti 2000 mbar, kar je dvakrat več od atmosferskega. Če je površinska napetost vode $\sigma = 0,073$ N/m in je tlačna razlika ($p - p_a$) enaka atmosferskemu tlaku (pri tem zanemarimo hidrostatični tlak ρgh) je polmer kapilare oz. luknjice, izračunan po enačbi (1):

$$r = 2 \sigma / \Delta p = 2 \cdot 0,073 / 10^5 = 1,46 \mu\text{m} \quad (3)$$

Ta polmer r je najmanjši polmer luknjice kapilare, ki jo še lahko odkrijemo s preizkusom z mehurčki in potopnim načinom pri tlačni razliki 1000 mbar ter z navadno ("trdo") vodo (tj. brez dodatkov za zmanjšanje površinske napetosti σ).

2.2 Prednosti majhne površinske napetosti preizkusne tekočine

Iz enačbe (1) in zgleda iz prejšnjega podpoglavja 2.1.2 se da sklepati, da je mogoče odkriti tudi manjše luknjice, če uporabimo drugo preizkusno tekočino z manjšo površinsko napetostjo. V poštev prideta npr. metilni in etilni alkohol s $\sigma = 0,023$ N/m, kjer je najmanjši polmer luknjice, da se lahko tvorijo mehurčki pri tlačni razliki 1000 mbar, enak $r = 0,46 \mu\text{m}$, kar je 3-krat manj kot pri navadni trdi vodi. Teoretično bi pri navadni vodi in teh pogojih lahko odkrili jakosti uhajanja plina 0,2–0,1 mbar L/s. Skratka, majhna površinska napetost in majhna viskoznost sta pri tem načinu preizkušanja zelo želeni.

Da bi lahko odkrili čim manjše kapilarne netesnosti, lahko (razumno) povečamo tudi tlak v preizkušancu. Tudi majhna viskoznost in majhna masa preizkusnega plina povečata pretok skozi kapilarno netesnost in s tem tudi občutljivost te metode.

Velikost mehurčkov narašča z naraščanjem površinske napetosti preizkusne (potopne) tekočine. Ker laže opazujemo več manjših mehurčkov, katerih čas nastanka je kratek (velika frekvenca izhajanja), kot "počasno" nastajajoče velike mehurje, bomo izbrali preizkusno tekočino z majhno površinsko napetostjo. Dodatno pa lahko z vibracijo pospešimo "odlepljanje" mehurčkov z netesnega mesta. Če nadtlaka v preizkušancu ni mogoče ali ni priporočljivo uporabiti, potem

izberemo druge načine, ki smo jih že obravnavali (vakuumski, z gretjem, z vbrizgavanjem hladilne tekočine).

2.3 Izbira preizkusnih tekočin in slednih plinov

Pri načinu s potapljanjem lahko uporabljamo kot preizkusno tekočino poleg vode tudi mineralna in silikonska olja. Ugotovili smo že, da zmanjšanje površinske napetosti teh tekočin ugodno deluje na občutljivost, ki jo povečuje. Ker je voda najbolj primerna (tudi poceni) preizkusna tekočina, lahko z dodatki zmanjšamo njeno površinsko napetost. Ti dodatki pa ne smejo povzročiti penjenja, rast mikroorganizmov (bakterij), ne smejo korozivno delovati na preizkušane in posodo s preizkusno tekočino. Zato nekateri dodatki vsebujejo kromate kot inhibitorje (zadrževalce), da preprečijo rjavenje železa in ogljikovih jekel. Priporočljiva je uporaba *deionizirane vode* z 1 % do 25 % dodatka (pri uporabi so obvezne gumijaste rokavice!).

Minimalne jakosti uhajanja plina, ki jih lahko detektiramo pri 25 °C in preizkusnem plinu dušiku pri nadtlaku 1200 mbar, so v vodi *brez dodatka* $1 \cdot 10^{-3}$ mbar L/s, s 5-odstotnim dodatkom $1 \cdot 10^{-5}$ mbar L/s in s 25-odstotnim dodatkom kar $1 \cdot 10^{-6}$ mbar L/s.

Pri uporabi olj kot potopnih tekočin je slaba stran razoljenje preizkušanca po preizkusu, kar je drago. Olja pa se dobro izkažejo pri vakuumski metodi (vakuum nad gladino olja!).

