

# Ispitivanje penetrantima



v.as.mr. Samir Lemeš  
slemes@mf.unze.ba

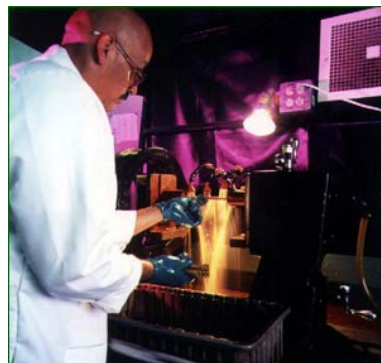
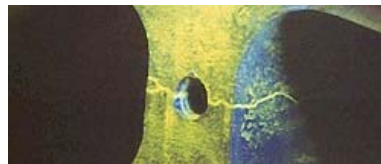


Tempus



## Ispitivanje penetrantima

- Područje upotrebe
- Fizički princip rada
- Vrste penetranta
- Opis procesa ispitivanja
- Vrste penetranta
- Izbor metode
- Oprema
- Lažne indikacije



## Područje upotrebe

- Otkrivanje otvorenih diskontinuiteta **na površinama** čvrstih i neporoznih materijala
- Zasniva se na kapilarnim pojavama
- Ispitivanje odlivaka od gvožđa i obojenih metala, proizvoda praškaste metalurgije, proizvoda od keramike, plastike i stakla

## Područje upotrebe

- Ispitivanje alata i kalupa
- Ispitivanje rezervoara, posuda, reaktora, cijevi, pumpi,...
- Ispitivanje dijelova vozila: osovina, točkova, zupčanika, propelera,...
- Ispitivanje zavarenih spojeva
- Ispitivanje opreme u procesnoj industriji
- Ispitivanje livenih i kovanih proizvoda

## Fizički princip rada

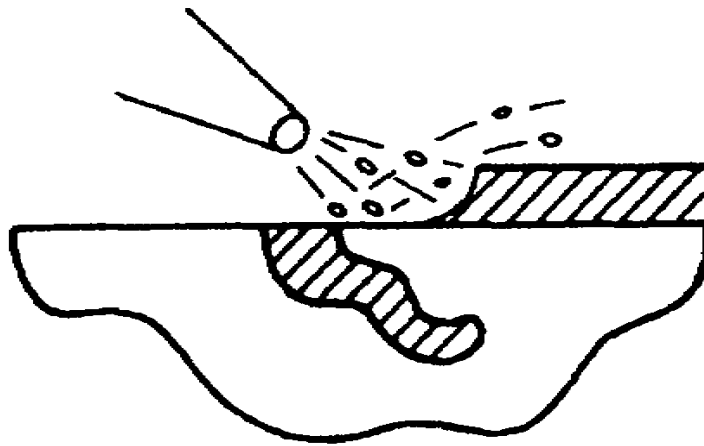
- Najvažnija osobina penetranta je sposobnost kvašenja površine
- Površinu koja se ispituje penetrant treba da prekrije jednoliko i kontinuirano, nakon čega ulazi u pukotine



## Fizički princip rada

- Na tok tečnosti po površini utječu:
  - Čistoća površine
  - Konfiguracija pukotine
  - Čistoća pukotine
  - Veličina otvora pukotine
  - Površinski napon tečnosti
  - Sposobnost tečnosti da kvasi površinu
  - Kontaktni ugao tečnosti

## Fizički princip rada

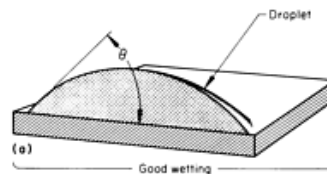


## Fizički princip rada

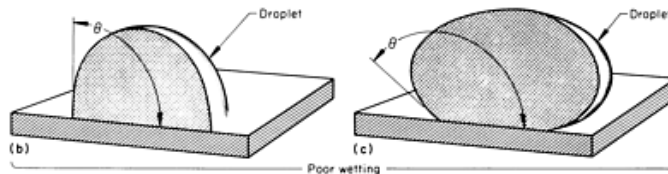
- Sile kohezije između molekula tečnosti izazivaju površinski napon
- Kapljica zbog tog napona teži da formira sferni oblik
- Površinskom naponu se suprotstavlja hidrostatički pritisak tečnosti
- Silama kohezije se suprotstavljaju i sile adhezije s površinom u kontaktu
- Te sile određuju kontaktni ugao  $\theta$

## Fizički princip rada

- Kontaktni ugao  $\theta$  između tečnosti i površine:
- $\theta < 90^\circ$ : tečnost dobro kvasi površinu



- $\theta \geq 90^\circ$ : tečnost loše kvasi površinu



## Fizički princip rada

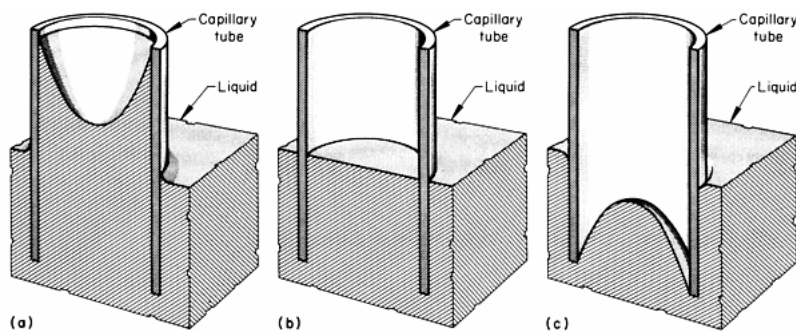
- Kapilarni efekat:
  - Ako je kontaktni ugao  $\theta < 90^\circ$ , tečnost kvasi zid kapilara – konkavna površina tečnosti, tečnost raste
  - Ako je kontaktni ugao  $\theta = 90^\circ$ , nema kapilanog efekta
  - Ako je kontaktni ugao  $\theta > 90^\circ$ , tečnost ne kvasi zid kapilara – konveksna površina tečnosti, tečnost se spušta niz kapilar

## Fizički princip rada

$$\theta < 90^\circ$$

$$\theta = 90^\circ$$

$$\theta > 90^\circ$$



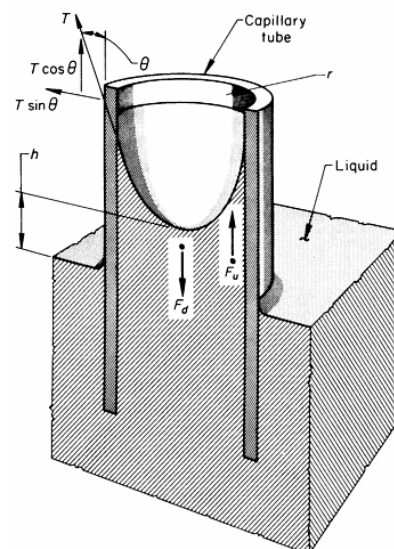
## Fizički princip rada

- Sila koja djeluje prema dole jednaka je težini stuba tečnosti:

$$F_d = 2\pi r^2 h g \rho$$

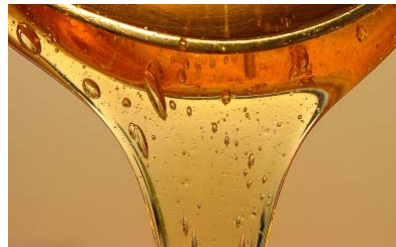
- Sila koja djeluje prema gore je proizvod površinskog napona i obima:

$$F_u = (T \cos \theta) 2\pi r$$



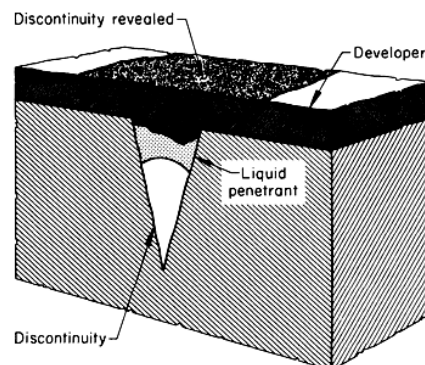
## Fizički princip rada

- Pukotine nisu kapilarne cijevi, ali se tečnost prema zidovima pukotine ponaša slično kao prema zidu kapilara
- Viskozitet tečnosti ne utječe na kapilarni efekat
- Jako viskozne tečnosti nisu pogodne kao penetranti jer se sporo razlijevaju po površini