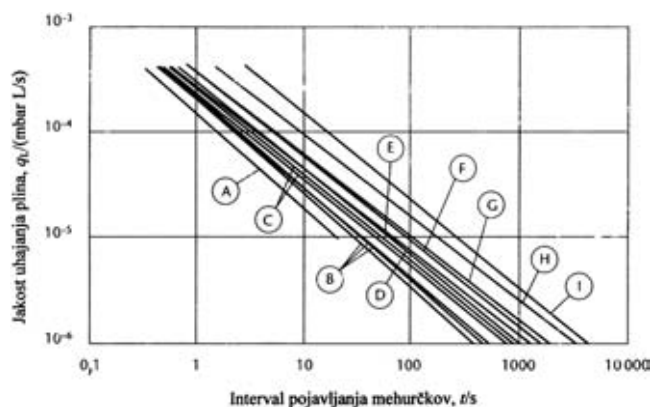
Metilni, etilni in izopropilni alkohol so sicer zelo primerni za uporabo, saj s potapljanjem čistijo preizkušancevo površino, po preizkusu pa ni potrebno sušenje. Slaba stran pa je hitro izhlapevanje, vnetljivost in toksičnost metilnega alkohola.

V industriji se za preizkuse s potapljanjem največ uporablja voda z omočilnimi dodatki ter še: nerazredčeni etilen glikol, mineralna olja s kinematično viskoznostjo od $3,77 \cdot 10^{-5}$ do $4,11 \cdot 10^{-5}$ m²/s pri 25 °C (Ni za dele, ki bi jih kasneje barvali!).

Sledni plini, ki jih največ uporabljamo pri načinu s potapljanjem in tudi na splošno pri preizkusih z mehurčki, so: zrak, dušik, argon in helij. Od teh ima najmanjšo viskoznost helij, s tem pa povečamo občutljivost načina s potapljanjem, kar lahko storimo še s povečanjem tlačne razlike in z uporabo potopne tekočine z majhno površinsko napetostjo, kar smo že podrobneje obravnavali.

V diagramu (slika 2) je prikazana občutljivost preizkusnih tekočin pri preizkusih s potapljanjem pri nadtlaku zraka 3100 mbar.

V diagramu (slika 3) je prikazan učinek površinske napetosti na čas med pojavljanjem mehurčkov pri različnih površinskih napetostih preizkusnih tekočin pri nadtlaku helija 2000 mbar.

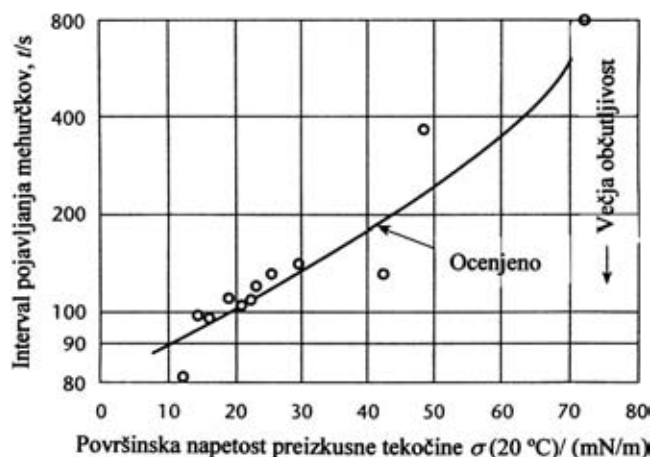


Slika 2: Občutljivost preizkusnih tekočin pri preizkusih s potapljanjem pri nadtlaku zraka 3000 mbar. Jakost uhajanja zraka q_L /(mbar L/s) v odvisnosti od časa t/s (intervala) med pojavljanjem mehurčkov ⁽¹⁾.

- A – deionizirana voda z 20 % omočilnega sredstva pri 80 °C
- B – mineralno olje 1 pri 120 °C, deionizirana voda z 1 % do 2 % omočilnega sredstva pri 25 °C, fluorovodik pri 25 °C
- C – silikonsko olje pri 25 °C
- D – mineralno olje 2 pri 25 °C
- E – mineralno olje 1 pri 25 °C
- F – glikol pri 120 °C
- G – glikol pri 25 °C
- H – glicerol pri 25 °C in 120 °C, deionizirana voda pri 80 °C
- I – deionizirana voda pri 25 °C

Iz diagrama je razvidno, da je večja občutljivost izražena z najmanjšim časovnim intervalom pojavljanja mehurčkov. V splošnem pa velja, da največja občutljivost načina s potapljanjem preizkušancev ustreza visoki frekvenci (pogostnosti) oz. kratkim časovnim presledkom pojavljanja mehurčkov.

Pri vodi z omočilnimi dodatki je za velikostni red večja frekvenca pojavljanja mehurčkov kot pri t. i. "trdi" vodi, ki je brez teh dodatkov (mehčal). Pri heliju kot slednem plinu in nadtlaku (tlačni razliki) 2000 mbar je frekvenca pojavljanja mehurčkov od 3- do 5-krat večja v primeri s 1000 mbar ter 5- do 10-krat večja pri 3000 mbar.



Slika 3: Časovni interval pojavljanja mehurčkov v odvisnosti od površinske napetosti preizkusnih tekočin. Sledni plin je helij, 2000 mbar ⁽¹⁾.