## Fizički princip rada

- Razvijač (developer) se koristi da bi formirao fino porozni površinski sloj
- Koriste se 4 tipa razvijača (A, B, C, D)
- Razvijač upija penetrant koji izlazi iz pukotine jer je porozan



## Vrste penetranata

- Prvi materijal koji je korišten kao penetrant je kerozin
- Ima malu viskoznost i dobro kvašenje
- Nedostatak: premale pukotine se teško uočavaju
- Vapnena voda (whitewash) se koristi da poveća kontrast
- Udarcem čekića tokom testa se izvlači kerozin iz pukotine na vapnenu vodu

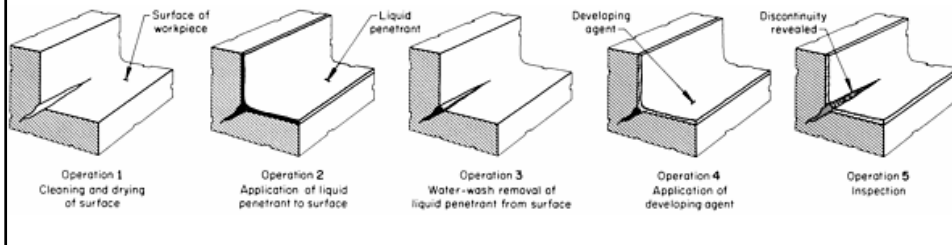
## Vrste penetranata

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| ■ Osnovni utjecajni faktori:               | ■ Četiri metode:               |
| □ Stanje površine objekta                  | A. Koji se mogu ispirati vodom |
| □ Karakteristike grešaka koje se otkrivaju | B. Lipofilni postemulzifilni   |
| □ Vrijeme i mjesto ispitivanja             | C. Koji se uklanjaju otapalom  |
| □ Veličina objekta                         | D. Hidrofilni postemulzifilni  |
| □ Potrebna osjetljivost                    |                                |



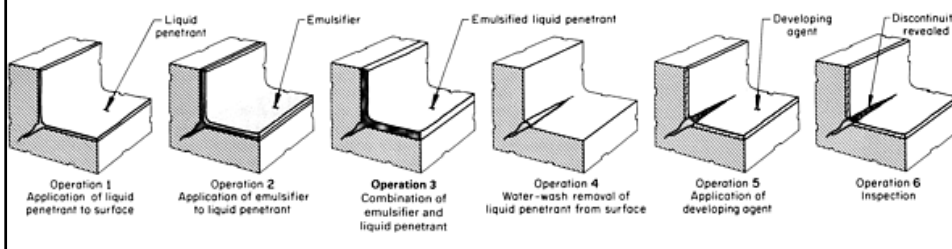
## Vodeni penetranti (metoda A)

- Ovi penetranti se mogu ispirati vodom
- Ne zahtijevaju poseban korak emulzifikacije (nanošenja emulzije)
- Potreban oprez da se ne ispere previše penetranta

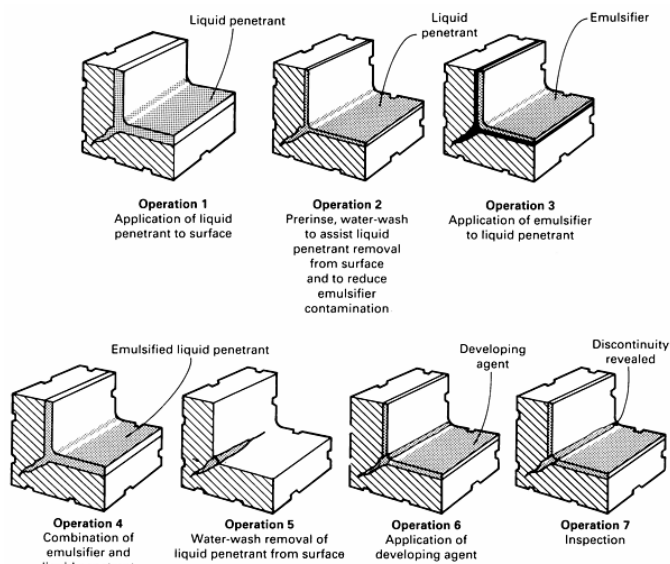


## Postemulzifilni penetranti

- Prije finalnog ispiranja nanosi se emulzija koja ostatak penetranta čini topivim u vodi (metode B i D)
- Opres da se samo penetrant izvan pukotine učini topivim u vodi

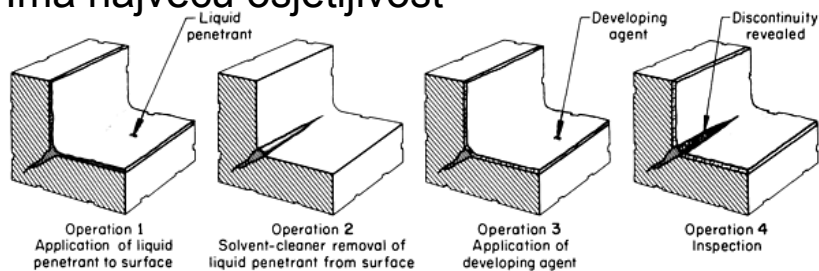


## Hidrofilni penetranti (metoda D)



## Solventni penetranti (metoda C)

- Umjesto vode se za ispiranje koristi otapalo (razvijatelj, solvent)
- Koriste se kod lokalnog ispitivanja i kod ispitivanja na terenu
- Ima najveću osjetljivost



## Opis procesa ispitivanja

1. Priprema površine
2. Nanošenje penetranta
3. Uklanjanje viška penetranta
4. Razvijanje
5. Pregled (ispitivanje)



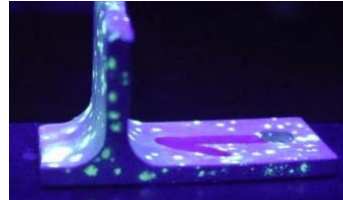
## Vrste penetranta

- Fluorescentni (tip I)
  - jako svijetle (najčešće zeleno) pod UV svjetlom (talasne dužine 320-400 nm)
  - Različiti nivoi osjetljivosti:
    - ½ (ultraniska), 1, 2, 3, 4 (ultravisoka)
- Vidljivi (tip II)
  - najčešće crveni, radi kontrasta s podlogom
  - osjetljivost je nivoa 1 (niska)



## Izbor metode

- Na izbor metode utječu veličina, oblik i masa objekta koji se ispituje, te broj različitih objekata
- Najvažniji faktor kod izbora je balans zahtijevane osjetljivosti i cijene
- Fluorescentni tip se koristi češće, dok se vidljivi penetranti koriste uglavnom za lokalizirane testove



## Izbor metode

	Vodeni fluoresc.	Postemulz. fluoresc.	Vodeni vidljivi	Postemulz. vidljivi
Visoka osjetljivost		x	x	
Visoka vidljivost	x	x		
Visoka brzina	x	x		
Ponovljivost		x		x
Portabilnost			x	x
Složeni dijelovi	x			
Plitki defekti		x		
Veliki dijelovi			x	x
Kontaminirani dijelovi			x	

## Izbor metode

	Vodeni fluoresc.	Postemulz. fluoresc.	Vodeni vidljivi	Postemulz. vidljivi
Potrebna UV lampa	x	x		
Loša ponovljivost	x			
Veliki zahtjevi za osoblje			x	x
Potrebno ispiranje		x	x	
Niska brzina			x	x
Loši rezultati kod plitkih defekata	x		x	x
Loši rezultati kod grube površine		x	x	x

## Oprema

- Prenosiva (portabl) oprema se koristi za lokalizirane testove na terenu
- Postoje setovi i za vidljive i za fluorescentne penetrante
- Za ispitivanje proizvoda bolji su stacionarni setovi