Tabela 1: Interval pojavljanja mehurčkov (t/s) pri nadtlaku helija ⁽¹⁾

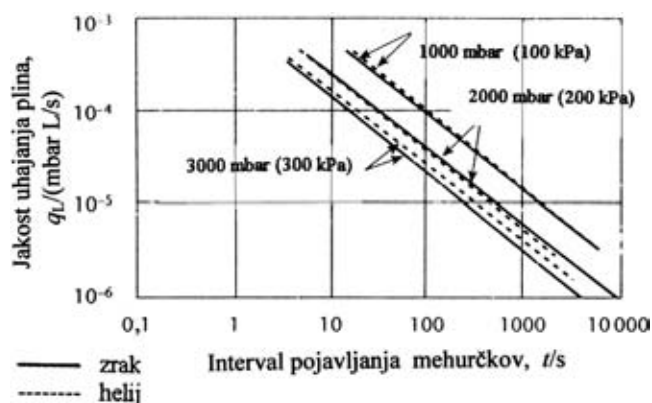
Nadtlak helija $p_{He}/mbar$	3000	2000	1000
- deionizirana voda	800	3210	10960
- deionizirana voda z mehčalom	180	265	675

Helij kot sledni plin najbolj poveča občutljivost načina preizkusa z mehurčki, ker je njegov pretok skozi večino netesnosti *molekularen*. Pri jakosti uhajanja helija $q_L = 10^{-5}$ – 10^{-6} mbar L/s je občutljivost večja kot pri zraku ali dušiku zaradi kombinacije molekularnega in laminarnega pretoka v tem območju.

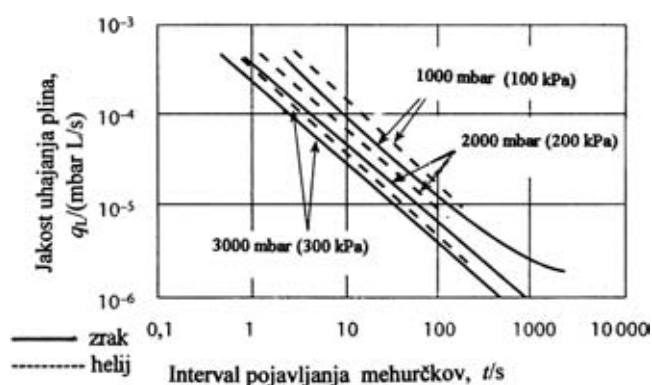
V diagramu na sliki 4 je prikazan učinek nadtlaka helija in zraka na jakost uhajanja v odvisnosti od intervala pojavljanja mehurčkov v deionizirani vodi *brez mehčala* pri 25 °C, v naslednjem diagramu (slika 5) pa z 1–2 % *mehčala*.

2.4 Omejitve pri načinu s potapljanjem preizkušancev

Način s potapljanjem preizkušancev v tekočine je omejen na odkrivanje in ugotavljanje mest posameznih (individualnih) netesnosti. Veliko spojenih (spajkanih ali varjenih) elementov ima dolge, fine



Slika 4: Jakost uhajanja helija in zraka v odvisnosti od intervala izhajanja mehurčkov pri različnih nadtlakih oz. tlačnih razlikah v deionizirani vodi ⁽¹⁾



Slika 5: Jakost uhajanja helija in zraka v odvisnosti od intervala izhajanja mehurčkov pri različnih nadtlakih oz. tlačnih razlikah v deionizirani vodi z 1–2 % mehčala ⁽¹⁾

razpoke in številne posamezne netesnosti, ki v celoti povzročajo veliko uhajanje slednega plina, vendar mehurčkov skoraj ni videti. Zato je ugotavljanje netesnosti odločilno odvisno od časa, ki ga ima preizkuševalec (operater) na razpolago (ali si ga vzame za to), in njegove pozornosti ter natančnosti pri opazovanju. Poleg tega mora biti samo delo (preizkušanje) varno za preizkuševalca, posebej še, če uporablja sledne pline, kot so: vodik, amonijak, acetilen, kisik ali gorilni plin (butan, propan), in preizkusne tekočine, kot so npr. metilni, etilni ali izopropilni alkohol, eter, aceton in olja.