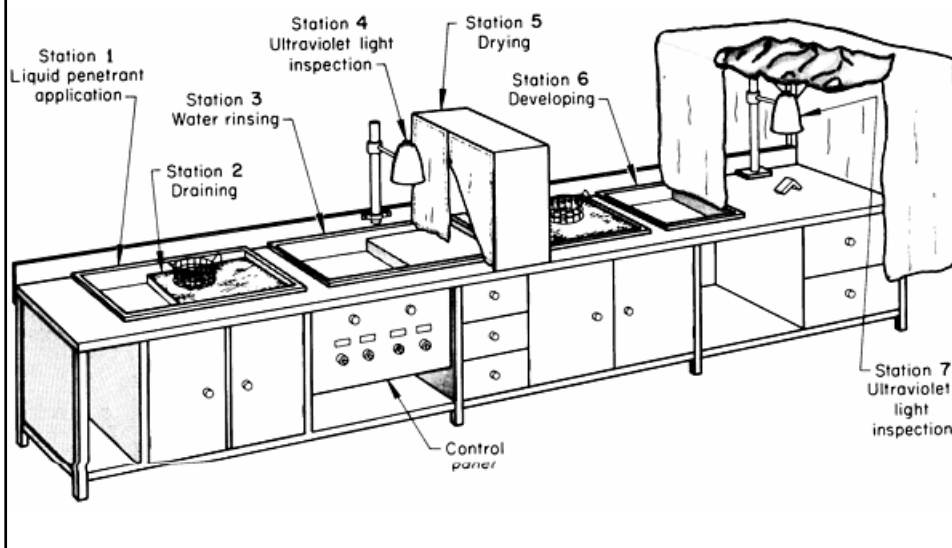


## Oprema

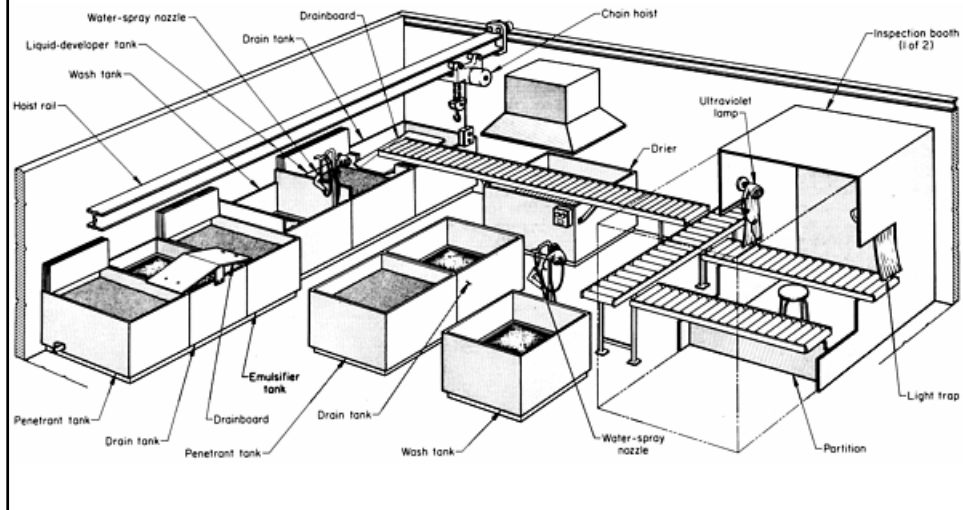
- Stacionarno postrojenje ima posebne jedinice:
  - Za cijedenje
  - Za nanošenje penetranta i emulzije
  - Za pranje
  - Za razvijanje
  - Za ispitivanje
  - Za čišćenje



## Oprema



# Oprema



# Oprema



## Lažne indikacije

- Osim stvarnih grešaka, penetranti mogu dati i lažne indikacije:
  - Zaostale kapi penetranta
  - Indikacije usljed dizajna ili geometrije objekta koji se ispituje
  - Zaprljanost stola za ispitivanje
  - Zaprljanost ruku ispitivača
  - Zaprljanost površine koja se ispituje (zaostala piljevina od obrade rezanjem)

## Ispitivanje curenja

- Opis metode
- Vrste curenja
- Metode ispitivanja
- Oprema za ispitivanje
- Proizvođači opreme



## Ispitivanje curenja

- Ispitivanje curenja se vrši da bi se osiguralo da hermetički zatvoreni elektronski dijelovi, ventili, cijevi pod visokim pritiskom, zavari i sistemi cjevovoda ne ispuštaju fluid
- Do curenja dolazi usljed razlike pritiska između dvije sredine
- Posebno je važno ovo ispitivanje sa aspekta zaštite čovjekove okoline

## Ispitivanje curenja

- Stepen curenja se mjeri jedinicom [atm cm<sup>3</sup>/s] – 1 kubni cm gasa u sekundi na pritisku 1 standardne atmosfere (760 mm Hg)
- Zvuk curenja od 0,1 atm cm<sup>3</sup>/s se može čuti
- Curenje sa formiranjem mjehurića se vidi golim okom od 10<sup>-4</sup> atm cm<sup>3</sup>/s
- Manje curenje zahtijeva posebnu opremu za detekciju

## Ispitivanje curenja

- Većina curenja na spojevima (keramika/metal, plastika/metal, zavareni i lemljeni spojevi) ima veličinu od oko  $5 \times 10^{-7}$  atm cm<sup>3</sup>/s
- Za mjerenje curenja iz vakuuma se koristi jedinica [Torr L/s]
- SI jedinica za curenje je [Pa m<sup>3</sup>/s] ili [mol/s]
- 1 atm = 101.325 kPa

## Vrste curenja

- **Stvarno curenje** je lokalizirano curenje kroz otvor
- **Virtualno curenje** podrazumijeva postepeno ispuštanje gasova sa površine ili isticanje gasova kroz zaptivke u vakuumu
- Često sistemi pod vakuumom imaju obje vrste curenja istovremeno
- Tok fluida može biti: propuštanje, molekularni, prelazni, viskozni, laminarni, turbulentni i zagušeni.

## Vrste curenja

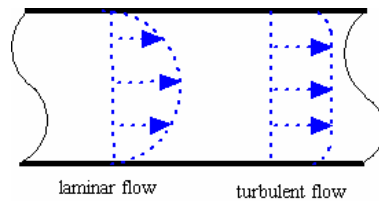
- **Propuštanje** je tok fluida kroz čvrstu barijeru koja nema dovoljno velike otvore
- **Molekularni tok** se dešava kad je prosječna slobodna putanja veća od najduže dimenzije poprečnog presjeka otvora kroz koji fluid curi
- Prosječna slobodna putanja je srednja udaljenost koju molekula pređe prije sudara s drugom molekulom

## Vrste curenja

- **Prelazni tok** se javlja kad je prosječna slobodna putanja približno jednaka presjeku otvora kroz koji fluid curi
- **Viskozni tok** se dešava kad je prosječna slobodna putanja manja od poprečnog presjeka otvora kroz koji fluid curi
- Iznad kritične vrijednosti Reynoldsovog broja, tok postaje nestabilan (oko 2100 za okruglu cijev)

## Vrste curenja

- **Laminarni tok** se javlja kad je raspodjela brzina parabolična



- **Zagušeni tok** (zvučni tok, *sonic* flow) se dešava pod određenim uslovima konfiguracije i pritiska

## Vrste curenja

- Ako je brzina curenja:
  - $< 10^{-6}$  atm cm<sup>3</sup>/s, tok je molekularni
  - $10^{-4}$  do  $10^{-6}$  atm cm<sup>3</sup>/s, tok je prelazni
  - $10^{-2}$  do  $10^{-6}$  atm cm<sup>3</sup>/s, tok je laminarni
  - $> 10^{-2}$  atm cm<sup>3</sup>/s, tok je turbulentni
- Preciznija je klasifikacija po Knudsenovom broju:  
$$N_K = \lambda/d$$

## Vrste curenja

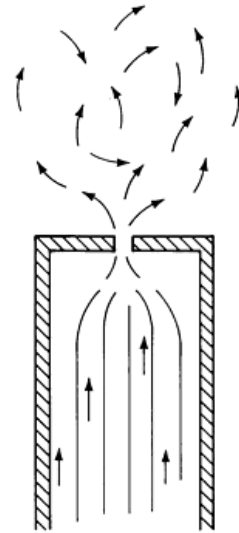
- $N_K$ : Knudsenov broj
- $\lambda$ : prosječna slobodna putanja
- $d$ : prečnik otvora kroz koji fluid curi
  - $N_K < 0,01$  – laminarni
  - $0,01 < N_K < 1$  – prelazni
  - $N_K > 1$  – molekularni
- Prosječna slobodna putanja zavisi od vrste gasa i od pritiska

## Metode ispitivanja

- Akustične metode
- Ispitivanje mjehurićima (uranjanje)
- Ispitivanje toka
- Ispitivanje pomoću gasova
- Ispitivanje mjerenjem gubitka količine
- Vizualno ispitivanje

## Akustične metode

- Turbulentni tok gasa pod pritiskom kroz otvor proizvodi (ultra)zvuk
- Ako je curenje jako, može se čuti
- Za slušanje se koriste stetoskopi ili mikrofoni, kao i elektronski senzori veće osjetljivosti