2.5 Tesnjenje in izpostavitve preizkušanca nadtlaku ter pogoji za vidni (vizualni) pregled pojavljanja mehurčkov

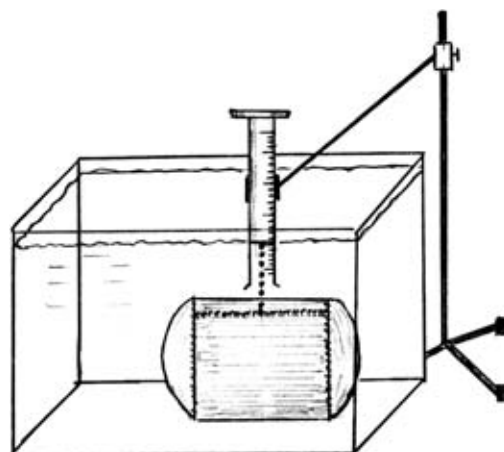
Vse preizkušance, ki jih pripravljamo za preizkus na tesnost, moramo najprej dobro očistiti in zatesniti vse odprtine ter jih opremiti s priključki, ventili in umerjenim merilnikom tlaka. Pri velikih preizkušancih morata biti priključena dva umerjena kazalčna merilnika nadtlaka, od teh mora biti eden postavljen tako, da je stalno "na očeh" operaterja. Pri vakuumskem preizkusu je dovolj le en merilnik.

Če ni drugače zahtevano, je minimalna tlačna razlika med preizkušancem in zunanjim tlakom pri najgloblji potopitvi 1000 mbar. Pri vodi se tlak izračuna s formulo: $\Delta p/\text{mbar} = 1000 + 100 D$, pri čemer je D/m največja globina preizkušanelega dela v potopni tekočini. V splošnem pa preizkusni tlak ne sme biti več kot 25 % večji od maksimalno dovoljenega delovnega tlaka pri preizkusni temperaturi, če predhodna analiza pokaže, da tak tlak ne poškoduje preizkušanca. Preiskovana površina mora biti potopljena najmanj 30 mm globoko, od opazovalca pa oddaljena 60 cm, ki naj jo opazuje pod kotom ne manj kot 30°. Predmet (preizkušanec), ki ga potopimo, moramo zavarovati, da med pregledom nenadzorovano ne splava na gladino.

Kdaj menimo, da preizkušanec pušča? Če se naredi eden ali več mehurčkov, že lahko sklepamo, da obstaja puščanje. Vsako ugotovljeno netesno mesto je treba zatesniti (popraviti), šele nato lahko nadaljujemo preizkušanje.

2.6 Meritev jakosti uhajanja plinov

Kvantitativna meritev uhajanja plina skozi netesnost vsebuje zbiranje dvigajočih se mehurčkov v poveznjeno (obrnjeno) merilno epruveto (menzuro), ki jo postavimo nad netesno mesto. Pri zelo velikem uhajanju plina pa nastale mehurčke speljemo skozi precizni merilnik pretoka (rotameter), kjer lahko neposredno odčitamo velikost pretoka*. Merilna naprava je prikazana na sliki 6.



Slika 6: Naprava za kvantitativno merjenje jakosti uhajanja plina

3 NAČIN Z OMOČENJEM

3.1 Uporaba

Način z omočenjem lahko uporabljamo povsod tam, kjer obstaja tlačna razlika med notranjo in zunanjo steno preizkušanca. Tako lahko preizkušamo razne cevovode pod tlakom, posode, kompresorje, črpalke, velike naprave, bazene ..., kjer je način s potapljanjem neprimeren. S tekočino (raztopino), ki lahko dela mehurčke, omočimo zunanjo površino preizkušanca (tj. na nizkotlačni strani). Če se le da, naj tekočina leži na površini brez odkapanja. Lahko sicer odteka, vendar mora biti preiskovana površina omočena s kontinuirno plastjo tekočine. Pri velikih preizkušancih so dovoljene vse lege. Tanka plast tekočine se ne sme pretrgati zaradi hitre osušitve ali neprimerne površinske napetosti.

3.2 Izbira preizkusnih raztopin (milnica) in omejitve

Za zahtevne preizkuse ne smemo uporabiti navadne milnice ali detergenta za pomivanje posode, ampak posebne, komercialno dosegljive raztopine. Za nezahtevne preizkuse pa je priporočljivo uporabiti naslednji recept: 1 del tekočega detergenta ali mila, 1 del glicerina in 4,5 dela vode. Pripravimo majhno količino (npr. 1 L ali manj) tik pred uporabo. Če moramo poskuse opravljati zunaj na mrazu, dodamo še antifriz (alkohol ali etilen glikol), in sicer 1 del