## Ispitivanje mjehurićima

- Jednostavna metoda: uranjanje posude ispunjene gasom pod pritiskom u tečnost



## Ispitivanje mjehurićima

- Ulje je osjetljivije nego voda
- Električne komponente se ispituju uranjanjem u vrući perfluorokarbon
- Treba paziti da se tečnost ne pregrije (lažna indikacija)
- Ako se koristi voda, mora biti destilovana ili dejonizovana, i u nju se često dodaju aditivi za kvašenje
- Otkriva curenje i od  $10^{-6}$  atm cm<sup>3</sup>/s

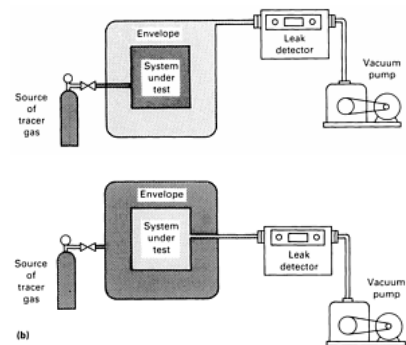
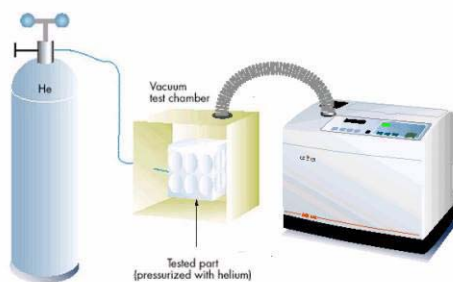
## Ispitivanje toka

- Tri metode:  
povećanje pritiska,  
smanjenje pritiska i  
tok
- Manja posuda se napuni gasom, uroni se u veću posudu i izloži se pritisku



## Ispitivanje pomoću gasova

- Koriste se gasovi koji imaju neku fizičku ili hemijsku osobinu koju detektor curenja može otkriti



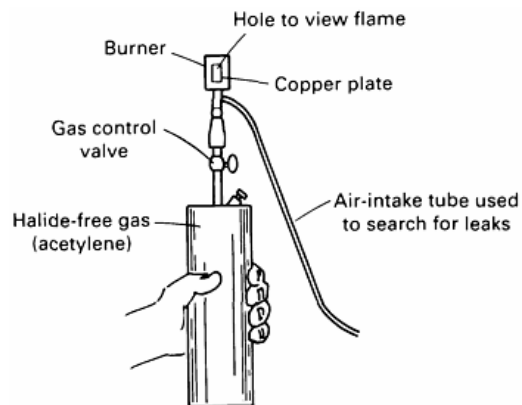
## Ispitivanje pomoću gasova

- Gas koji ističe (curi) se može otkriti po mirisu, promjeni boje zbog hemijske reakcije sa premazom, nalijepljenom trakom i sl.
- Posuda koja se ispituje se ispuni amonijakom, a zatim se prinese otvorena posuda sa hlorovodoničnom kiselinom
- Ova metoda zahtijeva dobro provjetranje



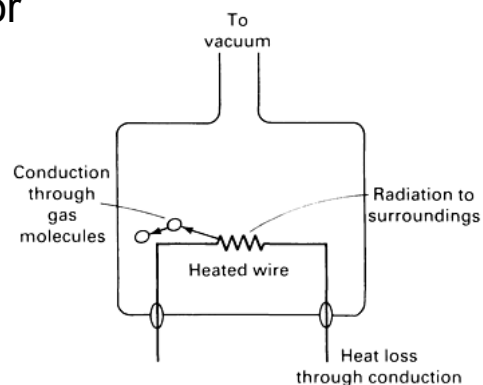
## Ispitivanje pomoću gasova

- Može se koristiti i otvoreni plamen, koji mijenja boju kad je u blizini gasa koji curi iz posude



## Ispitivanje pomoću gasova

- Termalna provodljivost gasa se može mjeriti mostom sa zagrijanom žicom
- Temperatura i otpor žice zavise od okolnog gasa