* OPIS MERITVE

1. Tri četrtine posode (banje) napolnimo s tekočino (npr. z deionizirano vodo z mehčalom).
 2. Merilno epruveto napolnimo z isto tekočino in jo v banji obrnemo ter pritrdimo na stojalo.
 3. Preizkušanec, napolnjen z zrakom pri nadtlaku 1 bar, potopimo v tekočino ter poiščemo mesto izhajanja mehurčkov in ga obrnemo navzgor.
 4. Merilno epruveto pomaknemo nad mesto izhajanja mehurčkov, tako da jo le-ti počasi polnijo.
 5. Vključimo štoparico. Ko je plin napolnil določen volumen (npr. 0,002 L), izklopimo štoparico in odčitamo čas v sekundah.
 6. Jakost izhajanja plinov izračunamo po enačbi: $q_L = p \cdot V/t$.
- Zgled: $p_{\text{ZRAKA}} = 1013 \text{ mbar}$, $V = 0,002 \text{ L}$, $t = 126 \text{ s}$
 $q_L = 1013 \cdot 0,002 / 126 = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mbar L/s}$

antifrizna na 10 delov raztopine. Za iskanje zelo številnih velikih netesnosti raztopino (samo 1 del milnice in 1–2 dela vode) spenimo tik pred preizkusom. Prednost tako pripravljene raztopine je nizka cena.

Slabe strani uporabe navedenih raztopin so:

1. Milnica navadno oblikuje lepljive (gumaste) strdke z minerali trde vode, ki lahko zaprejo majhne netesnosti.
2. Milnica je alkalna (pH od 10,5 do 11,5), ki povzroča korozijo aluminija, če ostane dalj časa na njegovi površini. Navadno milo vsebuje dodatke proti penjenju in stabilnosti pene.
3. Milo vsebuje soli, ki prevajajo elektriko. To je lahko pomembno pri preizkušanju električnih in elektronskih naprav, kajti ostanki na površini lahko povzročijo električne prevodne poti.
4. Milo lahko vsebuje kloride kot nečistoče, nekatere tudi boraks (za večjo čistilno moč). Le-ti so neželeni pri preizkušanju izdelkov iz nerjavnega jekla in titanovih zlitin zaradi povzročanja napestostnih korozijskih razpok. Tako lahko korodirajo zvari. Uporaba je zato prepovedana pri preizkušanju nuklearnih in drugih kritičnih naprav.
5. Mila se ne sme uporabljati pri preizkušanju kisikovih cevovodov, razen če je kemijsko pregledano, da ne vsebuje nenasičenih spojin.

3.3 Prednosti in značilnosti komercialnih preizkusnih raztopin

Te raztopine se same ne smejo peniti, lahko pa se penijo nad netesnim mestom.

Lastnosti:

1. pH od 6 do 8;
2. ne delajo strdkov, tudi če so pomešane s trdo vodo;
3. njihova viskoznost je taka, da ostanejo dalj časa na preizkušancu;
4. imunost proti bakterijam pri dolgem hranjenju pred uporabo;
5. ko se posušijo, površine preizkušanca ni treba čistiti.

Izbrati pa moramo pripravke tudi glede na posebne zahteve. Npr. v letalski industriji sme biti za preizkus cevovodov za kisik in zrak ter gorivo pH 6,0–7,5 pri 21 °C. Taki pripravki ne smejo vsebovati olj, drugih maščob, amonijaka ali drugih snovi, ki bi se lahko pri stiku s čistim kisikom vnele. V splošnem morajo biti ti pripravki nekorozivni, netoksični, nevnetljivi in neškodljivi za kožo in oči, za plastiko, gumo in opremo (npr. pohištvo).

Posebno so zahtevni preizkusi za sisteme, ki so namenjeni za shranjevanje klora. Te je treba preizkusiti s plinastim klorom pod tlakom, kjer je treba upoštevati tudi fizikalno dejstvo, da je plinasti klor težji od zraka in zato pada, kar lahko zavede preizkuševalca, da je mesto puščanja nižje.

3.4 Raztopine za preizkušanje tesnosti hladilnih in klimatskih naprav, vakuumskih sistemov in elektronskih sestavnih delov

Raztopina ne sme biti milnica, ampak posebna kemična raztopina, ki ne vsebuje olja ali drugih maščob, ne sme biti toksična, niti vnetljiva. Na preizkusne površine jo nanašamo s čopičem ali pršilom. Majhne netesnosti povzročijo belo peno, ki postane bolj vidna po desetih sekundah oz. eni minuti, odvisno od jakosti uhajanja slednega plina. Velike netesnosti pa tvorijo grozde (klastre) velikih mehurčkov. Netesnost, ki povzroča izgubo hladilne tekočine 0,5 kg v 100 letih, se lepo vidi z uporabo primerne raztopine v manj kot 60 s.

Pri preizkušanju elektronskih sestavnih delov (komponent) smemo uporabljati le nepolarne in neprevodne tekočine, ki so nekorozivne, netoksične in nevnetljive. Komponente namočimo v raztopini, nato pa jih prenesemo pod stekleni zvon in evakuiramo. Na mestih puščanja se pojavijo mehurčki ali pena, še preden raztopina v vakuumu zavre.

Uporabljamo lahko tudi fluorescenčno raztopino za razstavljljive spoje oz. sisteme, ki jih predhodno evakuiramo. Z njo premažemo zunanost, počakamo, da tekočina prodre skozi netesnosti v notranost, jih nato razstavimo in z UV-svetlobo (bližnje UV-sevanje) raziščemo. Ta preizkus je posebno uspešen v primerih nepravilno vstavljenih ali poškodovanih tesnilk, vratnih tesnil itd.

Na sliki 7 je shematsko prikazan način z omočenjem preizkušanca pod nadtlakom.



Slika 7: Preizkušavec pod nadtlakom slednega plina pri načinu preizkušanja z omočenjem površine ⁽¹⁾

Za preizkušance, ki niso pod tlakom, uporabljamo vakuumski način, ki bo opisan v poglavju 4.

V splošnem nanašamo preizkusno tekočino na očiščene preizkušance s pršilko ali pleskarskim čopičem, širokim od 25 mm do 75 mm. Ne smemo nanašati sunkovito. Dopustiti je treba, da raztopina

lepo steče po preiskovani površini. Za dober kontrast uporabimo svetilko (žarki naj bodo vzporedni s površino), pomagamo pa si lahko tudi z lupo. Ne smemo uporabljati kisika, acetilena in drugih toksičnih ali vnetljivih slednih plinov.

3.5 Občutljivost načina z omočenjem

V splošnem lahko s tem načinom odkrijemo netesnosti, pri katerih je jakost uhajanja slednega plina od 10^{-2} do 10^{-3} mbar L/s pri tlačni razliki 1000 mbar, v laboratoriju, kjer so bolj primerne razmere kot na prostem, pa do 10^{-5} mbar L/s, razen zelo fine poroznosti na velikih varjenih površinah.

Dejavniki, ki vplivajo na občutljivost načina z omočenjem:

1. tlačna razlika med zunanjo in notranjo steno preizkušanca;
2. viskoznost iztekajočega plina; občutljivost je približno obratno sorazmerna z viskoznostjo;
3. površinska napetost raztopine, ki tvori tanko plast, naj bo čim manjša, da se občutljivost poveča;
4. zagotovljena mora biti čistoča zunanje in notranje površine preizkušanca; potreben je predhodni pregled površin;
5. usposobljenost in prizadevnost preizkuševalcev;
6. primerna osvetlitev preiskovane površine;
7. čas opazovanja mora biti primerno dolg, da se lahko naredijo dovolj vidni mehurčki;
8. okoljske in vremenske razmere (hitro sušenje raztopine na soncu, precipitacija teži k izpiranju ali razredčenju preizkusne vodne raztopine).

3.6 Ugotavljanje približne jakosti uhajanja preizkusnega plina

Predpostavimo, da je tlačna razlika 1000 mbar in da se pojavi nad netesnim mestom mehurček. Preizkuševalec pri tem meri čas nastajanja in debeljenja mehurčka. Jakost uhajanja se izračuna po enačbi za viskozni pretok:

$$q_L = \pi \cdot d^3 / 6000 t$$

pri čemer je d /mm premer mehurčka in t /s čas nastajanja mehurčka.

Zgled: Čas nastajanja enega mehurčka je 7 s, da je njegov končni premer 6 mm. Kakšna je jakost uhajanja plina?

$$q_L = \pi \cdot 6^3 / 6000 \cdot 7 = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mbar L/s}$$

Če pa nastane več manjših mehurčkov in ni mogoče ugotavljati njihove prostornine, potem uporabimo tehniko s potopitvijo in meritev z obrnjeno merilno epruveto (menzuro), kot je že bilo opisano v poglavju 2.6.

4 VAKUUMSKI NAČIN PREIZKUŠANJA Z MEHURČKI

4.1 Uporaba

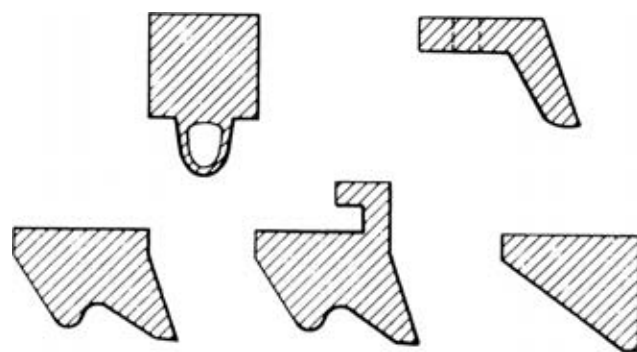
Vakuumski način za ugotavljanje netesnosti uporabljamo za sisteme (preizkušance), ki jih ne izpostavljamo nadtlakom zaradi različnih praktičnih razlogov, npr. če se preizkušavec ne da zatesniti ali da obstaja nevarnost, da ga poškodujemo ipd. Za to delo uporabljamo posebej oblikovane vakuumske *poveznike*.