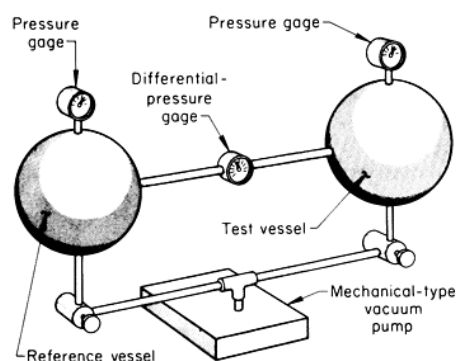


## Ispitivanje pomoću gasova

- Maseni spektrometar je uređaj za sortiranje čestica pod nabojem
- Gas ulazi u analizator, gdje se molekule bombarduju snopom elektrona, čime se pozitivno joniziraju
- Kako analizator leži u magnetnom polju, generiše se tok električne struje proporcionalan količini jona
- Najčešće se koristi helijumski maseni spektrometar ( $10^{-12}$  atm cm<sup>3</sup>/s)

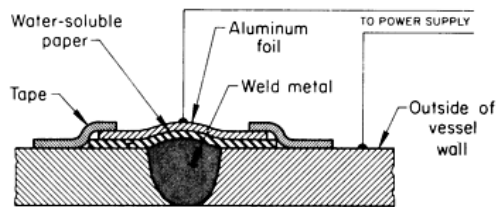
## Mjerenje gubitka količine

- Jedan način ispitivanja curenja je mjerenje mase posude; preciznost metode zavisi od preciznosti vage
- Metoda mjerenja diferencijalnog pritiska je prikazana na slici:

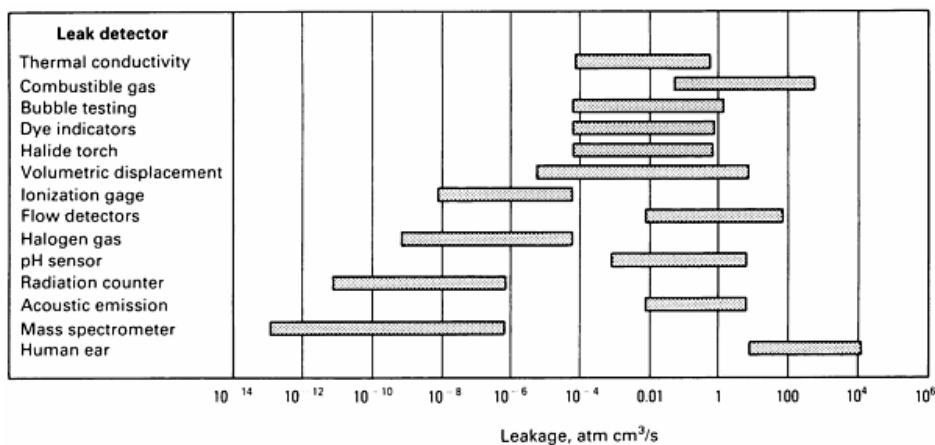


## Vizualno ispitivanje

- Najjednostavnija metoda je vizualno posmatranje
- Mogu se koristiti pomagala: boreskopi, povećala, mikroskopi, optička vlakna, ...
- Papir rastvorljiv u vodi prekriven Al folijom se koristi za otkrivanje curenja iz posuda s vodom



## Izbor metode ispitivanja



## Oprema za ispitivanje

### ■ Set za ultrazvučno ispitivanje curenja



SON-TECTOR 123 package

- |                           |                               |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1. main unit 110M in case | 4. contact probe              |
| 2. hand probe             | 5. headphones                 |
| 3. sound concentrator     | 6. ultrasonic noise generator |

## Oprema za ispitivanje

### ■ Halogeni detektori curenja (za ispitivanje rashladnih uređaja)



## Oprema za ispitivanje

- "Sniffer" detektori



## Oprema za ispitivanje

- Sistem za ispitivanje ambalaže



## Oprema za ispitivanje

- Sistem za ispitivanje ambalaže u farmaceutskoj industriji



## Proizvođači opreme

- Uson ([www.uson.com](http://www.uson.com))
- Inficon ([www.inficon.com](http://www.inficon.com))
- Varian ([www.varianinc.com](http://www.varianinc.com))
- Nolek ([www.nolek.com](http://www.nolek.com))
- Ansonics ([www.ansonics.com](http://www.ansonics.com))
- V.T. Peterson ([www.vtpeterson.com](http://www.vtpeterson.com))
- Löwener ([www.lowener.se](http://www.lowener.se))
- MET ([www.met.uk.com](http://www.met.uk.com))
- Sensistor ([www.sensistor.se](http://www.sensistor.se))