Površino preizkušanca premažemo s preizkusno raztopino, nato pa jo vakuumsko tesno prekrijemo s primerno oblikovanim poveznikom s steklenim oknom za opazovanje in nato evakuiramo. Na netesnih mestih se pojavijo mehurčki oz. bela pena. Ta način je zelo primeren za zvale. Vakuumske poveznike uporabljamo tudi za pregledovanje tesnosti velikih bazenov, v katerih je tekočina (voda), npr. bazeni v jedrskih elektrarnah za shranjevanje izrabljenega goriva (palic).

4.2 Oblikovanje vakuumskih poveznikov in tesnil

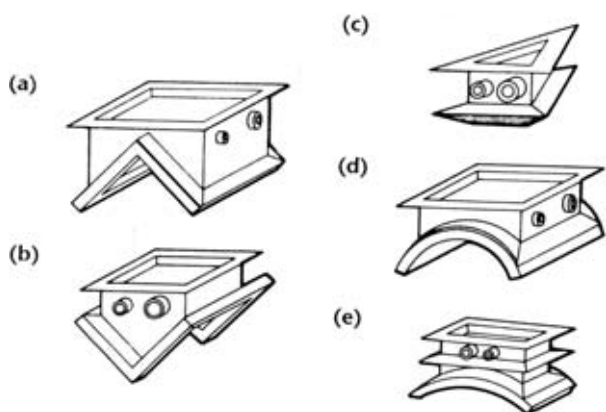
Povezniki so kovinski in imajo različne velikosti: do 750 mm po dolžini in do 150 mm po širini, po višini pa čim manj. Na zgornji strani morajo imeti vgrajeno okno (steklo ali prosojni plastični material), na spodnji strani pa je rob prevlečen s fleksibilnim tesnilom. Tesnila so različnih oblik (slika 8). Nekaj primerov različno oblikovanih vakuumskih poveznikov prikazuje slika 9.

Vakuumski povezniki morajo biti opremljeni z manjšo zmogljivo, predvsem pa lahko vakuumsko črpalko, z umerjenim mehanskim kazalčnim vakuummetrom z območjem od 1000 do 0 mbar* ter z dvopotnim ventilom (vakuum – vpust atmosfere).



Slika 8: Prerezi različnih tesnil, ki se uporabljajo za tesnjenje vakuumskih poveznikov

* Pozor! Mehanski instrumenti, ki imajo svojo ničlo na skali pri atmosferskem tlaku, niso primerni (so v nasprotju s predpisi), ker je treba za ugotavljanje absolutne tlačne razlike odčitek instrumenta v milibarih odšteti od 1000. Zgled: Odčitek takega instrumenta je 200 mbar. Dejanski absolutni tlak je $1000 - 200 = 800$ mbar.



Slika 9: Vakuumski povezniki, oblikovani po preizkušancih (a) s pravokotnim zunanjim robom, (b) s pravokotnim notranjim robom, (c) z notranjim ostrim robom, (d, e) za krožne oblike (npr. cevi)

4.3 Priprava preiskovanih površin

Površino preizkušanca je treba dobro očistiti (razmastiti, razoljiti, eventualno odstraniti barvo), da ne bi nečistoče maskirale netesna mesta. Pri tem uporabljamo kovinsko krtačo, detergente, organska topila, topila za barve in odstranjevanje lusk. Kadar uporabljamo čistila v tekoči obliki, je treba po čiščenju površino dobro osušiti. Preizkušance ne izpostavimo nadtlaku, ker npr. tega ne smemo storiti zaradi možnosti poškodovanja, predvsem pa zaradi njegove oblike, konstrukcije, ki se je ne da zatesniti. Tlačno razliko zato ustvarimo z vakuumom. Še večjo tlačno razliko (za povečanje občutljivosti!) pa dosežemo, če je dovoljeno oz. izvedljivo, da preizkušanec izpostavimo dovoljenemu nadtlaku zraka, dušika ali helija.

Vakuumsko napravo je priporočljivo pred uporabo preizkusiti na delovanje. Pri tem lahko uporabimo "umetno" pripravljene netesne površine.

4.4 Izbira tekočin za vakuumski način

Uporabljamo le komercialno dosegljive preizkusne tekočine, ki imajo naslednje lastnosti:

1. dobro omočljivost, posebno zvarov, ne glede na to, ali jih nanašamo s čopičem ali pršilom, ker vsebujejo sufraktante;
2. nad netesnim mestom naredijo stabilno peno;
3. vsebujejo le sledi halogenov in žvepla;
4. lahko jih uporabljamo tudi za pregled vertikalnih površin (zvarov);
5. se počasi sušijo;
6. ne zavrejo pod vakuumom;
7. ne zmrznejo v normalnih delovnih in vremenskih razmerah.

Po nanosu preizkusne tekočine del površine preizkušanca takoj pokrijemo s poveznikom in začnemo evakuirati. Netesnosti se lahko pokažejo v obliki me-

hurčkov ali pene. Če bi nastal dvom, lahko preizkus ponovimo, s tem da površino ponovno premažemo s preizkusno tekočino.

4.5 Praktična izvedba preizkusa

1. Preizkusimo delovanje vakuumске naprave z uporabo "umetne" netesnosti.
2. Okno poveznika mora biti čisto, da je dobro prosojno.
3. Pri preizkusih velikih naprav na prostem, in če zmrzuje, je treba preizkusno površino ogreti, da jo odtalimo in odstranimo vlago.
4. Ko preizkusno površino pokrijemo z vakuumskim poveznikom, takoj odpremo ventil in začnemo evakuirati, pri tem pa poveznik z rokami pritiskamo na površino, dokler se ne "prime", kar ugotovimo s prigradenim umerjenim kazalčnim vakuummetrom.
5. Netesnost ugotovimo s tvorbo mehurčkov oz. pene nad netesnim mestom.
6. Najmanjša tlačna razlika za vakuumski način je 550 mbar.
7. Pri pregledu sosednjega dela površine, npr. zvara, moramo vsaj za 50 mm prekriti že preizkušeno površino.

Po vsakem preizkusu je treba napisati poročilo, ki mora vsebovati vsaj:

- datum preizkusa
- ime preizkuševalca
- opis preizkusne naprave
- preizkusni tlak
- rezultate preizkusa
- skico, ki prikazuje netesna mesta

Bolj zahtevni predpisi za neporušitvene preizkuse posebno zahtevnih delov (npr. v letalski industriji) zahtevajo mnogo več podatkov o preizkusu.

5 PRILOGA – POJMI

Angleško	Slovensko
back pressurizing test; bombing test	preizkus s prejšnjim nadtlakom, nadtlučno-vakuumski preizkus
bombing, pressurizing	izpostavitev nadtlaku
bubble test technique	način (tehnika) preizkusa z mehurčki
bubble testing	preizkus z mehurčki
bubble testing by liquid immersion technique	preizkus z mehurčki s potapljanjem
capillary leak	kapilarna netesnost
conductance leak	prevodnostna netesnost
detection limit of leakage test	meja odkrivanja uhajanja
foam application technique	način (tehnika) s peno
gauge pressure	efektivni tlak (tlak, ki ga pokaže manometer glede na atmosferski tlak)

heated bath	topla kopel
hood test	preizkus z ogrinjanjem
immersion bubble technique	preizkus z mehurčki s potapljanjem, potopni preizkus z mehurčki
immersion liquid	potopna tekočina
inspection	pregledovanje
leak	netesnost
leakage rate	jakost uhajanja (enota Pa m ³ s ⁻¹ ; mbar L/s)
leaktight	tesen
limitation of bubble technique of leak testing	omejitve (meje) preizkusa z mehurčki
liquid film application technique	način (tehnika) z omočenjem (preizkus z milnico)
liquid immersion technique	način (tehnika) s potapljanjem
minimum detectable leakage rate	najmanjša zaznavna jakost uhajanja
molecular leak	molekularna netesnost
object	preizkušanec
permeation leak	permeacijska netesnost
pressure change test	preizkus s spremembo tlaka
pressure dye test	tlačni barvni preizkus
pV-throughput	pretok "pV" (simbol q _G ; enota Pa m ³ s ⁻¹ ; mbar L/s)
response time	odzivni čas

sensitivity of bubble testing	občutljivost preizkusa z mehurčki
solution film technique	način z omočenjem s preizkusno raztopino
surface tension	površinska napetost
test liquid	preizkusna tekočina
test seal	preizkusna tesnitev
test solution	preizkusna raztopina
testing by immersion	vakuumski preizkus z mehurčki s potapljanjem
total (integral) leakage rate	totalno (integralno) uhajanje (= pretok pV)
tracer fluid	sledna tekočina (plin, kapljevina)
vacuum box	vakuumski zvon, vakuumski poveznik
virtual leak	navidezna netesnost
viscosity coefficient	viskoznostni koeficient (simbol η ; enota Pa s)
viscous leak	viskozna netesnost

6 LITERATURA

- ¹Patric O. Moore (ed.), Nondestructive testing handbook, 3rd. ed., Vol. 1, Leak testing, ASNT, 1998
- ²J. M. Lafferty (ed.), Foundation of Vacuum Science and Technology, John Wiley & Sons, Inc., N. York, 1998
- ³M. Wutz, H. Adam, W. Walcher, Theory and Practice of Vacuum Technology, Fried. Vieweg & Sons, Braunschweig/Wiesbaden, 1989